MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

MODALIDAD PARTICULAR

CAPÍTULO I.

DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE, DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Patio de Contenedores y Maniobra Express Port

Contenido

Contenido 2
Índice de tablas 3
Índice de figuras 4
I.1 Proyecto 5
I.1.1 Nombre del proyecto 5
I.1.2 Tipo de obra o actividad (artículo 5 del Reglamento) 5
I.1.3 Modalidad de la Manifestación de Impacto Ambiental 5
I.2 Promovente 6
I.2.1 a I.2.5 Datos del promovente 6
I.3 Responsable de la elaboración del estudio de impacto ambiental 6
I.3.1 a I.3.5 Datos del responsable 6
I.3.6 Declaratoria bajo protesta de decir verdad y firma electrónica digital 7
I.4 Ubicación del proyecto 7
I.4.1 Entidad federativa, municipio y localidad 7
I.4.2 Calle, número, código postal y localidad 7
I.4.3 Coordenadas UTM/WGS84 del polígono general y de los terrenos forestales 8
I.4.4 Uso de suelo actual del predio 12
I.4.5 Vías de acceso y colindancias 13
I.5 Descripción específica de las obras y actividades 14
I.5.1 Naturaleza, objetivos y justificación 14
I.5.2 Obras y actividades principales 15
I.5.3 Obras complementarias 20
I.5.4 Obras temporales previstas 20
I.5.5 Programa de cierre, desmantelamiento, abandono y restauración 21
I.6 Inversión del proyecto 21
I.7 Duración estimada del proyecto 21
I.8 Tabla resumen de características del proyecto 22
I.9 Superficies generales del proyecto 23
I.10 Información sectorial complementaria 25

Índice de tablas

Tabla 1. Datos generales del proyecto. 5
Tabla 2. Datos generales del promovente. 6
Tabla 3. Datos del responsable de la elaboración del estudio. 6
Tabla 4. Ubicación político-administrativa del proyecto. 7
Tabla 5. Coordenadas extremas del polígono general del proyecto (UTM, Datum WGS84). 8
Tabla 6. Coordenadas de los vértices del polígono general del Área del Proyecto (UTM 13N, WGS84). 8
Tabla 7. Coordenadas de los vértices de los terrenos forestales (superficie de CUSTF; UTM 13N, WGS84). 9
Tabla 8. Distribución de la superficie de CUSTF por parcela. 10
Tabla 9. Distribución del uso de suelo actual del predio. 12
Tabla 10. Identificación y descripción de las obras y actividades principales por etapa. 15
Tabla 11. Distribución del uso de suelo propuesto por componente. 17
Tabla 12. Identificación y descripción de las obras complementarias. 20
Tabla 13. Identificación y descripción de las obras temporales. 20
Tabla 14. Inversión total del proyecto. 21
Tabla 15. Cronograma general de trabajo (duración por etapa). 21
Tabla 16. Resumen de características del proyecto. 22
Tabla 17. Superficies generales del proyecto. 23
Tabla 18. Superficie con y sin despalme del terreno. 24
Tabla 19. Información sectorial aplicable. 25

Índice de figuras

Figura 1. Plano de vértices del polígono general del predio. 10
Figura 2. Superficie de CUSTF por parcela (distribución). 11
Figura 3. Cambio de uso del suelo forestal (CUSTF) por parcela (mapa). 11
Figura 4. Distribución del uso de suelo actual del predio. 12
Figura 5. Terrenos forestales del predio (superficie sujeta a CUSTF). 13
Figura 6. Macrolocalización del predio en el contexto de la zona portuaria de Manzanillo. 14
Figura 7. Uso de suelo propuesto del proyecto (distribución de componentes). 18
Figura 8. Distribución del uso de suelo propuesto por componente (superficie y porcentaje). 19
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de carga y descarga de contenedores. 19
Figura 10. Cronograma general de trabajo (esquemático) de la etapa de preparación y construcción. 22
Figura 11. Zonas con y sin despalme del terreno. 25

El presente capítulo se elabora conforme a la Guía para la presentación de la Manifestación de Impacto Ambiental que emite la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en observancia del artículo 9 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental (en adelante, el Reglamento o REIA). Su propósito es doble: por una parte, identificar de manera inequívoca el proyecto, a su promovente y al responsable de la elaboración del estudio; por otra, describir con detalle las obras, actividades, insumos, residuos, emisiones y superficies que lo integran, así como su vínculo con el cambio de uso del suelo en terreno forestal. La información que aquí se vierte es la base sobre la que se sustentan los capítulos posteriores de diagnóstico ambiental, identificación de impactos y medidas de la presente Manifestación.

I.1 Proyecto

I.1.1 Nombre del proyecto

El proyecto se denomina **"Patio de Contenedores y Maniobra Express Port"**. Este nombre se emplea de forma idéntica, carácter por carácter, en todos los documentos que integran la presente Manifestación de Impacto Ambiental y en la publicación a que haya lugar, atendiendo la instrucción expresa de la Guía MIA-SEMARNAT de utilizar el mismo nombre en todos los documentos relativos al estudio.

I.1.2 Tipo de obra o actividad (artículo 5 del Reglamento)

Las obras y actividades del proyecto encuadran en el **inciso O), fracción II del artículo 5** del Reglamento (vigente; última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de octubre de 2014, verificada el 8 de julio de 2026 en la fuente oficial de la Cámara de Diputados): **"Cambio de uso del suelo de áreas forestales a cualquier otro uso"**. El encuadre se justifica porque el proyecto implica la remoción de 3.4097 hectáreas de vegetación forestal de selva baja caducifolia para destinarlas a un uso no forestal —un patio de contenedores—, sin que corresponda a las excepciones de actividades agropecuarias de autoconsumo que prevé la propia fracción. Por la naturaleza de la actividad (servicios de almacenamiento portuario) no se identifican otros supuestos del artículo 5 aplicables al proyecto.

I.1.3 Modalidad de la Manifestación de Impacto Ambiental

El estudio se presenta en la **modalidad Particular**, conforme al artículo 11 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Esta modalidad es la procedente por tratarse de una obra única, en un predio delimitado y con un solo promovente, que no forma parte de un plan o programa parcial de desarrollo urbano ni de un conjunto de obras que deban evaluarse de manera regional.

Los datos generales del proyecto se resumen en la Tabla 1, que gobierna la identidad del proyecto a lo largo de toda la Manifestación y no varía entre capítulos.

Tabla 1. Datos generales del proyecto.

Concepto	Descripción
Nombre del proyecto	Patio de Contenedores y Maniobra Express Port
Tipo de obra o actividad (Art. 5 del REIA)	Inciso O), fracción II: cambio de uso del suelo de áreas forestales a cualquier otro uso. Sector 48-49 "Transportes, correos y almacenamiento", subsector 493 "Servicios de almacenamiento"
Clave SCIAN	493190 "Otros servicios de almacenamiento con instalaciones especializadas"
Modalidad de la MIA	Particular (Art. 11 LGEEPA)

Concepto	Descripción
Justificación de la modalidad	Obra única, en predio delimitado y con un solo promovente; no procede la modalidad Regional

Fuente: proyecto ejecutivo y documentación legal del promovente; artículo 5 del REIA verificado en el Diario Oficial de la Federación.

De la Tabla 1 se desprende que el proyecto es una obra del sector de servicios de almacenamiento cuya relevancia ambiental deriva, precisamente, del cambio de uso del suelo forestal que requiere; ese es lo que determina su competencia federal y la modalidad del presente estudio.

I.2 Promovente

I.2.1 a I.2.5 Datos del promovente

El promovente del proyecto es una **persona física**. En consecuencia, no se designa representante legal; de requerir la autoridad la acreditación de la personalidad o de un apoderado, el promovente la aportará en el expediente. El correo electrónico asentado es el medio de contacto que el promovente designa para las comunicaciones del trámite. Los datos completos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos generales del promovente.

Concepto	Descripción
Nombre o razón social	César Humberto Romero García (persona física)
Registro Federal de Contribuyentes (RFC)	artículos 110 y 113 fracción I de la LFTAIP y 115 primer párrafo de la LGTAIP
Nombre y cargo del representante legal	
Dirección para oír y recibir notificaciones	
Teléfonos de contacto	
Correo electrónico	

Fuente: documentación legal del promovente.

I.3 Responsable de la elaboración del estudio de impacto ambiental

I.3.1 a I.3.5 Datos del responsable

El responsable de la elaboración de la presente Manifestación cuenta con inscripción vigente en el **Registro Forestal Nacional**, lo que acredita su idoneidad técnica para intervenir en un proyecto que involucra cambio de uso del suelo en terreno forestal. Sus datos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos del responsable de la elaboración del estudio.

Concepto	Descripción
Nombre o razón social	Julián Barrón Quintana
Nombre del responsable técnico	Julián Barrón Quintana
RFC / cédula profesional	artículos 110 y 113 fracción I de la LFTAIP y 115 primer párrafo de la LGTAIP
Dirección y datos de contacto	
Correo electrónico	

Concepto	Descripción
Teléfonos de contacto	artículos 110 y 113 fracción I de la LFTAIP y 115 primer párrafo de la LGTAIP
Inscripción en el Registro Forestal Nacional	Oficio SEMARNAT SGPARN/UARRN/0792/13, de 21 de marzo de 2013 (vigente)
Declaratoria bajo protesta de decir verdad y firma electrónica (Art. 36 REIA)	Sí — se asienta en anexo

Fuente: documentación del responsable del estudio (constancia del Registro Forestal Nacional y cédula profesional).

I.3.6 Declaratoria bajo protesta de decir verdad y firma electrónica digital

En cumplimiento del **artículo 36 del Reglamento** (vigente; última reforma DOF 31-10-2014), el responsable de la elaboración del estudio manifiesta:

> "Declaro bajo protesta de decir verdad que los resultados de la Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto se obtuvieron a través de la aplicación de las mejores técnicas y metodologías comúnmente utilizadas por la comunidad científica del país y del uso de la mayor información disponible, y que las medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración sugeridas son las más efectivas para atenuar los impactos ambientales." Se anexa carta

Conforme al propio artículo 36, la responsabilidad sobre el contenido de este documento corresponde a quien lo elabora y suscribe; de comprobarse que la información es falsa, el responsable será sancionado en los términos del Capítulo IV del Título Sexto de la LGEEPA, sin perjuicio de las demás disposiciones aplicables.

I.4 Ubicación del proyecto

I.4.1 Entidad federativa, municipio y localidad

El proyecto se localiza en el **estado de Colima**, municipio de **Manzanillo**, dentro de la zona de influencia del Puerto de Manzanillo, en un entorno predominantemente industrial y logístico. Las localidades de referencia más próximas son **Jalipa** y **El Camichín**. El predio se integra por **tres parcelas del Ejido Jalipa** (números 77, 92 y 101 Z-4 P1/1).

I.4.2 Calle, número, código postal y localidad

El domicilio del proyecto es **Libramiento Manzanillo–Cihuatlán sin número**, en el municipio de Manzanillo, Colima. La ubicación político-administrativa y las referencias de acceso se resumen en la Tabla I.4.

Tabla 4. Ubicación político-administrativa del proyecto.

Concepto	Descripción
Entidad federativa	Colima
Municipio	Manzanillo
Localidades de referencia	Jalipa; El Camichín
Ejido y parcelas	Ejido Jalipa, parcelas 77, 92 y 101 Z-4 P1/1
Calle y número	Libramiento Manzanillo–Cihuatlán sin número
Vías de acceso	Acceso directo desde el Libramiento Manzanillo–Cihuatlán
Colindancias del predio	artículos 110 y 113 fracción I de la LFTAIP y 115 primer párrafo de la LGTAIP

Fuente: documentación legal del promovente y memoria descriptiva del proyecto ejecutivo, "Descripción del sitio".

El proyecto ese ubica en un contexto ya intervenido por la actividad portuaria y logística de Manzanillo, con acceso directo a una vía primaria, lo que es congruente con la naturaleza del proyecto y con su vocación de servicio a la cadena de contenedores del puerto.

I.4.3 Coordenadas UTM/WGS84 del polígono general y de los terrenos forestales

Todas las coordenadas se expresan en proyección **UTM, Zona 13 Norte, Datum WGS84**; el datum vertical del proyecto es el nivel medio de bajamar inferior (NBMI) del Puerto de Manzanillo, conforme al proyecto ejecutivo. El polígono general del Área del Proyecto está conformado por **un polígono de 19 vértices**. La Tabla I.5 reporta las coordenadas extremas del polígono general y la Tabla I.6 el listado completo de sus vértices.

Tabla 5. Coordenadas extremas del polígono general del proyecto (UTM, Datum WGS84).

Punto extremo	Coordenada UTM X (m E)	Coordenada UTM Y (m N)
Norte	576 050.97	2 112 313.87
Sur	575 834.41	2 111 810.67
Este	576 165.81	2 112 231.75
Oeste	575 604.24	2 111 881.72
Zona UTM	13 Norte	Datum WGS84

Fuente: levantamiento topográfico del predio (proyecto ejecutivo).

La Tabla I.5 acota la extensión del predio: poco más de 560 m en sentido este-oeste y unos 500 m en sentido norte-sur, dimensiones congruentes con una superficie de 12.2034 ha y con la forma alargada que se observa en el plano de vértices (Figura 1).

Tabla 6. Coordenadas de los vértices del polígono general del Área del Proyecto (UTM 13N, WGS84).

Vértice	X UTM (m E)	Y UTM (m N)	Latitud (N)	Longitud (O)
1	576 146.67	2 112 250.19	19.101812°	104.276089°
2	576 165.81	2 112 231.75	19.101644°	104.275908°
3	576 128.41	2 112 103.30	19.100485°	104.276269°
4	576 098.47	2 111 948.93	19.099091°	104.276559°
5	575 895.33	2 111 978.50	19.099366°	104.278489°
6	575 848.82	2 111 985.27	19.099429°	104.278931°
7	575 840.06	2 111 879.08	19.098470°	104.279019°
8	575 834.41	2 111 810.67	19.097852°	104.279075°
9	575 785.76	2 111 828.38	19.098013°	104.279537°
10	575 740.89	2 111 843.09	19.098148°	104.279963°
11	575 694.84	2 111 855.64	19.098263°	104.280400°
12	575 629.69	2 111 874.63	19.098437°	104.281018°
13	575 604.24	2 111 881.72	19.098502°	104.281260°
14	575 762.53	2 111 954.68	19.099156°	104.279753°
15	575 778.05	2 112 021.29	19.099757°	104.279602°
16	575 835.66	2 112 275.49	19.102052°	104.279045°
17	575 943.96	2 112 243.73	19.101761°	104.278017°

Vértice	X UTM (m E)	Y UTM (m N)	Latitud (N)	Longitud (O)
18	576 050.97	2 112 313.87	19.102391°	104.276997°
19	576 086.94	2 112 278.58	19.102071°	104.276656°

Fuente: levantamiento topográfico del predio (proyecto ejecutivo); coordenadas geográficas obtenidas por transformación de las UTM al Datum WGS84.

La Tabla I.6 constituye el cuadro de construcción del polígono general y es la referencia georreferenciada a partir de la cual se delimitan todos los componentes del proyecto. Su cierre geométrico (vértice 19 al vértice 1) confirma que el polígono es congruente con la superficie canónica de 12.2034 ha reportada en la sección I.9.

Dado que el objeto de esta Manifestación es el cambio de uso del suelo forestal, se presenta por separado el cuadro de coordenadas de los **terrenos forestales** (superficie sujeta a CUSTF), que se integran por dos polígonos: el Polígono 1 (0.9598 ha, 13 vértices) y el Polígono 2 (2.4499 ha, 10 vértices), que suman las 3.4097 ha de selva baja caducifolia. La Tabla 7 reporta sus vértices.

Tabla 7. Coordenadas de los vértices de los terrenos forestales (superficie de CUSTF; UTM 13N, WGS84).

Polígono	Vértice	X UTM (m E)	Y UTM (m N)	Latitud (N)	Longitud (O)
1	V1	576 128.41	2 112 103.30	19.100485°	104.276269°
1	V2	576 096.13	2 112 122.73	19.100662°	104.276575°
1	V3	575 864.60	2 111 999.68	19.099559°	104.278781°
1	V4	575 858.58	2 112 000.64	19.099567°	104.278838°
1	V5	575 871.42	2 112 012.03	19.099670°	104.278715°
1	V6	575 921.80	2 112 036.16	19.099886°	104.278235°
1	V7	575 937.88	2 112 054.36	19.100050°	104.278082°
1	V8	575 972.17	2 112 078.07	19.100263°	104.277755°
1	V9	576 029.75	2 112 111.94	19.100567°	104.277206°
1	V10	576 061.50	2 112 140.72	19.100826°	104.276903°
1	V11	576 104.25	2 112 187.71	19.101249°	104.276495°
1	V12	576 144.89	2 112 216.08	19.101504°	104.276107°
1	V13	576 165.81	2 112 231.75	19.101644°	104.275908°
2	V1	576 128.41	2 112 103.30	19.100485°	104.276269°
2	V2	576 098.47	2 111 948.93	19.099091°	104.276559°
2	V3	575 895.33	2 111 978.50	19.099366°	104.278489°
2	V4	575 896.04	2 111 981.60	19.099394°	104.278482°
2	V5	575 895.70	2 111 991.93	19.099487°	104.278485°
2	V6	575 884.19	2 111 993.62	19.099503°	104.278595°
2	V7	575 883.68	2 112 000.05	19.099561°	104.278599°
2	V8	575 871.82	2 111 998.53	19.099548°	104.278712°
2	V9	575 864.60	2 111 999.68	19.099559°	104.278781°
2	V10	576 096.13	2 112 122.73	19.100662°	104.276575°

Fuente: estudio técnico justificativo del cambio de uso del suelo forestal (proyecto ejecutivo); superficies tomadas del atributo del polígono forestal (superficie canónica invariable).

La Tabla 7 delimita con precisión la superficie sobre la que recae el cambio de uso del suelo forestal: dos polígonos contiguos de selva baja caducifolia, ubicados en el costado oriente del predio, que en conjunto

representan las 3.4097 ha materia de la solicitud de CUSTF. Este cuadro de coordenadas es el que da certeza jurídica a la superficie forestal por afectar.

Distribución del CUSTF por parcela. La superficie forestal se reparte de manera desigual entre las parcelas que integran el predio, como se muestra en la Tabla 8. Es un dato relevante porque el cambio de uso del suelo forestal no afecta a las tres parcelas: se concentra en dos de ellas.

Tabla 8. Distribución de la superficie de CUSTF por parcela.

Parcela (Ejido Jalipa)	Superficie de CUSTF (ha)	Superficie (m²)	Porcentaje del CUSTF
77 Z-4 P1/1	0.9599	9 599	28.15 %
92 Z-4 P1/1	2.4498	24 498	71.85 %
101 Z-4 P1/1	0.0000	0	0.00 % (sin terreno forestal)
Total	**3.4097**	**34 097**	**100.00 %**

Fuente: estudio técnico justificativo (proyecto ejecutivo); superficies obtenidas por intersección del polígono forestal con las parcelas y escaladas a la superficie canónica de CUSTF.

La Tabla 8 revela que la parcela 92 concentra casi las tres cuartas partes de la superficie forestal por afectar (71.85 %), la parcela 77 el resto (28.15 %), y la parcela 101 **no contiene terreno forestal**. Esta distribución se ilustra en la gráfica de la Figura 2 y en el mapa de la Figura 3, y es pertinente para la acreditación de la propiedad y para la ubicación precisa de las obras de restauración y compensación.

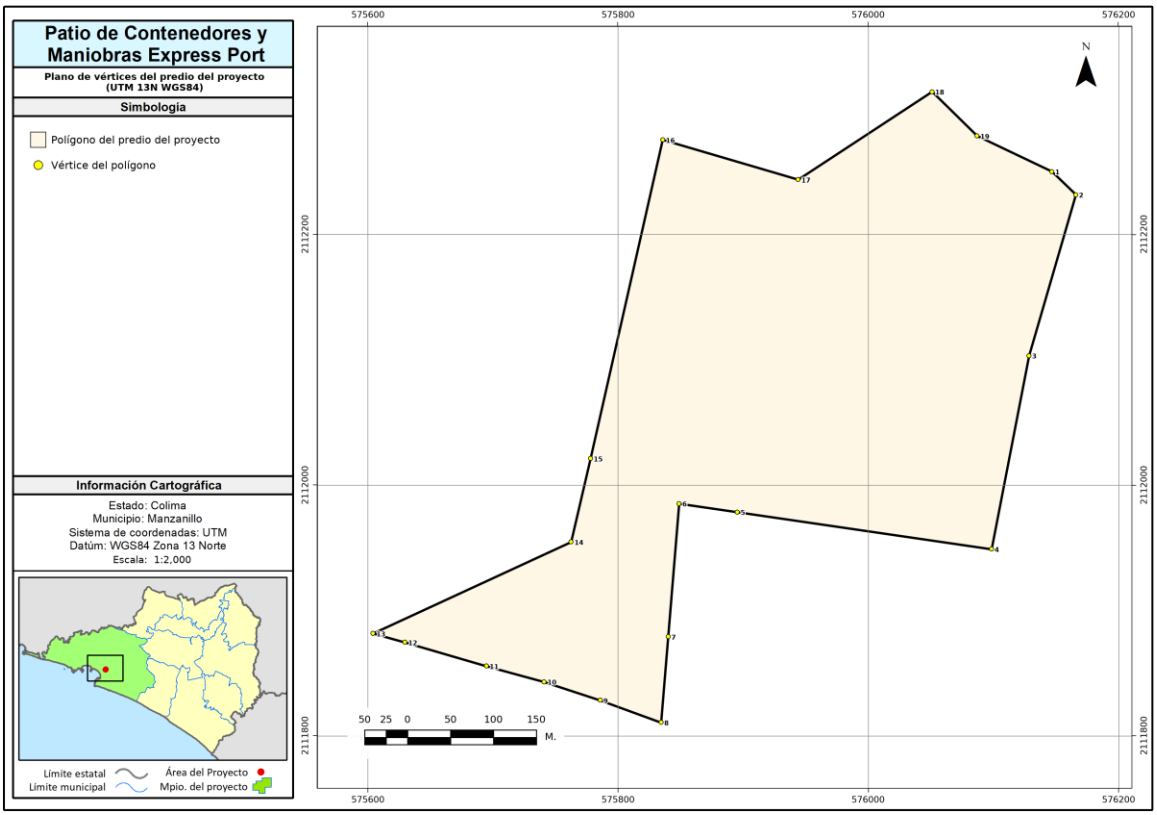


Figura 1. Plano de vértices del polígono general del predio.

Pie de figura: plano de vértices del predio del Área del Proyecto (12.2034 ha), con los 19 vértices numerados y rotulados. Proyección UTM Zona 13N, Datum WGS84. Fuente: elaboración propia a partir del levantamiento topográfico del predio (proyecto ejecutivo), 2026. Escala 1:2 000.

La Figura 1 confirma visualmente la forma del predio y la numeración de vértices de la Tabla I.6; se aprecia el polígono alargado en sentido noreste-suroeste, con un apéndice hacia el suroeste (vértices 8 a 13) que corresponde a la porción más angosta del terreno.

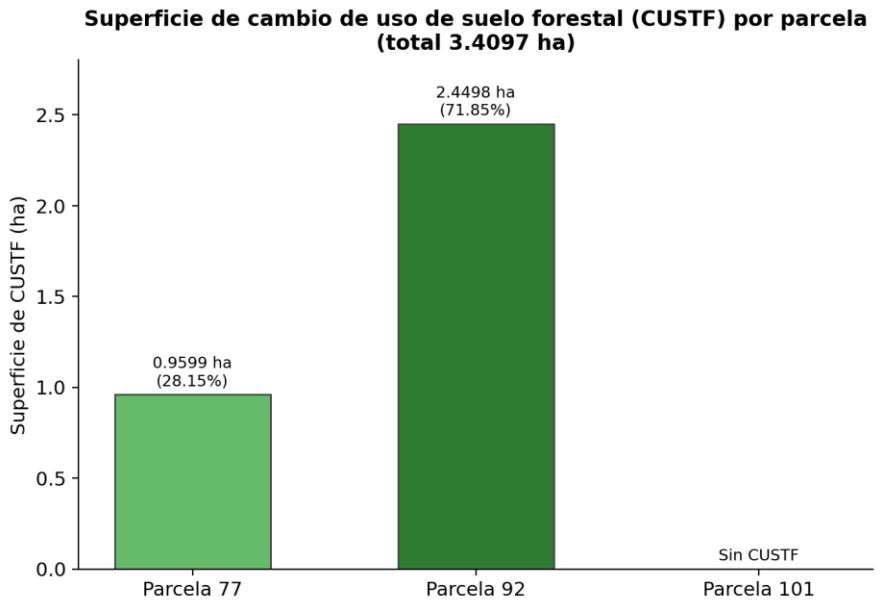


Figura 2. Superficie de CUSTF por parcela (distribución).

Pie de figura: superficie de cambio de uso del suelo forestal por parcela —parcela 77 (0.9599 ha, 28.15 %), parcela 92 (2.4498 ha, 71.85 %) y parcela 101 (sin CUSTF)—, sobre un total de 3.4097 ha. Fuente: elaboración propia a partir del estudio técnico justificativo, 2026.

La Figura 2 traduce la Tabla 8 a una gráfica que hace evidente la concentración del cambio de uso del suelo forestal en la parcela 92 y la ausencia total de vegetación forestal en la parcela 101.

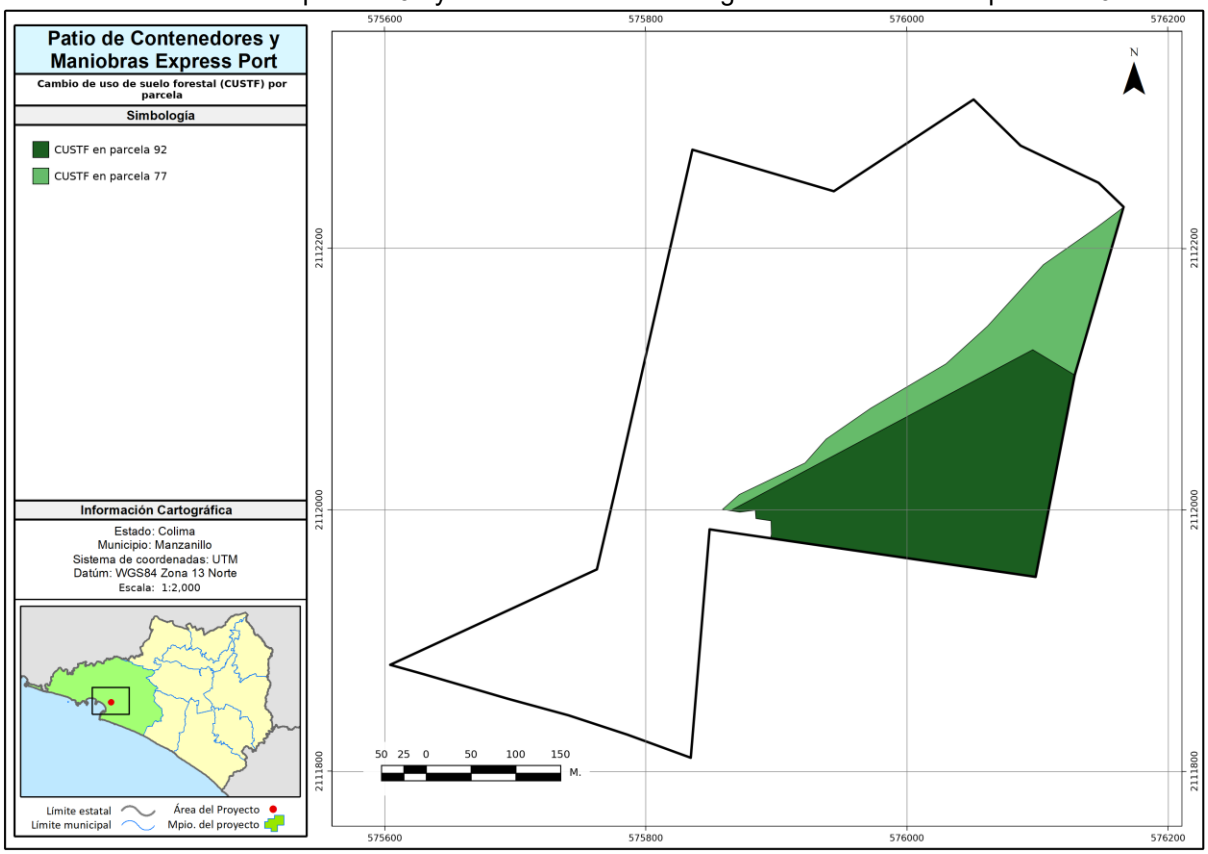


Figura 3. Cambio de uso del suelo forestal (CUSTF) por parcela (mapa).

Pie de figura: localización de la superficie forestal por parcela dentro del predio —parcela 92 (verde oscuro) y parcela 77 (verde claro)—. Proyección UTM Zona 13N, Datum WGS84. Fuente: elaboración propia a partir del estudio técnico justificativo, 2026. Escala 1:2 000.

La Figura 3 sitúa espacialmente el reparto de la Tabla 8: la vegetación forestal forma una franja continua en el costado oriente del predio, mayoritariamente sobre la parcela 92, con una porción menor sobre la 77.

I.4.4 Uso de suelo actual del predio

El uso de suelo actual del predio se compone de dos coberturas: pastizal inducido y terreno forestal de selva baja caducifolia. Su distribución en superficie y porcentaje se presenta en la Tabla 9 y se ilustra en la Figura 2 (gráfica de distribución) y en la Figura 3 (mapa).

Tabla 9. Distribución del uso de suelo actual del predio.

Uso de suelo actual	Superficie (ha)	Superficie (m²)	Porcentaje
Pastizal inducido	8.7937	87 937	72.06 %
Terreno forestal (selva baja caducifolia)	3.4097	34 097	27.94 %
Total del predio	**12.2034**	**122 034**	**100.00 %**

Fuente: proyecto ejecutivo (uso de suelo actual del predio); superficies del atributo (superficie canónica invariable).

La Tabla 9 muestra que casi tres cuartas partes del predio (72 %) ya se encuentran ocupadas por pastizal inducido, mientras que el terreno forestal se limita a poco menos de la tercera parte (28 %). Esta proporción es relevante porque acota el cambio de uso del suelo forestal a una fracción minoritaria del predio.

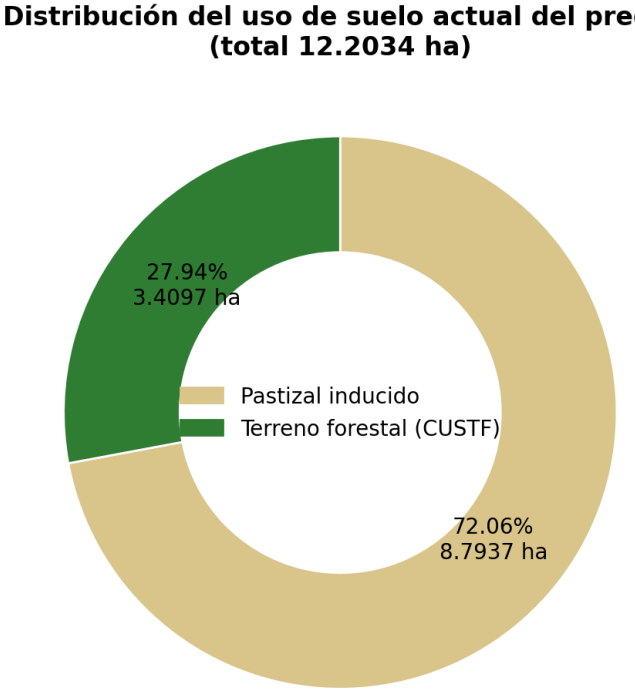


Figura 4. Distribución del uso de suelo actual del predio.

Pie de figura: distribución porcentual del uso de suelo actual —pastizal inducido (72.06 %) y terreno forestal (27.94 %)— sobre la superficie total del predio (12.2034 ha). Fuente: elaboración propia a partir del proyecto ejecutivo, 2026.

La Figura 4 traduce la Tabla 9 a una representación gráfica que evidencia, de un vistazo, el predominio del pastizal inducido y el carácter minoritario de la superficie forestal por afectar.

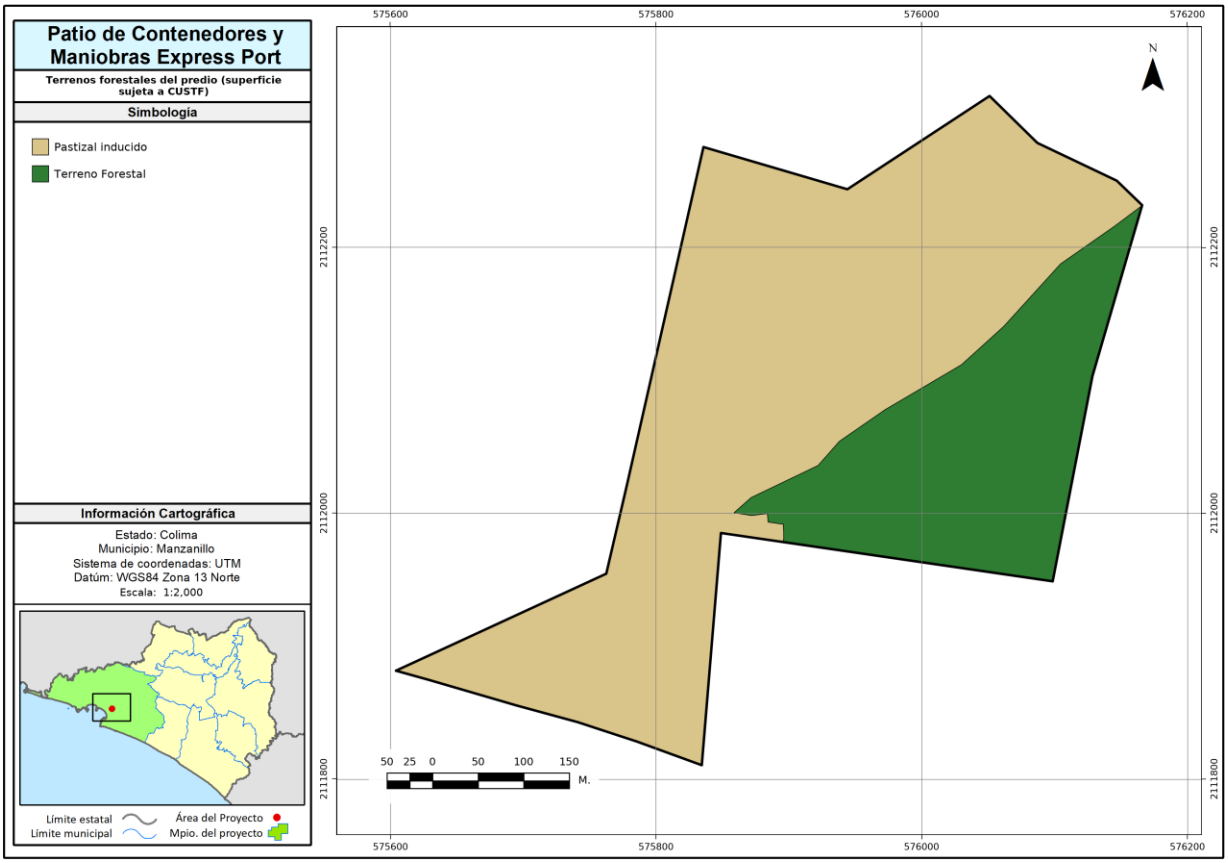


Figura 5. Terrenos forestales del predio (superficie sujeta a CUSTF).

Pie de figura: distribución espacial del uso de suelo actual del predio —pastizal inducido (8.7937 ha) y terreno forestal de selva baja caducifolia (3.4097 ha), en verde—. La superficie forestal es la materia del cambio de uso del suelo. Proyección UTM Zona 13N, Datum WGS84. Fuente: elaboración propia a partir del proyecto ejecutivo (uso de suelo actual), 2026. Escala 1:2 000.

La Figura 5 es la representación cartográfica central de esta Manifestación, pues muestra dónde se localiza —dentro del predio— la vegetación forestal que se pretende remover: una franja continua de selva baja caducifolia en el costado oriente, que ocupa poco más de la cuarta parte de la superficie total, mientras el resto ya es pastizal inducido.

I.4.5 Vías de acceso y colindancias

El acceso al predio se realiza de manera directa desde el **Libramiento Manzanillo–Cihuatlán** —conocido también como carretera Manzanillo–Puerto Vallarta—, vía primaria que conecta con el recinto portuario y la red carretera regional, lo que favorece la operación logística del patio sin necesidad de nuevas vías de acceso. En cuanto a su entorno inmediato, el predio se localiza en la periferia del área urbana de Manzanillo —el centro de población más cercano se encuentra a unos **200 m**— y dispone de conectividad vial próxima, con la vía de comunicación más cercana (una calle local) a unos **228 m**. El cuerpo de agua más próximo es un escurrimiento perenne situado a unos **2 528 m**, de modo que el predio no incide de forma directa sobre cauces superficiales; tampoco se localizan localidades indígenas en su proximidad (la más cercana se ubica a más de **110 km**). Estas distancias se derivan del Marco Geoestadístico del INEGI respecto al polígono del proyecto. En cuanto a sus colindancias, el predio limita al Norte con las parcelas 69, 72 y 76 Z-4 P1/1; al Sur con la carretera Manzanillo–Puerto Vallarta; al Este con la parcela 102 Z-4 P1/1 y un canal de agua; y al Oeste con las parcelas 84 y 100 Z-4 P1/1.

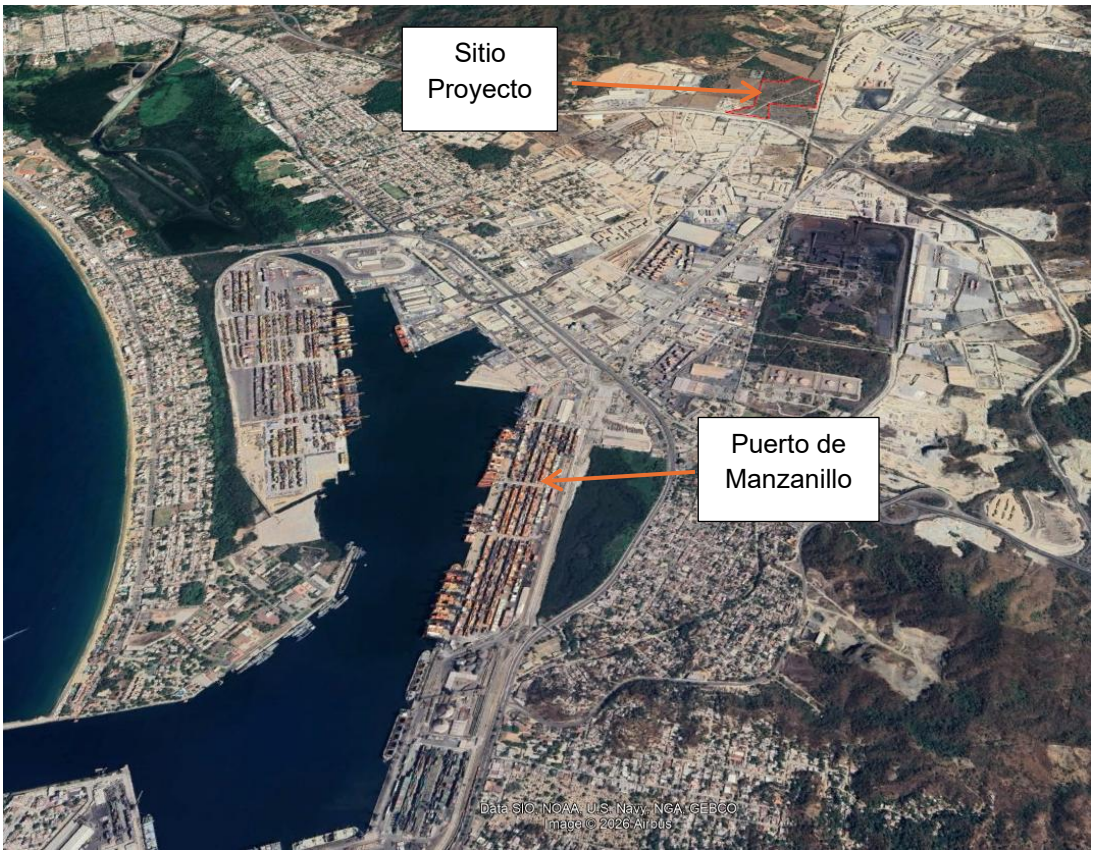


Figura 6. Macrolocalización del predio en el contexto de la zona portuaria de Manzanillo.

Anexos geográficos. Los planos georreferenciados en UTM WGS84 del polígono general y de cada componente del proyecto —con archivos en formato shapefile, KML/KMZ, CSV y PDF— se integran en el anexo cartográfico del Capítulo I.

I.5 Descripción específica de las obras y actividades

I.5.1 Naturaleza, objetivos y justificación

Naturaleza. El proyecto consiste en el desarrollo de un **patio logístico-portuario** para el manejo, almacenamiento temporal, inspección, reparación y operación de contenedores, que da servicio a la cadena de comercio exterior del Puerto de Manzanillo. En términos operativos, un patio de este tipo es el sitio donde se realiza la transferencia de la mercancía en contenedor entre el transporte terrestre (tractocamiones) y el almacenamiento temporal en bahías, para su posterior despacho, empleando equipo especializado de manejo —grúas móviles tipo *reach stacker*, montacargas y equipo auxiliar—.

Objetivos. El objetivo principal es habilitar un patio de almacenamiento y maniobra de contenedores sobre una superficie total de 12.2034 hectáreas, con las características necesarias para realizar de manera eficiente y segura la carga, descarga y almacenamiento temporal de contenedores, en concordancia con la normatividad ambiental federal, estatal y municipal. El proyecto responde al crecimiento sostenido en el manejo de carga contenerizada del Puerto de Manzanillo —el principal nodo logístico del Pacífico mexicano— y a la necesidad de optimizar los tiempos de operación.

Justificación. El predio se encuentra en la zona de influencia portuaria de Manzanillo, en un entorno ya industrial y logístico, y una parte sustancial de su superficie (8.7937 ha, el 72 %) corresponde a pastizal inducido, es decir, a un terreno previamente intervenido y sin cubierta forestal. El proyecto se sitúa, además,

dentro de la clasificación de usos logísticos e industriales del Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Manzanillo (PMOTDUM), lo que respalda la aptitud del sitio para el uso propuesto. Desde la perspectiva socioeconómica, el proyecto aportará un beneficio local: se estima la generación de **25 empleos directos** en su operación y, a partir de ellos, del orden de **50 empleos indirectos** (aplicando un factor de 2 empleos indirectos por cada directo, fijado por el perito para este proyecto y presentado como estimación, no como dato firme), así como una **derrama económica estimada de $20 000 000.00 MXN** (dato del promovente), inducida sobre el tejido económico local a través de la contratación de mano de obra, servicios y proveeduría en la zona de Manzanillo. La graduación de la significancia de este beneficio frente a las condiciones del entorno (marginación, rezago social, población económicamente activa) se desarrolla en el diagnóstico socioeconómico por escala del Capítulo III de esta Manifestación, sustentado en la ficha socioeconómica del proyecto (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020 —ITER y RESAGEBURB— y DENUE 2020). Dicho diagnóstico caracteriza el entorno inmediato del proyecto (Área de Influencia) como un espacio de muy baja densidad residencial —del orden de 41 habitantes— y de clara vocación logística: 14 de las 19 unidades económicas registradas en el DENUE dentro del Área de Influencia pertenecen al clúster logístico-portuario. En el contexto regional (Región Ecológica, ámbito urbano de Manzanillo) se agrupan alrededor de 163 080 habitantes y 2 836 unidades económicas, lo que confirma la inserción del predio en un tejido económico consolidado en torno a la actividad portuaria. De manera simétrica, se reconoce que el proyecto puede ejercer presiones de nivel intermedio sobre los servicios públicos locales (red de agua y drenaje municipal, vialidades) y sobre la oferta local de bienes y servicios durante la construcción; su valoración formal corresponde al capítulo de impactos.

I.5.2 Obras y actividades principales

Las obras y actividades principales se agrupan en las etapas de preparación del sitio, construcción y operación y mantenimiento; el proyecto no contempla una etapa de cierre y abandono (véase I.5.5). La Tabla 10 sintetiza, por etapa, las obras, su descripción, la maquinaria y equipo asociados y la superficie de referencia; enseguida se describe con detalle cada componente construido.

Tabla 10. Identificación y descripción de las obras y actividades principales por etapa.

Etapa	Obra o actividad	Descripción	Maquinaria y equipo	Superficie
Preparación del sitio	Limpieza, deslinde y despalme	Limpieza general, retiro y acopio de material vegetal, delimitación y señalización de áreas; despalme superficial del terreno; en la franja forestal, derribo de vegetación previo rescate de flora y fauna	Excavadoras, cargadores frontales, retroexcavadoras, camiones de volteo, motoconformadoras, rodillos compactadores, herramientas manuales	12.2034 ha (predio)
Construcción	Movimiento de tierras	Cortes, rellenos con material de banco autorizado, acarreos, nivelación y compactación por capas	Excavadoras, cargadores frontales, motoconformadoras, rodillos compactadores, camiones de volteo, pipas de agua	—
Construcción	Edificación de áreas administrativas y técnicas	Cimentaciones, estructura, obra arquitectónica e instalaciones de las áreas administrativas, talleres y zonas técnicas	Excavadoras, grúas, mezcladoras, vibradores, andamios, equipo de izaje	Según componente (Tabla I.17)

Etapa	Obra o actividad	Descripción	Maquinaria y equipo	Superficie
Construcción	Accesos, arcos de control y vialidades internas	Terracerías, capas estructurales y pavimentos, arcos de control, señalización horizontal y vertical	Excavadoras, motoconformadoras, rodillos compactadores, pavimentadoras, camiones de volteo, grúas	—
Construcción	Infraestructura hidráulica, sanitaria, eléctrica, CCTV y telecomunicaciones	Canalizaciones y registros, redes hidráulicas y sanitarias, infraestructura eléctrica, CCTV y redes de datos	Equipo de excavación menor, herramientas eléctricas, equipo de tendido de cable, equipos de medición y prueba	—
Construcción	Obras de seguridad, señalización y áreas verdes	Señalización preventiva/restrictiva/informativa, dispositivos de seguridad, habilitación de áreas verdes	Herramientas manuales, equipo de señalización, maquinaria menor, equipo de jardinería	—
Operación y mantenimiento	Operación del patio	Recepción, carga, descarga, almacenamiento temporal y despacho de contenedores; inspección y mantenimiento de contenedores y equipo	Grúas móviles (*reach stackers*), montacargas, tractocamiones	12.2034 ha (predio)

Fuente: memoria descriptiva del proyecto ejecutivo, "Resumen de las obras" y "Consideraciones generales de diseño".

La Tabla 10 muestra que la carga de obra se concentra en la etapa de construcción, con actividades intensivas en movimiento de tierras y obra civil, mientras que la operación es de baja intensidad constructiva y se sostiene sobre las instalaciones ya edificadas. A continuación se describe cada uno de los componentes principales del patio, conforme al diseño del proyecto.

- **Área de inspección.** Zona destinada a la revisión física y documental de las unidades de transporte y de los contenedores, previo a su ingreso al patio: se verifican integridad estructural, estado general, sellos de seguridad y cumplimiento de requisitos operativos y normativos. Se contempla la instalación de una oficina móvil con capacidad para 8 a 10 personas, equipada con sanitarios; el suministro de energía se realiza mediante generador a combustible, el agua potable mediante recargas periódicas con pipas, y las aguas residuales se manejan mediante un contenedor de descarga integrado con desazolves programados.
- **Área de lavado de contenedores.** Área destinada a la limpieza interior y exterior de contenedores vacíos, con superficies impermeables de losa de concreto y sistema de captación, conducción y tratamiento de aguas residuales mediante biodigestor, con manejo y disposición adecuados de los residuos generados para minimizar impactos ambientales.
- **PTI y M&R (Pre-Trip Inspection y Maintenance & Repair).** Área especializada para inspecciones previas a la operación y para el mantenimiento preventivo y correctivo de contenedores y equipos: revisión técnica, reparaciones estructurales menores, sustitución de componentes y pruebas funcionales. Para su adecuación se construyen losas de concreto y se contrata el suministro eléctrico directamente con la Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- **Taller de maquinaria.** Instalación destinada al mantenimiento, reparación y resguardo de la maquinaria de operación del patio (reach stackers, montacargas, tractocamiones y equipo auxiliar), con áreas de trabajo, almacenamiento de refacciones y zonas de servicio. Se edifica mediante estructura metálica tipo cobertizo, con cimentación a base de dados de concreto y losa de concreto como superficie de trabajo; incorpora áreas señalizadas para el manejo y almacenamiento de residuos peligrosos, conforme a la normativa ambiental y de seguridad aplicable.

- **Taller de reparación de contenedores.** Área para reparaciones mayores y menores de contenedores —soldadura, enderezado, sustitución de paneles, pisos y herrajes—, acondicionada con losa de concreto para la estabilidad y manipulación de las unidades, a fin de prolongar su vida útil y asegurar su conformidad con las normas de operación y seguridad.
- **Área de reefers (contenedores refrigerados).** Zona destinada a la conexión, operación y monitoreo de contenedores refrigerados, con infraestructura eléctrica para el suministro continuo de energía y sistemas de supervisión de temperatura y alarmas; su diseño favorece la ventilación y la accesibilidad para mantenimiento. Se habilita con losa de concreto e instalación eléctrica contratada con CFE.
- **Arcos de acceso y salida (tres carriles por sentido).** Infraestructura de control de ingreso y egreso de vehículos, con tres carriles por sentido e integración de sistemas de control de accesos, inspección visual, identificación y registro de unidades. Se ejecutan mediante el montaje de contenedores marítimos de 20' y 40', soldados en sus cantoneras y cimentados sobre dados de concreto, habilitados internamente como casetas de vigilancia con instalaciones eléctricas, CCTV, redes de datos, aire acondicionado y luminarias.
- **Oficinas administrativas, comedor y estacionamiento.** Conjunto de espacios para la gestión administrativa y los servicios de apoyo al personal (oficinas, salas de trabajo y comedor), proyectado para unas 20 personas administrativas con sanitarios independientes para mujeres y hombres. Se habilita mediante la adecuación de dos contenedores de 40' cimentados sobre losa de concreto, con instalaciones eléctricas, hidrosanitarias, pluviales y CCTV; el agua potable se suministra mediante pipas y las aguas residuales se manejan con biodigestor.
- **Bahías de contenedores y circuitos viales.** Área principal de operación del patio, destinada al almacenamiento, acomodo y maniobra de contenedores, con bahías organizadas conforme a criterios operativos y circuitos viales internos diseñados para tránsito pesado. Se acondiciona mediante la colocación y compactación de material de banco, para mejorar la capacidad portante y rodante del terreno tanto para la estiba como para la circulación.

La distribución en superficie de estos componentes se presenta en la Tabla 11 y se ilustra en la Figura 7 (mapa de uso propuesto) y en la Figura 8 (gráfica de distribución); la secuencia del proceso operativo se muestra en la Figura 9.

Tabla 11. Distribución del uso de suelo propuesto por componente.

Componente	Superficie (ha)	Superficie (m²)	Porcentaje
Bahías de contenedores	5.6472	56 472	46.28 %
Circuito vial	5.0186	50 186	41.12 %
Área verde	0.8254	8 254	6.76 %
Acceso	0.2474	2 474	2.03 %
Área verde-jardinera	0.1819	1 819	1.49 %
PTI y M&R	0.0779	779	0.64 %
Reefers	0.0576	576	0.47 %
Estacionamiento	0.0510	510	0.42 %
Taller de reparación de contenedores	0.0387	387	0.32 %
Arcos de acceso y salida	0.0190	190	0.16 %
Taller de maquinaria	0.0157	157	0.13 %
Lavado de contenedores	0.0104	104	0.08 %
Oficinas administrativas y comedor	0.0096	96	0.08 %

Componente	Superficie (ha)	Superficie (m²)	Porcentaje
Área de inspección	0.0030	30	0.02 %
Total	**12.2034**	**122 034**	**100.00 %**

Fuente: proyecto ejecutivo (uso de suelo propuesto); superficies del atributo (superficie canónica invariable).

La Tabla 11 cuantifica lo que las descripciones anteriores adelantan: las bahías de contenedores y el circuito vial concentran el 87 % de la superficie del proyecto (46.28 % y 41.12 %, respectivamente), mientras que la totalidad de las áreas edificadas —talleres, oficinas, inspección, lavado, PTI y M&R, reefers, arcos— apenas suma alrededor del 2 % del predio. Las áreas verdes representan poco más del 8 %.

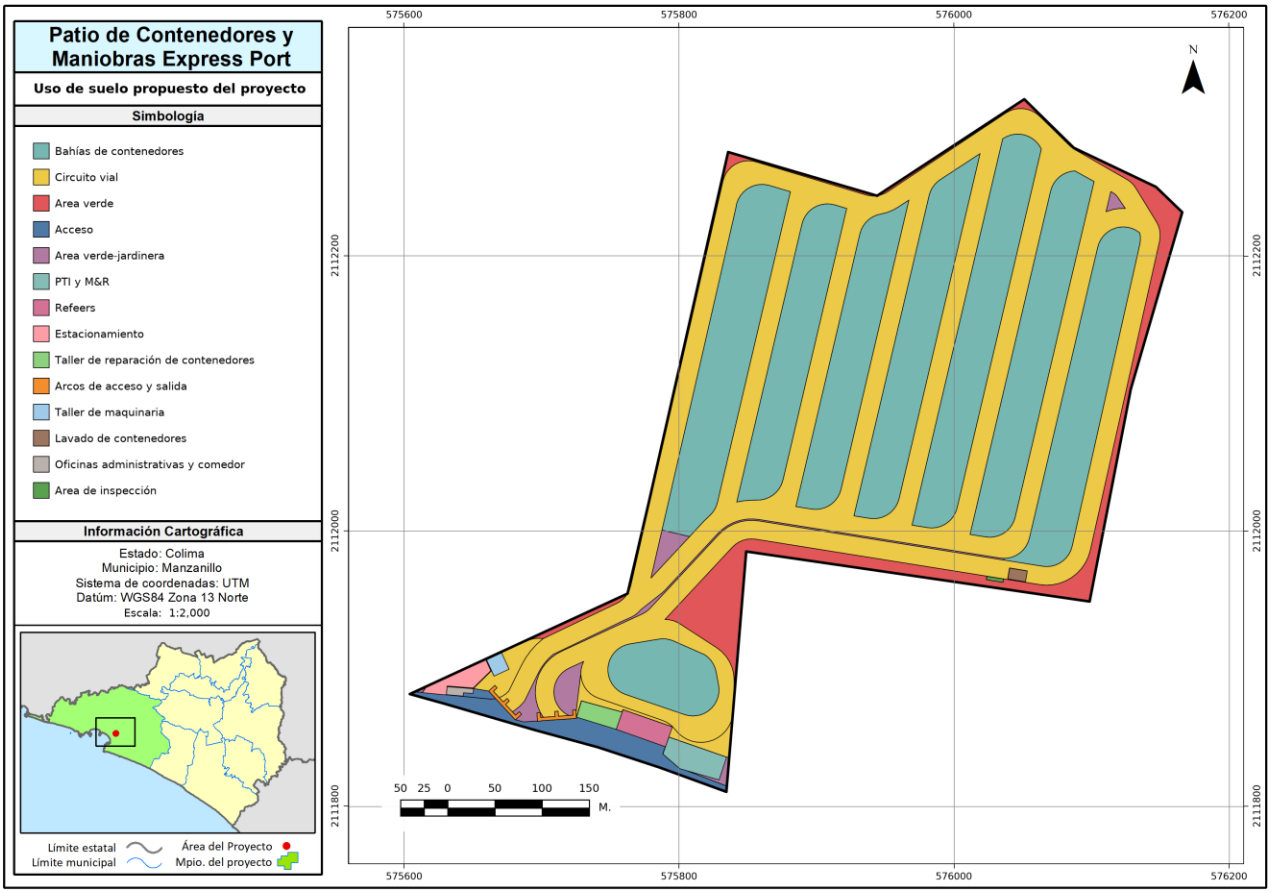


Figura 7. Uso de suelo propuesto del proyecto (distribución de componentes).

Pie de figura: distribución espacial de los componentes del patio por uso propuesto, sobre el polígono general del predio. Proyección UTM Zona 13N, Datum WGS84. Fuente: elaboración propia a partir del proyecto ejecutivo (uso de suelo propuesto), 2026. Escala 1:2 000.

La Figura muestra que las bahías de contenedores y el circuito vial —los componentes operativos de mayor extensión— dominan la superficie, mientras las áreas edificadas se concentran en superficies pequeñas del costado suroeste, junto al acceso. Esta distribución es congruente con la vocación del proyecto.

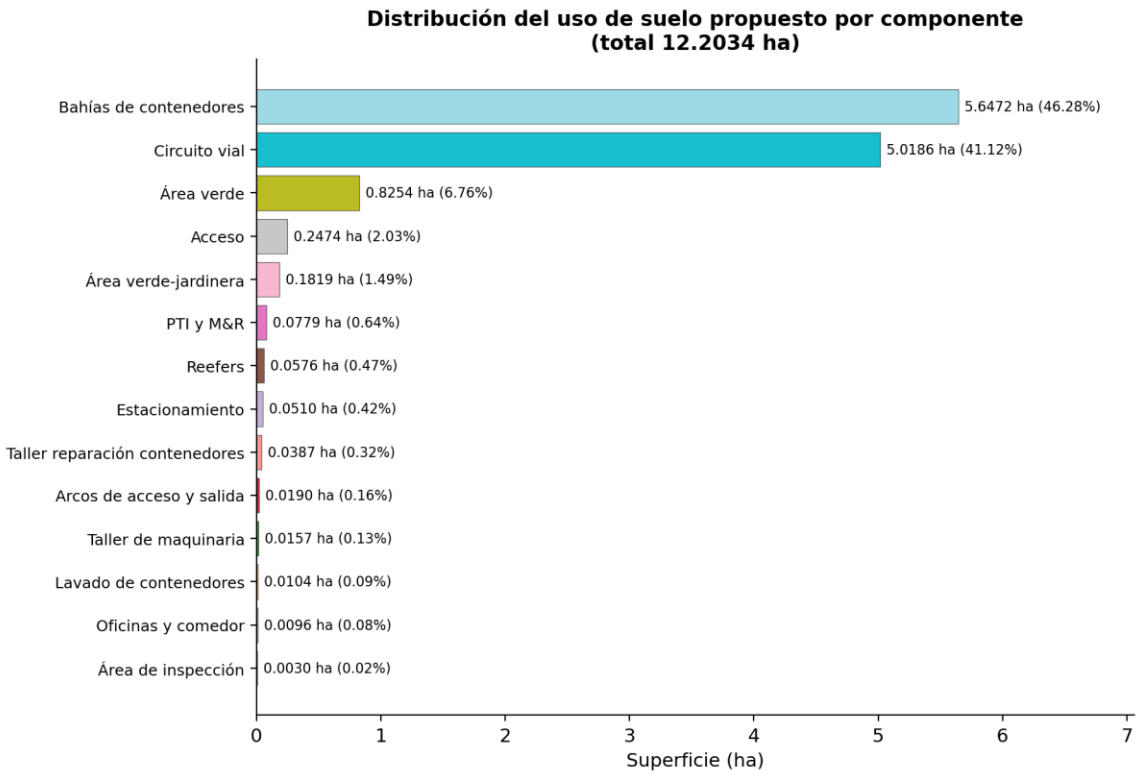


Figura 8. Distribución del uso de suelo propuesto por componente (superficie y porcentaje).

Pie de figura: superficie (ha) y porcentaje de cada componente del uso de suelo propuesto, sobre el total del predio (12.2034 ha). Fuente: elaboración propia a partir del proyecto ejecutivo, 2026.

La Figura ordena los componentes por superficie y confirma gráficamente el predominio de las bahías de contenedores y el circuito vial frente al peso marginal de las áreas edificadas, lo que ayuda a dimensionar correctamente la magnitud relativa de cada obra.

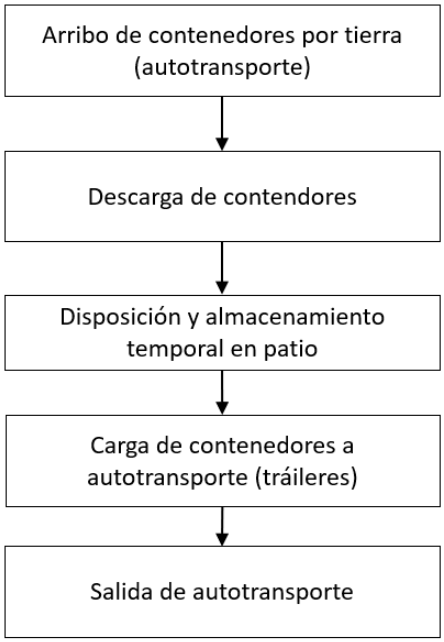


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de carga y descarga de contenedores.

I.5.3 Obras complementarias

Las obras complementarias dan soporte a la operación del patio y se resumen en la Tabla 12.

Tabla 12. Identificación y descripción de las obras complementarias.

Obra complementaria	Descripción y especificaciones	Superficie
Vialidades internas y accesos	Circuito vial interno para tránsito pesado, con capas estructurales y pavimentos; acceso desde el Libramiento	Incluida en circuito vial y acceso (Tabla I.11)
Red hidráulica y sanitaria	Redes hidráulicas y sanitarias; en construcción, agua potable por pipas; en operación, conexión a la red de la CAPDAM; tratamiento local por biodigestor en lavado y oficinas	—
Red eléctrica e iluminación	Infraestructura eléctrica; en construcción por generador a combustible; en operación, contratación con CFE (PTI y M&R, reefers) e iluminación de patio	—
Almacenes y bodegas definitivas	Almacenamiento de refacciones en el taller de maquinaria; almacén de residuos peligrosos señalizado	Incluida en taller de maquinaria
Obras de seguridad y señalización	Arcos de control con CCTV, señalización horizontal y vertical, dispositivos de seguridad	—

Fuente: memoria descriptiva del proyecto ejecutivo (secciones de diseño de infraestructura).

La Tabla I.12 muestra que las obras complementarias son, en su mayoría, redes e instalaciones embebidas en los componentes principales, y que la dotación de servicios se resuelve con soluciones mixtas: autónomas durante la construcción (generador, pipas, biodigestor) y conectadas a la infraestructura municipal (CFE, CAPDAM) durante la operación.

I.5.4 Obras temporales previstas

Las obras temporales se limitan a las instalaciones de apoyo durante la construcción, que se retiran al concluir la obra. Se resumen en la Tabla 13.

Tabla 13. Identificación y descripción de las obras temporales.

Obra temporal	Descripción y propósito	Periodo de operación
Bodega temporal de materiales	Almacenamiento provisional de materiales de construcción	Etapa de construcción
Oficinas móviles	Oficina móvil de inspección y coordinación de obra (8 a 10 personas)	Etapa de construcción
Sanitarios portátiles	Servicios sanitarios del personal de obra, con contenedor de descarga y desazolve programado	Etapa de construcción

Fuente: proyecto ejecutivo del promovente (memoria descriptiva y documento técnico).

La Tabla 13 confirma que el proyecto no requiere obras temporales de gran magnitud —no se prevén campamentos ni bancos de material dentro del predio—, lo que acota la afectación temporal del sitio a instalaciones menores y desmontables.

I.5.5 Programa de cierre, desmantelamiento, abandono y restauración

Por tratarse de infraestructura portuaria de carácter **permanente**, con una vida útil del orden de 50 años, el proyecto **no contempla una etapa de cierre y abandono** ni, por tanto, un programa de cierre. De modificarse esta condición durante la vida del proyecto, el promovente presentaría el programa de cierre, desmantelamiento, abandono y/o restauración que corresponda.

I.6 Inversión del proyecto

El costo de inversión del proyecto y el costo de las medidas ambientales se presentan en la Tabla 14. Estas cifras son las que el promovente aporta para efectos del trámite.

Tabla 14. Inversión total del proyecto.

Concepto	Monto (M.N. $)
Costo de inversión del proyecto (obras principales, complementarias y temporales)	artículos 110 y 113 fracción I de la LFTAIP y 115 primer párrafo de la LGTAIP
Costo de las medidas de prevención, mitigación, compensación y/o restauración	
TOTAL	

Fuente: proyecto ejecutivo del promovente (presupuesto de obra).

La Tabla 14 muestra que el proyecto destina aproximadamente el **7.4 %** de su inversión total a las medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración, proporción que refleja la previsión de recursos específicos para atender los impactos ambientales identificados en esta Manifestación y que da sustento material al programa de medidas que se desarrolla en los capítulos correspondientes.

I.7 Duración estimada del proyecto

La duración estimada del proyecto por etapa se presenta en la Tabla 15. La etapa de preparación del sitio y construcción se estima en **12 meses**, que corresponden a aproximadamente 312 días hábiles de obra —parámetro con el que se estimaron los consumos y residuos de esta etapa en la sección I.8—; internamente, la construcción se ejecuta en dos frentes constructivos sucesivos (primero los terrenos no forestales y después la habilitación de la superficie forestal). La operación y el mantenimiento son de carácter permanente.

Tabla 15. Cronograma general de trabajo (duración por etapa).

Etapa	Duración	Observaciones
Preparación del sitio y construcción	12 meses	Ejecutada en dos frentes constructivos sucesivos (terrenos no forestales y superficie forestal)
Operación y mantenimiento	Permanente (vida útil ~50 años)	Infraestructura portuaria permanente
Cierre y abandono	No aplica	No se contempla; sin programa de cierre

Fuente: proyecto ejecutivo; memoria descriptiva, "Periodo".

La Tabla I.15 evidencia que la afectación de mayor intensidad se concentra en un periodo acotado de doce meses, tras el cual el proyecto entra en una fase operativa permanente y de baja intensidad constructiva. La secuencia y el traslape de las actividades de esta etapa se muestran en el cronograma de la Figura 10.

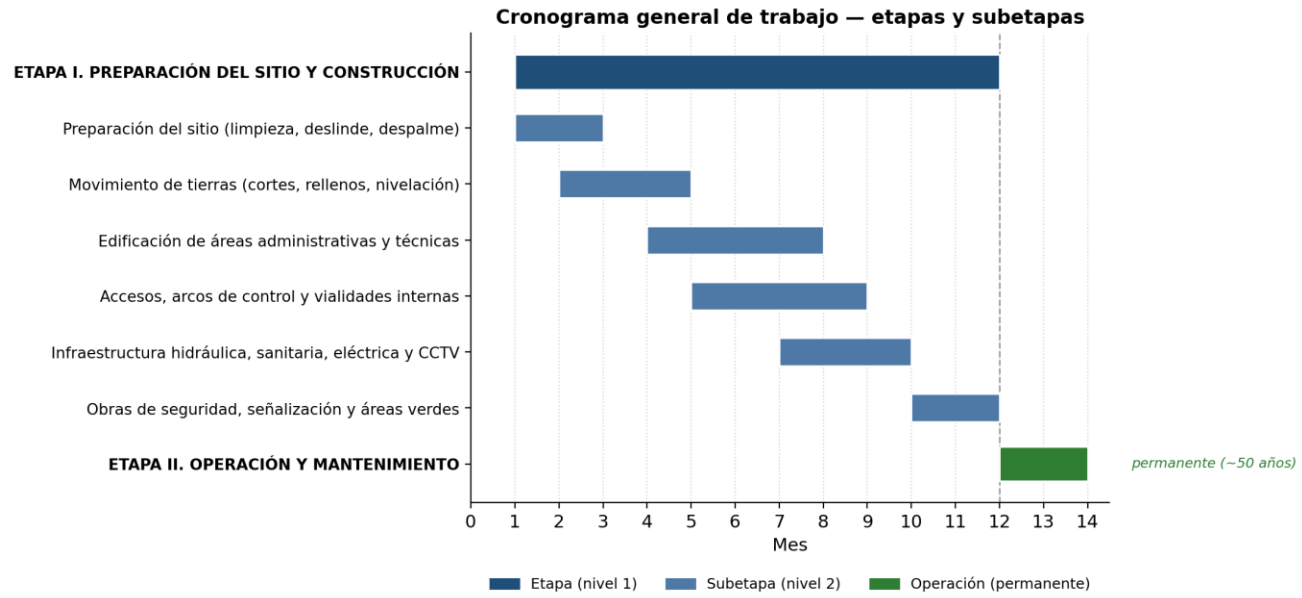


Figura 10. Cronograma general de trabajo (esquemático) de la etapa de preparación y construcción.

Pie de figura: cronograma esquemático de dos niveles —nivel 1, las etapas del proyecto; nivel 2, las subetapas de la preparación del sitio y construcción—, a lo largo de los doce meses de la etapa constructiva. Fuente: elaboración propia a partir de la secuencia de obra del proyecto ejecutivo (memoria descriptiva, "Programa de obra"), 2026.

La Figura organiza el cronograma en dos niveles: en el primer nivel, las etapas del proyecto —la de preparación del sitio y construcción, que ocupa los doce meses, y la de operación y mantenimiento, de carácter permanente que inicia al concluir la obra—; en el segundo nivel, las seis subetapas constructivas. Estas subetapas se ordenan y traslapan en el tiempo: la preparación del sitio abre la obra (meses 1 a 2), seguida del movimiento de tierras; la edificación de áreas administrativas y técnicas, los accesos y vialidades, y las redes de infraestructura se traslapan hacia la mitad del periodo, y las obras de seguridad, señalización y áreas verdes la cierran. El cronograma es esquemático —refleja la secuencia y duración declaradas por el promovente— y su versión detallada, con la asignación fina de recursos por actividad, forma parte del proyecto ejecutivo.

I.8 Tabla resumen de características del proyecto

La Tabla I.16 resume las características del proyecto por etapa, en cantidades y unidades. Cada cifra se obtuvo con memoria de cálculo trazable, estimando los consumos, residuos y emisiones a partir de los insumos del proyecto (número de trabajadores y duración por etapa, inventario de maquinaria, áreas por uso y superficies de afectación) con coeficientes de fuente oficial citada. La memoria de cálculo completa —fórmula, coeficiente y fuente por cada renglón— se integra en el **Anexo de memorias de cálculo** de este capítulo, en cumplimiento de la nota de la guía que exige anexar las memorias de cálculo de los datos asentados. Las cantidades de operación se expresan en base anual; las marcadas "N/A" corresponden a conceptos que no aplican a la etapa (hecho del proyecto) y no a datos faltantes.

Tabla 16. Resumen de características del proyecto.

Característica	Preparación y construcción	Operación (anual)	Fuente / anexo de memoria
Consumo de energía eléctrica	N/A (obra con generador a diésel)	272 730.00 kWh	Anexo de memoria de cálculo
Consumo de agua	998.40 m³	730.00 m³	Anexo de memoria de cálculo
Emisiones de GEI (total)	1 598.18 t CO_2e	121.09 t CO_2e	Anexo de memoria de cálculo

Característica	Preparación y construcción	Operación (anual)	Fuente / anexo de memoria
— por combustión de maquinaria (CO_2 + CH_4/N_2O)	1 364.17 t CO_2e	N/A	Anexo (factores IPCC 2006 / INECC)
— por consumo de energía eléctrica	N/A	121.09 t CO_2e	Anexo (Factor de Emisión del SEN)
— por pérdida de vegetación (CUSTF)	234.01 t CO_2e	N/A	Estudio técnico justificativo (CUSTF)
Residuos peligrosos (aceites lubricantes)	10 756.60 L	N/A	Anexo (RLOPSRM Art. 203)
Residuos de manejo especial — suelo (despalme)	14 554.80 t	N/A	Anexo de memoria de cálculo
Residuos de manejo especial — material vegetal	77.24 m³ rta	N/A	Estudio técnico justificativo (CUSTF)
Residuos sólidos urbanos	6 240.00 kg	4 562.50 kg	Anexo de memoria de cálculo
Descargas de agua residual	748.80 m³	547.50 m³	Anexo de memoria de cálculo
Cuerpo receptor y sitio de descarga	Sanitarios portátiles con retiro autorizado (no hay descarga a cuerpo natural)	Red municipal de drenaje sanitario de la CAPDAM	Proyecto ejecutivo

Fuente: memoria de cálculo del proyecto (Anexo de memorias de cálculo); proyecto ejecutivo (abastecimiento de agua y destino de las descargas).

La Tabla 16 revela que el mayor efecto ambiental cuantificable del proyecto se concentra en la etapa de construcción y proviene de dos fuentes: las emisiones de gases de efecto invernadero por la combustión de la maquinaria (1 364.17 t CO_2e, que ya incluyen el metano y el óxido nitroso de la combustión todo terreno) y la pérdida de vegetación por el cambio de uso del suelo (234.01 t CO_2e). En la operación, la huella se reduce de manera marcada y se debe casi por completo al consumo de energía eléctrica. Destaca que los residuos de manejo especial de mayor volumen —el suelo del despalme (14 554.80 t) y el material vegetal (77.24 m³ rollo total árbol)— se generan una sola vez, en la preparación del sitio, y son susceptibles de aprovechamiento (el material vegetal se tritura como mulch), lo que se retoma en el capítulo de medidas.

I.9 Superficies generales del proyecto

Las superficies del proyecto se obtienen del **atributo de área** del levantamiento y del proyecto ejecutivo, nunca del cálculo geométrico, conforme a la regla de superficie canónica invariable. La superficie total del predio (12.2034 ha) es idéntica a la reportada en las secciones I.1 y I.4 y congruente con los polígonos de cambio de uso del suelo. La Tabla 17 desglosa las superficies generales.

Tabla 17. Superficies generales del proyecto.

Concepto	Superficie (ha)	Superficie (m²)	Observaciones
Superficie total del predio	12.2034	122 034	Integrada por 3 parcelas del Ejido Jalipa (77, 92, 101)
Superficie de desplante de construcciones, obras e instalaciones (total)	11.1960	111 960	Bahías, vialidad y edificaciones
Superficie a intervenir sin construcciones	1.0074	10 074	Áreas verdes y jardineras

Concepto	Superficie (ha)	Superficie (m²)	Observaciones
Superficie total de vegetación existente en el predio	12.2034	122 034	Pastizal inducido 8.7937 + terreno forestal 3.4097
Superficie total de vegetación por afectar	3.4097	34 097	Superficie forestal sujeta a cambio de uso del suelo
Superficie de vegetación forestal existente (requiere CUSTF)	3.4097	34 097	Selva baja caducifolia
Superficie de vegetación forestal por afectar (requiere CUSTF)	3.4097	34 097	La totalidad de la superficie forestal
— Selva baja caducifolia (existente / por afectar)	3.4097 / 3.4097	34 097 / 34 097	Único tipo de vegetación forestal en el predio
— Afectación permanente	3.0617	30 617	89.79 % de la superficie forestal por afectar
— Afectación temporal	0.3480	3 480	10.21 % de la superficie forestal por afectar
Incidencia en cuerpos de agua (temporal / permanente)	0 / 0	0 / 0	Sin incidencia
Incidencia en Zona Federal (temporal / permanente)	0 / 0	0 / 0	Sin incidencia

Fuente: levantamiento topográfico y proyecto ejecutivo del predio (superficies tomadas del atributo de área, superficie canónica invariable). El desglose de la superficie forestal por afectar es de 3.0617 ha de afectación permanente (89.79 %) y 0.3480 ha de afectación temporal (10.21 %), que suman las 3.4097 ha de CUSTF.

La Tabla 17 permite dimensionar el proyecto en términos de superficie: de las 12.2034 ha del predio, **3.4097 ha (27.9 %) corresponden a terreno forestal de selva baja caducifolia** sujeto a cambio de uso del suelo, y las **8.7937 ha (72.1 %) restantes a pastizal inducido** sin cubierta forestal. El desplante de construcciones (11.1960 ha) y la superficie de intervención sin construcciones (1.0074 ha) suman exactamente la superficie total del predio, lo que confirma la congruencia interna de las cifras.

Zonas con y sin despalme. Dentro de la superficie del predio, la afectación al suelo por despalme se concentra en las áreas de desplante de construcciones; las áreas verdes y jardineras se conservan sin despalme. La Tabla 18 cuantifica esta distribución y la Figura 11 la localiza.

Tabla 18. Superficie con y sin despalme del terreno.

Zona	Superficie (ha)	Superficie (m²)	Porcentaje del predio
Con despalme (desplante de construcciones)	11.1960	111 960	91.75 %
Sin despalme (áreas verdes y jardineras)	1.0074	10 074	8.25 %
Total del predio	**12.2034**	**122 034**	**100.00 %**

Fuente: proyecto ejecutivo (uso de suelo propuesto); superficies del atributo.

La Tabla 18 indica que el despalme superficial del terreno alcanza el 91.75 % del predio (11.1960 ha), en tanto que el 8.25 % restante (áreas verdes) se conserva sin remoción de la capa edáfica. Esta cifra es el insumo directo del volumen de despalme y del residuo de manejo especial de suelo reportados en la Tabla 16.

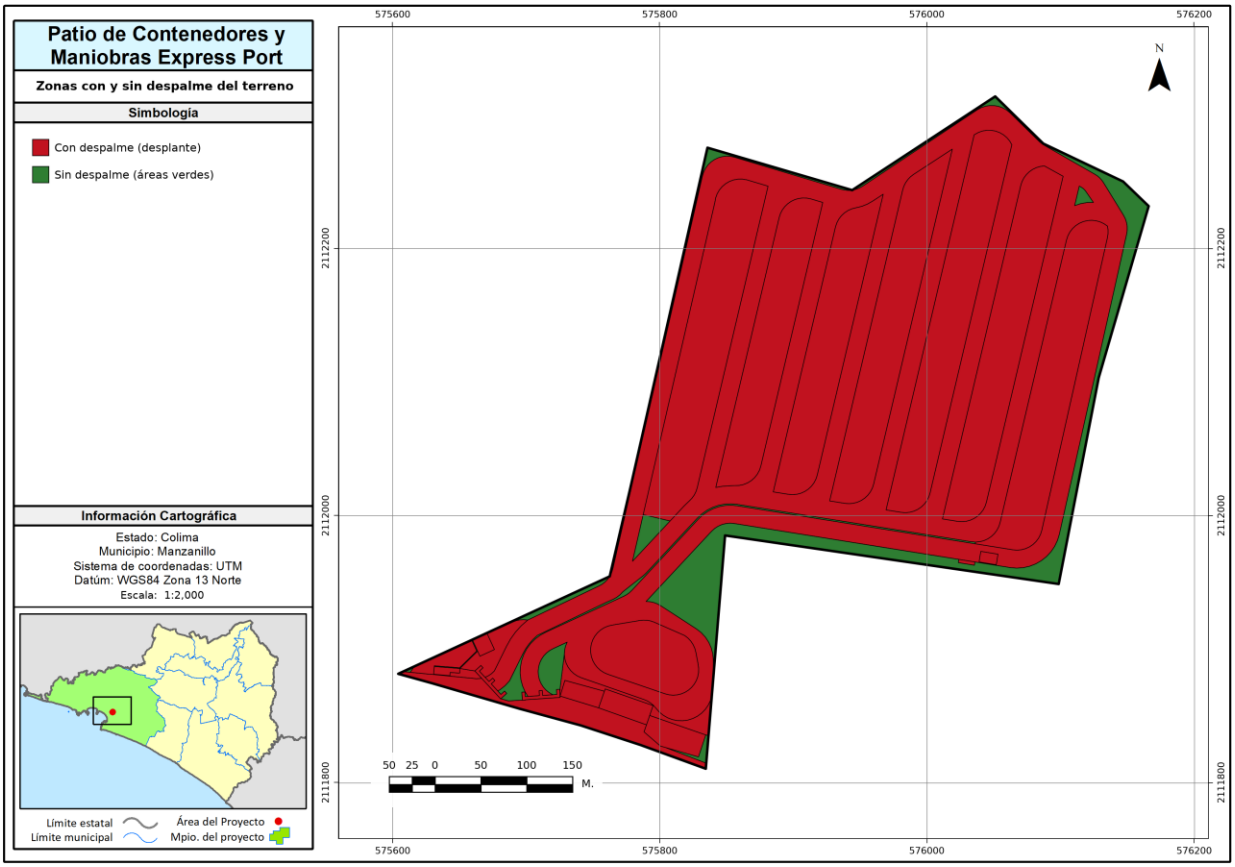


Figura 11. Zonas con y sin despalme del terreno.

Pie de figura: distribución espacial de las zonas con despalme (desplante de construcciones, en rojo) y sin despalme (áreas verdes, en verde) dentro del predio. Proyección UTM Zona 13N, Datum WGS84. Fuente: elaboración propia a partir del proyecto ejecutivo, 2026. Escala 1:2 000.

La Figura muestra que las zonas conservadas sin despalme son pequeñas superficies dispersas (áreas verdes y jardineras), mientras que la práctica totalidad del predio se desplanta para las bahías, la vialidad y las edificaciones, lo que es coherente con la naturaleza de un patio de maniobras.

I.10 Información sectorial complementaria

La información sectorial aplicable al proyecto se resume en la Tabla 19. El proyecto pertenece al sector de servicios de almacenamiento portuario y no se ubica en los supuestos de actividades altamente riesgosas ni requiere un programa de cierre.

Tabla 19. Información sectorial aplicable.

Información requerida	Aplica al proyecto (Sí / No) y referencia
Información sectorial específica (anexos por sector de la guía)	Sí — sector transporte/almacenamiento; se atiende con la descripción del patio (I.5)
Programa de cierre de operaciones, desmantelamiento, abandono y restauración	No aplica — infraestructura permanente (I.5.5)

Fuente: proyecto ejecutivo del promovente.

La Tabla 19 confirma que el proyecto no activa obligaciones sectoriales adicionales de riesgo o de cierre: no maneja sustancias que lo incluyan en los listados de actividades altamente riesgosas y su carácter permanente excluye el programa de cierre. En consecuencia, la evaluación ambiental del proyecto se concentra en los efectos derivados del cambio de uso del suelo forestal y de la construcción y operación del patio, que se desarrollan en los capítulos siguientes de esta Manifestación.

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

MODALIDAD PARTICULAR

CAPÍTULO II.

VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN SOBRE USO DEL SUELO

Patio de Contenedores y Maniobra Express Port

Contenido

Contenido 2
Índice de tablas 3
Índice de figuras 3
II.1 MARCO JURÍDICO FEDERAL EN MATERIA AMBIENTAL 4
II.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) 5
II.1.2 Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA) 6
II.1.3 Otras leyes federales relacionadas 7
II.2 PROGRAMAS DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO 11
II.2.1 Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT) 11
II.2.2 Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima (POETEC) 14
II.2.3 Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial Local del Municipio de Manzanillo (POELM) 21
II.3 PROGRAMAS Y PLANES DE DESARROLLO URBANO 24
II.3.1 Clasificación y zonificación del predio 24
II.3.2 Congruencia estratégica con el modelo de desarrollo urbano 25
II.3.3 Constancia municipal de uso de suelo 25
II.4 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS Y OTRAS ÁREAS DE RELEVANCIA 28
II.4.1 Áreas Naturales Protegidas (federales, estatales y municipales) 29
II.4.2 Otras áreas de relevancia para la conservación (CONABIO) en las que el proyecto incide 30
II.4.3 Áreas de relevancia en las que el proyecto no incide (constancia) 34
II.5 NORMAS OFICIALES MEXICANAS APLICABLES 38
II.6 OTROS INSTRUMENTOS RELEVANTES 41
II.6.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos 41
II.6.2 Tratados internacionales 41
II.6.3 Instrumentos de planeación del desarrollo 42
II.7 LOCALIDADES CON POBLACIÓN INDÍGENA 44

Índice de tablas

Tabla 1. Síntesis de la vinculación con la LGEEPA y su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental 6
Tabla 2. Síntesis de la vinculación con otras leyes federales aplicables 9
Tabla 3. Vinculación del proyecto con las estrategias sectoriales del POEGT aplicables a la UAB 119 "Lomeríos de la Costa de Jalisco y Colima" 12
Tabla 4. Vinculación del proyecto con los criterios de regulación ecológica del POETEC aplicables a las UGA 45 "Jalipa" y 49 "Las Garzas" — sectores Industria (IND) e Infraestructura (INF) 15
Tabla 5. Vinculación del proyecto con los 32 criterios de regulación ecológica de la UGA 57 "El Camichín" (POELM Manzanillo) 22
Tabla 6. Vinculación del proyecto con las disposiciones vinculantes del PMOTDU Manzanillo 2024 26
Tabla 7. Vinculación del proyecto con la RHP «Ríos Purificación-Armería» por atributo de la ficha CONABIO 31
Tabla 8. Vinculación del proyecto con el sitio prioritario de biodiversidad 6593 por aspecto (Koleff et al., 2009) 32
Tabla 9. Vinculación del proyecto con el Sitio Prioritario para la Restauración por objetivo (CONABIO, 2016/2021) 33
Tabla 10. Semáforo de áreas naturales protegidas y de importancia ecológica 38
Tabla 11. Normas Oficiales Mexicanas — criba de aplicabilidad y forma de cumplimiento 39
Tabla 12. Síntesis de la vinculación con la CPEUM y los tratados internacionales 43
Tabla 13. Síntesis de la vinculación con los instrumentos de planeación vigentes 43
Tabla 14. Presencia indígena por escala de análisis 45
Tabla 15. Vinculación con el marco de derechos de los pueblos y comunidades indígenas 45

Índice de figuras

Figura 1. Pirámide de jerarquía normativa aplicable al proyecto (artículo 133 constitucional) 4
Figura 2. Incidencia del proyecto en la Unidad Ambiental Biofísica 119 del POEGT 11
Figura 3. Incidencia del proyecto en las unidades de gestión ambiental del POETEC 15
Figura 4. Incidencia del proyecto en la UGA 57 "El Camichín" del POELM de Manzanillo 22
Figura 5. Zonificación secundaria del PMOTDU de Manzanillo sobre el polígono del proyecto 26
Figura 6. No incidencia del proyecto en Áreas Naturales Protegidas federales 29
Figura 7. No incidencia del proyecto en Áreas Naturales Protegidas estatales, municipales y privadas 30
Figura 8. Incidencia del proyecto en la Región Hidrológica Prioritaria «Ríos Purificación-Armería» 31
Figura 9. Incidencia del proyecto en el Sitio Prioritario para la conservación de la biodiversidad terrestre (clave 6593) 32
Figura 10. Incidencia del proyecto en el Sitio Prioritario para la Restauración 33
Figura 11. No incidencia del proyecto en Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) . 34
Figura 12. No incidencia del proyecto en Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) 35
Figura 13. No incidencia del proyecto en Regiones Marinas Prioritarias (RMP) 35
Figura 14. No incidencia del proyecto en Sitios de Atención Prioritaria para la Conservación (SAP) 36
Figura 15. No incidencia del proyecto en sitios de atención para la restauración del paisaje forestal 36
Figura 16. No incidencia del proyecto en corredores bioclimáticos 37
Figura 17. No incidencia del proyecto en sitios Ramsar 37

El presente capítulo demuestra que el proyecto **Patio de Contenedores y Maniobra Express Port** —en sus obras y actividades de preparación del sitio, construcción y operación, sujetas a evaluación de impacto ambiental conforme al artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)— se inserta de manera congruente en el orden jurídico ambiental y de uso del suelo, sin contravenir disposición, ordenamiento ni criterio aplicable, y —por incluir cambio de uso de suelo en terreno forestal (3.4097 ha de Selva Baja Caducifolia)— se concilia también, en su caso, con el régimen forestal (artículo 93 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable). El fundamento de este capítulo es la Guía para la elaboración de la MIA-Particular y el artículo 9 del Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA).

La vinculación se plantea desde una premisa de conciliación: el marco jurídico ambiental no se concibe como un conjunto de restricciones ajenas al proyecto, sino como el cauce que armoniza el aprovechamiento del predio con la protección de los componentes ambientales. Por ello, en cada instrumento se identifica el bien jurídico que tutela y se demuestra cómo el proyecto lo respeta y contribuye a él mediante acciones y medidas concretas.

La estructura del capítulo sigue el orden de prelación del artículo 133 constitucional: Constitución y tratados internacionales, leyes generales y federales, reglamentos, normas oficiales mexicanas, y los instrumentos de ordenamiento territorial y planeación aplicables.

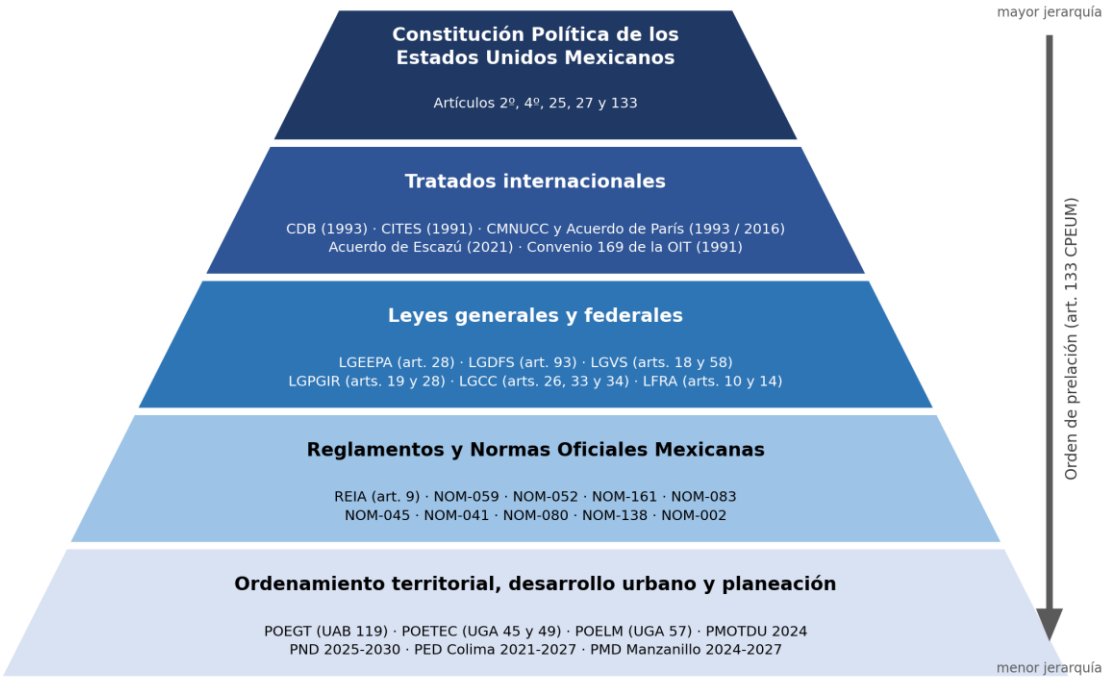


Figura 1.

Pirámide de jerarquía normativa aplicable al proyecto (artículo 133 constitucional)

Fuente: elaboración propia. Cada nivel enlista los instrumentos efectivamente vinculados en este capítulo, en el orden de prelación que fija el artículo 133 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

II.1 MARCO JURÍDICO FEDERAL EN MATERIA AMBIENTAL

El proyecto reconoce su carácter de obra de competencia federal en materia ambiental por dos vías que, lejos de contraponerse, se integran de manera coordinada en una sola Manifestación de Impacto Ambiental: por una parte, actualiza el supuesto de evaluación de impacto ambiental del artículo 28, fracción VII, de la LGEEPA —cambio de uso del suelo de áreas forestales, así como en selvas y zonas áridas— y del artículo

5, inciso O, del REIA; por otra, al implicar la remoción de vegetación forestal en 3.4097 hectáreas de Selva Baja Caducifolia, se sujeta al régimen de cambio de uso de suelo en terreno forestal del artículo 93 de la LGDFS. El artículo 14 del REIA permite conciliar ambos procedimientos en una sola manifestación, presentada ante la SEMARNAT, evitando la duplicidad y favoreciendo una evaluación integral.

II.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

La LGEEPA tiene por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente; la evaluación del impacto ambiental es, precisamente, el instrumento que la ley prevé para conciliar la realización de obras y actividades con el cuidado de los ecosistemas. El proyecto se vincula directamente con esta ley (última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de enero de 2026), toda vez que contempla la remoción de vegetación forestal para destinar la superficie solicitada a un uso distinto del forestal: la preparación del sitio implica la remoción de 3.4097 hectáreas de Selva Baja Caducifolia para el desarrollo del patio de contenedores y maniobra, lo que actualiza el supuesto del artículo 28, fracción VII, relativo a los cambios de uso del suelo de áreas forestales, selvas y zonas áridas, obras que requieren la previa autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental. No se trata de una vinculación por analogía sectorial, sino de la subsunción directa del proyecto en el supuesto normativo, que el promovente asume plenamente.

En correspondencia con ese deber, y en un ánimo de plena colaboración con la autoridad, el promovente somete el proyecto al procedimiento de evaluación del impacto ambiental mediante la presentación de la presente Manifestación de Impacto Ambiental, en modalidad Particular, en la cual se describen las obras y actividades previstas para las etapas de preparación del sitio, construcción y operación, la superficie sujeta a cambio de uso de suelo, las condiciones actuales del sitio, los componentes ambientales presentes y los posibles efectos que pudieran generarse sobre el ecosistema.

El proyecto atiende el artículo 30 de la LGEEPA, ya que la presente manifestación describe los posibles efectos sobre el ecosistema que pudiera ser afectado, considerando el conjunto de sus elementos. Para ello se analizan, en el Capítulo III (descripción del sistema ambiental) y en el Capítulo IV (identificación y evaluación de impactos), la vegetación forestal de Selva Baja Caducifolia, la fauna silvestre asociada —incluidas las especies en categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010 registradas en el área del proyecto—, el suelo, la hidrología superficial, la infiltración, los escurrimientos, el paisaje, la conectividad ecológica y los servicios ambientales vinculados con la superficie solicitada. De esta forma, la autoridad dispone del cuadro completo de los componentes que pudieran resultar afectados, y no de una descripción parcial, lo que permite una evaluación informada y equilibrada.

Asimismo, el proyecto atiende los artículos 35 y 35 BIS de la LGEEPA, en tanto proporciona a la autoridad ambiental federal los elementos técnicos necesarios para que ésta evalúe la procedencia ambiental de la obra y, en su caso, fije las condicionantes y medidas a que se sujete la autorización. El estudio integra para ello la caracterización del sistema ambiental, la identificación y evaluación de los impactos, las medidas preventivas, de mitigación y de compensación —control de emisiones y de ruido en la obra, manejo de agua y suelo, rescate de flora (1,543 individuos) y fauna (51 especies), obras de conservación de suelo y agua, y reforestación del predio de compensación (3.55 ha)—, los pronósticos ambientales y los instrumentos metodológicos que sustentan sus resultados; el procedimiento se somete, además, a la publicidad y consulta que prevé el artículo 34. El proyecto no pretende anticipar el sentido de la resolución, sino aportar de buena fe los elementos que permitan a la Secretaría resolver conforme a su competencia, en un marco de colaboración entre el promovente y la autoridad orientado al desarrollo sustentable.

II.1.2 Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA)

El Reglamento (última reforma publicada en el DOF el 31 de octubre de 2014) precisa las obras y actividades sujetas a evaluación, la modalidad de la manifestación y su contenido, dando cauce operativo al mismo objetivo de conciliación que persigue la ley. El proyecto se ubica en el supuesto del artículo 5, inciso O, relativo a los cambios de uso del suelo de áreas forestales, selvas y zonas áridas, sin que se actualice ninguna de las excepciones que el propio inciso contempla; por ello, el promovente presenta la Manifestación de Impacto Ambiental ante la SEMARNAT conforme a los artículos 9 y 10.

La manifestación se presenta en **modalidad Particular**, de manera consistente con lo declarado en el Capítulo I. Esta es la modalidad que corresponde al proyecto porque no se actualiza ninguno de los supuestos que el artículo 11 reserva a la modalidad Regional: el proyecto se localiza en un solo predio del municipio de Manzanillo, Colima, no constituye un parque, polígono o conjunto industrial, ni forma parte de un plan o programa parcial de desarrollo cuya evaluación deba realizarse de manera integral sobre un conjunto de obras. En consecuencia, su contenido se rige por el artículo 12, cuyos apartados —descripción de la obra o actividad, descripción del sistema ambiental y señalamiento de la problemática ambiental detectada, identificación y evaluación de los impactos, y medidas de prevención y mitigación— se corresponden con la estructura de la presente manifestación.

Finalmente, el proyecto aprovecha la fórmula de integración que el propio Reglamento ofrece: conforme al artículo 14, cuando la obra sujeta a evaluación de impacto ambiental involucra también el cambio de uso del suelo de áreas forestales, el promovente puede presentar una sola manifestación que incluya la información de ambos componentes. El presente estudio ejerce esa integración, incorporando la información propia del cambio de uso de suelo forestal —superficie, tipo de vegetación y los balances de biodiversidad, suelo, agua y carbono que sustentan el criterio de excepcionalidad del artículo 93 de la LGDFS (ver II.1.3 y Capítulo IV)—, de modo que la autoridad evalúa de forma conjunta y coherente el proyecto y su componente forestal. En términos del artículo 36, quien suscribe la elaboración del estudio manifiesta, bajo protesta de decir verdad, que en él se incorporan las mejores técnicas e información fehaciente y comprobable, declaración que se integra a la manifestación (Anexo I.1, Capítulo I).

Por lo anterior, el proyecto se concilia plenamente con la LGEEPA y su Reglamento en materia de Evaluación del Impacto Ambiental, al reconocer su carácter de obra de competencia federal, someterse de manera voluntaria y previa al procedimiento de evaluación en la modalidad que le corresponde, describir los efectos previsibles sobre el ecosistema en el conjunto de sus elementos, proponer medidas de prevención y mitigación, e integrar en un solo instrumento la información de impacto ambiental y de cambio de uso de suelo forestal, aportando a la SEMARNAT los elementos técnicos necesarios para que resuelva sobre su procedencia. La Tabla 1 sintetiza esta vinculación.

Tabla 1. Síntesis de la vinculación con la LGEEPA y su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental

Instrumento jurídico y disposición	Disposiciones y restricciones aplicables al proyecto (materia de EIA)	Congruencia / cumplimiento del proyecto
LGEEPA — Art. 28, fr. VII	Sujeta a autorización de impacto ambiental los cambios de uso del suelo de áreas forestales, selvas y zonas áridas.	El proyecto remueve 3.4097 ha de Selva Baja Caducifolia (Cap. I): actualiza el supuesto y se somete voluntariamente al procedimiento de EIA en modalidad Particular.
LGEEPA — Art. 30	La MIA debe describir los efectos sobre el ecosistema considerando el conjunto de sus elementos.	La manifestación caracteriza vegetación, fauna (incl. especies NOM-059), suelo, hidrología, infiltración,

Instrumento jurídico y disposición	Disposiciones y restricciones aplicables al proyecto (materia de EIA)	Congruencia / cumplimiento del proyecto
		paisaje, conectividad y servicios ambientales (Caps. III y IV).
LGEEPA — Arts. 34, 35 y 35 BIS	Publicidad/consulta del procedimiento y resolución de la Secretaría con base en los elementos técnicos.	Aporta caracterización, evaluación de impactos, medidas y pronósticos para que la SEMARNAT resuelva; se somete a la consulta pública del art. 34, sin anticipar el sentido de la resolución.
REIA — Art. 5, inciso O	Sujeta a EIA los cambios de uso del suelo de áreas forestales, selvas y zonas áridas.	El cambio de uso del terreno forestal (SBC, 3.4097 ha) encuadra en el inciso O, sin actualizar sus excepciones.
REIA — Arts. 9, 10, 11 y 12	Presentación, modalidad (Regional/Particular) y contenido de la MIA.	Modalidad **Particular** (no se actualizan los supuestos regionales del art. 11: un solo predio/municipio); contenido conforme al art. 12.
REIA — Arts. 14 y 36	Integración de MIA + CUSTF en un solo instrumento; declaración de veracidad del responsable.	Integra la información del CUSTF (superficie, vegetación, balances Art. 93); el responsable suscribe la declaración bajo protesta de decir verdad (Anexo I.1).

Fuente: elaboración propia con base en la LGEEPA (DOF, última reforma 19-01-2026) y el REIA (DOF, última reforma 31-10-2014), y en la descripción del proyecto (Cap. I). La columna 3 sintetiza el desarrollo argumental de II.1.1 y II.1.2.

II.1.3 Otras leyes federales relacionadas

Se vinculan únicamente las leyes federales cuyo supuesto de aplicación se actualiza en las obras y actividades reales del proyecto, verificado leyendo su articulado y no su título (paso 0 del estándar de vinculación). Con ese criterio se desarrollan la **LGDFS** (por incluir cambio de uso de suelo forestal), la **LGVS** (por registrarse especies en riesgo con presencia en el área del proyecto), la **LGPGIR** (por generarse residuos peligrosos y de manejo especial), la **LGCC** (por afectarse el acervo de carbono y generarse emisiones de gases de efecto invernadero) y la **LFRA** (marco general de responsabilidad ambiental del promovente). Se examinó y se descartó la Ley de Aguas Nacionales / Ley General de Aguas, por las razones que se asientan en la constancia al final de esta sección.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS). El artículo 93 de la LGDFS (última reforma DOF 01-04-2024) condiciona la autorización del cambio de uso de suelo en terrenos forestales a que se otorgue por excepción y a que el estudio técnico justificativo demuestre que con ello no se compromete la biodiversidad, ni se provoca la erosión de los suelos, el deterioro de la calidad del agua o la disminución en su captación. El proyecto no percibe este estándar como un obstáculo, sino como el criterio que permite conciliar el aprovechamiento del predio con la permanencia de los servicios ambientales del sitio, y lo asume íntegramente: la remoción se limita a 3.4097 hectáreas de Selva Baja Caducifolia, superficie mínima indispensable para el proyecto.

La conciliación entre el aprovechamiento y la conservación se demuestra con datos. En materia de suelo, la remoción de la cubierta forestal elevaría la erosión hídrica desde 1.970 t·año⁻¹ en la línea base hasta 40.927 t·año⁻¹ (un incremento atribuible al proyecto de 38.957 t·año⁻¹) y la erosión eólica desde 12.099 t·año⁻¹ en la línea base hasta 77.311 t·año⁻¹ (un incremento de 65.211 t·año⁻¹). Frente a esos impactos, las medidas evitan **508.08 t·año⁻¹** de erosión hídrica, repartidas en dos frentes. **In situ**, dentro del propio predio del

proyecto, la restauración de 0.79 ha evita 24.77 t·año⁻¹ y la cobertura de mulch otras 3.75 t·año⁻¹. **Ex situ**, en el predio de compensación —predio distinto, ajeno al del proyecto—, la reforestación de 3.55 ha evita 360.18 t·año⁻¹ y las obras de conservación de suelo (terrazas individuales y barreras de material muerto) retienen 119.39 t·año⁻¹; de ese total, 388.69 t·año⁻¹ provienen de la recuperación de cobertura vegetal y 119.39 t·año⁻¹ de las obras. En erosión eólica, las medidas permanentes evitan 81.189 t·año⁻¹ —la cortina rompevientos aporta 50.793 t·año⁻¹ y la reforestación de compensación 30.396 t·año⁻¹—. Ambas cifras superan con amplitud los incrementos respectivos (38.957 y 65.211 t·año⁻¹), de modo que el balance con medidas es netamente positivo. En materia de agua, el sitio aporta una infiltración estimada de 29,660 m³·año⁻¹ al suelo y una recarga de 12,199 m³·año⁻¹ al acuífero, cuya afectación se atiende con las medidas de manejo de escurrimientos e infiltración. En materia de carbono, la pérdida por la remoción de vegetación asciende a 234.01 tCO_2-e, que se compensa mediante la reforestación del predio de compensación con Selva Baja Caducifolia. Y en materia de biodiversidad, el análisis comparativo demuestra que ésta se mantiene a escala de cuenca, sin pérdida neta de la riqueza biológica del entorno.

A lo anterior se suma el programa de rescate y reubicación de flora y fauna, que contempla el trasplante de 1,543 individuos de 10 especies prioritarias de flora, la recuperación del resto mediante el rescate del suelo vegetal como banco de germoplasma y la reforestación con especies nativas, y el manejo de 51 especies de fauna (ahuyentamiento dirigido de la avifauna y rescate físico de mamíferos y reptiles), con atención prioritaria a las especies en categoría de riesgo registradas en el área del proyecto (referidas al final de esta sección). De este modo, el proyecto satisface el criterio de excepcionalidad del artículo 93 no de manera declarativa, sino con la demostración cuantificada de que la biodiversidad se mantiene y de que los efectos sobre suelo, agua y carbono se mitigan o compensan, conciliando así la ejecución del proyecto con los fines de conservación que la ley forestal tutela.

Ley General de Vida Silvestre (LGVS). La LGVS (última reforma DOF 16-07-2025) persigue la conservación y el aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat, y el proyecto comparte ese objetivo. La superficie solicitada constituye hábitat real o potencial de flora y fauna silvestres, por lo que resulta aplicable el deber del artículo 18, conforme al cual quien posee el predio donde aquélla se distribuye debe contribuir a conservar su hábitat; y el artículo 58, que clasifica las especies en riesgo en las categorías de en peligro de extinción, amenazadas y sujetas a protección especial, en concordancia con la NOM-059-SEMARNAT-2010. En el área del proyecto se registraron especies en estas categorías —en flora, *Cedrela odorata* (sujeta a protección especial); en fauna, *Accipiter striatus*, *Aspidoscelis lineattissimus* y *Eupsittula canicularis* (sujetas a protección especial) y *Ctenosaura pectinata* (amenazada)—.

En atención a ese deber de conservación, y lejos de una relación de mera tolerancia, el proyecto incorpora medidas que armonizan la intervención con la permanencia de la vida silvestre: la delimitación física del polígono autorizado para evitar afectaciones fuera de él, la conservación de la vegetación remanente como refugio y corredor de fauna, la prohibición al personal de capturar, dañar o comercializar ejemplares, y el programa de rescate y reubicación —trasplante de 1,543 individuos de flora prioritaria y manejo de 51 especies de fauna mediante ahuyentamiento dirigido y rescate físico— con atención prioritaria a las especies en riesgo del artículo 58, cuyo detalle se desarrolla en el Capítulo IV. Con ello, el proyecto se concilia con la LGVS al reconocer el deber de conservación del hábitat y traducirlo en acciones verificables. La vinculación integrada con la NOM-059-SEMARNAT-2010 se desarrolla en el apartado II.5.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). La LGPGIR (última reforma DOF 19-01-2026) ordena la gestión integral de los residuos según su clasificación, y el proyecto la atiende asumiendo esa jerarquía desde el diseño. Los residuos vegetales producto del desmonte (77.24 m³ en rollo) y el suelo del despalme (14,554.8 t) se clasifican como residuos de manejo especial en términos del artículo 19, fracciones III (actividades silvícolas y forestales) y VII (construcción); los aceites lubricantes gastados de la maquinaria de obra (10,756.6 L) constituyen residuos peligrosos. Conforme a los artículos 19 y 28, el proyecto privilegia la valorización —el material vegetal se tritura e incorpora al suelo como mulch— y

encomienda el manejo del residuo peligroso a un prestador de servicios autorizado, formulando el plan de manejo que corresponda; su detalle se desarrolla en el Capítulo IV. Así, el proyecto concilia la generación inevitable de residuos con la gestión integral que la ley promueve.

Ley General de Cambio Climático (LGCC). El proyecto es congruente con la política nacional de cambio climático que establece la LGCC (última reforma DOF 01-04-2024) en sus principios (artículo 26) y en sus objetivos de mitigación y conservación de sumideros (artículos 33 y 34). La remoción de vegetación implica una pérdida de acervo de carbono de 234.01 tCO_2-e, y las etapas del proyecto generan emisiones de gases de efecto invernadero —1,598.18 tCO_2-e en preparación y construcción (combustión de maquinaria y pérdida de vegetación) y 121.09 tCO_2-e anuales en operación (consumo eléctrico)—, cuantificadas en el Capítulo I. Frente a ello, las medidas de reforestación y restauración compensan esa pérdida (234.01 tCO_2-e) y recuperan capacidad de captura, de modo que el proyecto no se traduce en una merma neta del acervo de carbono, sino que se concilia con la transición hacia una economía de baja emisión. Se hace notar que la operación no constituye una fuente fija que rebase el umbral que obliga al Registro Nacional de Emisiones, por lo que ese supuesto no se actualiza.

Ley Federal de Responsabilidad Ambiental (LFRA). El promovente asume, como marco general, el régimen de la LFRA (última reforma DOF 14-11-2025): conforme al artículo 10, quien daña el ambiente está obligado a repararlo o, cuando no sea posible, a compensarlo; y el artículo 14 admite la compensación ambiental por excepción. Antes que como una contingencia, el proyecto asume este estándar como un compromiso: las medidas de prevención y mitigación del Capítulo IV se orientan a evitar el daño ambiental, y las de restauración y compensación —incluida, en materia forestal, la aportación por compensación ambiental al Fondo Forestal Mexicano prevista en la LGDFS— aseguran la recuperación cuantificada de los componentes afectados: 3.55 ha de reforestación y 0.79 ha de restauración in situ frente a las 3.4097 ha removidas, con 1,543 individuos de flora rescatados y 51 especies de fauna manejadas. De este modo, el proyecto se concilia con el deber de responsabilidad ambiental, asumiéndolo de manera preventiva y no meramente reactiva. La Tabla 2 sintetiza la vinculación con estas leyes federales.

Tabla 2. Síntesis de la vinculación con otras leyes federales aplicables

Instrumento jurídico y disposición	Disposiciones y restricciones aplicables al proyecto (materia de EIA)	Congruencia / cumplimiento del proyecto
LGDFS — Art. 93	CUSTF por excepción: no comprometer biodiversidad, ni provocar erosión, deterioro de la calidad del agua o disminución en su captación; programa de rescate.	Balances demostrados con las medidas (Cap. IV): **suelo** — el CUSTF incrementaría la erosión hídrica de 1.970 a 40.927 t·año^{-1} (+38.957), y las medidas evitan 508.08 t·año^{-1} —**in situ** (en el propio predio): restauración de 0.79 ha 24.77 + mulch 3.75; **ex situ** (predio de compensación, ajeno al del proyecto): reforestación de 3.55 ha 360.18 + obras de conservación de suelo 119.39—, muy por encima del impacto; **agua** — infiltración 29,660 y recarga 12,199 m^3·año^{-1} atendidas; **carbono** — pérdida de 234.01 tCO_2-e compensada por la reforestación; **biodiversidad** — se mantiene a escala de cuenca, con rescate de 1,543 individuos de 10 especies prioritarias de flora, banco de germoplasma del suelo vegetal y manejo de 51 especies de fauna.
LGVS — Arts. 18 y 58	Deber de conservar el hábitat (18); categorías de especies en riesgo (58), concordantes con NOM-059.	Especies NOM-059 en el AP (flora *Cedrela odorata* Pr; fauna *Accipiter striatus*, *Aspidoscelis lineattissimus*, *Eupsittula canicularis* Pr y *Ctenosaura pectinata* A). Delimitación, conservación de

Instrumento jurídico y disposición	Disposiciones y restricciones aplicables al proyecto (materia de EIA)	Congruencia / cumplimiento del proyecto
		remanente, prohibiciones y rescate/reubicación prioritario (Cap. IV). Integración con NOM-059 en II.5.
LGPGIR — Arts. 19 y 28	Residuos de manejo especial (silvícolas/forestales fr. III; construcción fr. VII); planes de manejo (28).	RME: vegetal 77.24 m³ rta (mulch) y suelo de despalme 14,554.8 t; RP: aceites gastados 10,756.6 L por prestador autorizado. Valorización y plan de manejo (Cap. IV).
LGCC — Arts. 26, 33 y 34	Principios y objetivos de mitigación / conservación de sumideros.	Pérdida de 234.01 tCO_2-e compensada con reforestación/restauración; emisiones cuantificadas (1,598.18 tCO_2-e construcción; 121.09 tCO_2-e/año operación). RENE no se actualiza (bajo umbral).
LFRA — Arts. 10 y 14	Responsabilidad por daño ambiental; reparación y compensación.	El daño se previene y mitiga desde el diseño, y el efecto residual se repara: la cobertura removida en 3.4097 ha se compensa con 3.55 ha de reforestación y 0.79 ha de restauración in situ, se rescatan 1,543 individuos de flora y se maneja la fauna asociada (51 especies), y se aporta al Fondo Forestal Mexicano conforme al artículo 118 de la LGDFS (Cap. IV).

Fuente: elaboración propia con base en la LGDFS (DOF 01-04-2024), LGVS (DOF 16-07-2025), LGPGIR (DOF 19-01-2026), LGCC (DOF 01-04-2024) y LFRA (DOF 14-11-2025); datos del proyecto de los Caps. I y IV. La columna 3 sintetiza el desarrollo argumental de esta sección.

> **Constancia — aguas residuales (Ley de Aguas Nacionales / Ley General de Aguas, arts. 88 y 113; NOM-001 y NOM-002).** El proyecto **no ocupa** cauce, ribera, zona federal ni zona federal marítimo-terrestre (superficie de incidencia = 0 ha, Cap. I) y **no descarga aguas residuales a bienes nacionales** (cuerpos receptores de propiedad nacional), por lo que no se actualizan los supuestos de los arts. 88 y 113 de la LAN / Ley General de Aguas ni el de la NOM-001-SEMARNAT-2021. El manejo de aguas residuales sanitarias es: en preparación y construcción, mediante **sanitarios portátiles retirados por prestador autorizado**; en operación, mediante **conexión a la red municipal de alcantarillado de CAPDAM Manzanillo** (aguas sanitarias domésticas), como usuario del servicio, correspondiendo su conducción y tratamiento al organismo operador. En consecuencia, la LAN / Ley General de Aguas no se vincula (Caso B), y la descarga sanitaria de operación se acredita con el contrato/convenio de servicio con CAPDAM (Anexo), sin requerir vinculación autónoma de la NOM-002-SEMARNAT-1996.

Especies en riesgo con presencia en el Área del Proyecto (impacto directo). Del inventario de flora y fauna del sistema ambiental (Cap. III/IV), las siguientes especies en categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010 se registran con presencia en el Área del Proyecto (AP) y son las de atención prioritaria en el programa de rescate y reubicación (art. 93 LGDFS y art. 58 LGVS):

- **Flora (1 en categoría NOM-059):** *Cedrela odorata* (Cedro Rojo) — sujeta a protección especial (Pr); además, con presencia en el AP: *Roseodendron donnell-smithii*, *Swietenia humilis* y *Tabebuia rosea* (no listadas en NOM-059, pero incluidas en el Apéndice II de CITES).

- **Fauna (5 en categoría NOM-059):** *Accipiter striatus* (Pr), *Aspidoscelis lineattissimus* (Pr) y *Eupsittula canicularis* (Pr), sujetas a protección especial; *Ctenosaura pectinata* (A), amenazada. El resto de la fauna con presencia en el AP registrada (p. ej. *Agalychnis dacnicolor*, *Amazilia rutila*, *Buteo brachyurus*, *Circus hudsonius*) no está en categoría NOM-059, aunque varias figuran en el Apéndice II de CITES.

Nota de traza: especies con presencia en el AP tomadas del inventario de flora y fauna de la MIA (estudio de muestreo del proyecto, Anexo G). El total de especies en riesgo del sistema ambiental (14 de flora, 20 de fauna) se reporta en el Cap. III. La categoría NOM-059 se coteja contra el Anexo Normativo III vigente en II.5.

II.2 PROGRAMAS DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO

El proyecto se localiza en unidades de ordenamiento ecológico cuyas políticas y aptitudes territoriales reconocen el aprovechamiento urbano e industrial del suelo. Lejos de existir una tensión entre el proyecto y estos instrumentos, la vocación que ellos asignan al sitio coincide con la naturaleza logístico-portuaria del proyecto, como se demuestra por cada instrumento incidente, confrontando el uso del proyecto con la política y los criterios de la unidad territorial correspondiente.

II.2.1 Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT)

El POEGT (publicado en el DOF el 7 de septiembre de 2012) es el instrumento de política ambiental de escala nacional que ordena el territorio en Unidades Ambientales Biofísicas (UAB) a escala 1:2,000,000. El predio se ubica íntegramente (3.4097 ha, 100%) en la UAB 119 "Lomeríos de la Costa de Jalisco y Colima", provincia Sierra Madre del Sur, a la que —dentro de la región ecológica 8.33— el Programa asigna la política ambiental de "Restauración, protección y aprovechamiento sustentable", con el sector minero-no metálico como rector del desarrollo regional.

La UAB 119 tiene asignadas, además, un conjunto de estrategias sectoriales del Programa (estrategias 1 a 15, 15 BIS, 19 a 23, 30, 31, 33, 36, 37 y 42 a 44). La vinculación del proyecto con cada una de ellas se desarrolla en la Tabla 3, conciliando el aprovechamiento del suelo que el proyecto representa con las vertientes de preservación, protección y restauración que la política de la UAB promueve; las estrategias de vocación agropecuaria, minera, turística o de competencia exclusivamente gubernamental no se actualizan por no corresponder a la naturaleza del proyecto. Del análisis se concluye que el proyecto es congruente con el POEGT en la UAB 119.

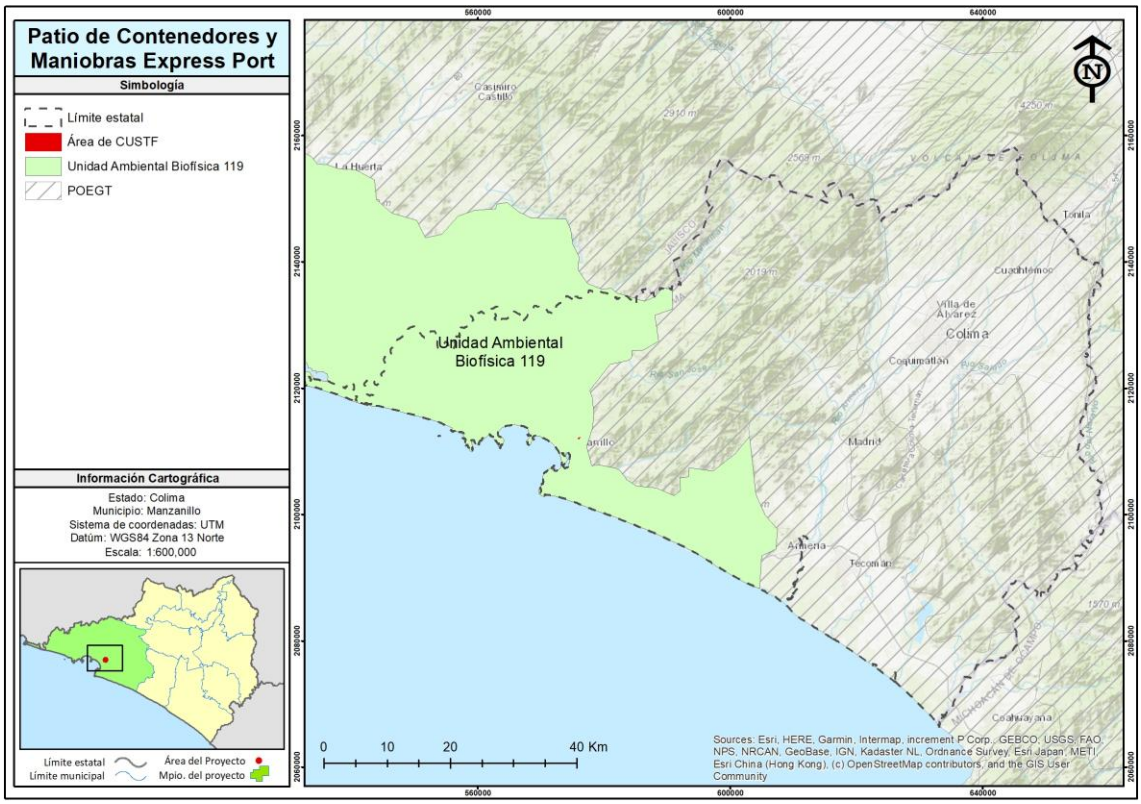


Figura 2. Incidencia del proyecto en la Unidad Ambiental Biofísica 119 del POEGT

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial del POEGT (SEMARNAT; DOF 07-09-2012) y el polígono del proyecto. Escala 1:600,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. Cartografía elaborada para el estudio técnico del mismo predio y reutilizada en esta Manifestación; el polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

Tabla 3. Vinculación del proyecto con las estrategias sectoriales del POEGT aplicables a la UAB 119 "Lomeríos de la Costa de Jalisco y Colima"

Grupo / línea	Estrategia	Vinculación del proyecto
I. Preservación	**1.** Conservación in situ de los ecosistemas y su biodiversidad.	**Congruente.** El proyecto delimita el polígono de intervención, conserva la vegetación remanente, habilita 1.0074 ha de áreas verdes y una cortina de arbolado perimetral, y compensa la superficie forestal removida con 3.55 ha reforestadas (Caps. I y IV).
I. Preservación	**2.** Recuperación de especies en riesgo.	**Congruente.** El programa de rescate y reubicación contempla el trasplante de 1,543 individuos de 10 especies prioritarias de flora y el manejo de 51 especies de fauna, con atención prioritaria a las especies NOM-059 del AP (*Cedrela odorata*, *Ctenosaura pectinata*, entre otras) (Cap. IV).
I. Preservación	**3.** Conocimiento, análisis y monitoreo de los ecosistemas y su biodiversidad.	**Congruente.** El estudio aporta el inventario de flora y fauna del sistema ambiental (Cap. III), que identificó 14 especies de flora y 20 de fauna en alguna categoría de riesgo —NOM-059, CITES o Lista Roja de la UICN— en las escalas del Área del Proyecto, el Área de Influencia y la Región de Estudio, y da seguimiento a la eficacia de las medidas de rescate, reforestación y conservación de suelo mediante el Programa de Vigilancia Ambiental, de al menos 7 años de duración (Cap. IV).
I. Aprovechamiento sustentable	**4.** Aprovechamiento sustentable de ecosistemas, especies, genes y recursos naturales.	**Congruente.** El proyecto aprovecha 3.4097 ha de suelo bajo condiciones de mitigación y compensación —3.55 ha reforestadas y 0.79 ha restauradas in situ—, de modo que la biodiversidad se mantiene a escala de cuenca (Cap. IV).
I. Aprovechamiento sustentable	**5.** Aprovechamiento sustentable de los suelos agrícolas y pecuarios.	No aplica, ya que el proyecto no contempla actividades agrícolas ni pecuarias.
I. Aprovechamiento sustentable	**6.** Modernizar la infraestructura hidroagrícola y tecnificar las superficies agrícolas.	No aplica, ya que el proyecto no contempla actividades agrícolas.
I. Aprovechamiento sustentable	**7.** Aprovechamiento sustentable de los recursos forestales.	El proyecto no realiza aprovechamiento forestal maderable; el cambio de uso de suelo forestal se compensa con la reforestación de 3.55 ha de Selva Baja Caducifolia y la aportación al Fondo Forestal Mexicano conforme a la LGDFS (Cap. IV).
I. Aprovechamiento sustentable	**8.** Valoración de los servicios ambientales.	**Congruente.** El estudio valora los servicios ambientales del sitio —infiltración de 29,660 $m^3 \cdot año^{-1}$, recarga de 12,199 $m^3 \cdot año^{-1}$ y captura de carbono— y propone su compensación (Cap. IV).
I. Protección de recursos naturales	**9.** Propiciar el equilibrio de las cuencas y acuíferos sobreexplotados.	**Congruente.** El proyecto atiende la infiltración (29,660 $m^3 \cdot año^{-1}$) y la recarga al acuífero (12,199 $m^3 \cdot año^{-1}$) con medidas de manejo de

Grupo / línea	Estrategia	Vinculación del proyecto
		escurrimientos, sin sobreexplotar el acuífero (Cap. IV).
I. Protección de recursos naturales	**10.** Reglamentar, para su protección, el uso del agua en las principales cuencas y acuíferos.	No aplica, ya que es facultad de la autoridad del agua; el proyecto cumple la normatividad hídrica aplicable.
I. Protección de recursos naturales	**11.** Mantener en condiciones adecuadas las presas administradas por CONAGUA.	No aplica, ya que el proyecto no involucra presas ni obras hidráulicas federales.
I. Protección de recursos naturales	**12.** Protección de los ecosistemas.	**Congruente.** El proyecto protege los ecosistemas mediante delimitación, rescate de flora (1,543 individuos) y fauna (51 especies) y conservación de la vegetación remanente (Cap. IV).
I. Protección de recursos naturales	**13.** Racionalizar el uso de agroquímicos y promover biofertilizantes.	No aplica, ya que el proyecto no emplea agroquímicos.
I. Restauración	**14.** Restauración de ecosistemas forestales y suelos agrícolas.	**Congruente.** El proyecto reforesta ex situ 3.55 ha de Selva Baja Caducifolia en el predio de compensación, y restaura in situ 0.79 ha del propio predio con cobertura de mulch; en conjunto, la recuperación de cobertura vegetal evita 388.69 t·año⁻¹ de erosión (Cap. IV).
I. Recursos no renovables y actividades económicas	**15.** Aplicación de los productos del Servicio Geológico Mexicano al aprovechamiento sustentable de recursos no renovables.	No aplica, ya que el proyecto no se relaciona con el aprovechamiento de recursos geológicos.
I. Recursos no renovables y actividades económicas	**15 BIS (16).** Promover la exploración y explotación racional de los recursos minerales.	No aplica, ya que el proyecto no realiza actividades mineras.
I. Recursos no renovables y actividades económicas	**19.** Promover el aprovechamiento de fuentes alternas y renovables de energía.	**Congruente.** El proyecto es una industria ligera de bajo consumo energético —su operación genera 121.09 tCO_2-e·año⁻¹ por consumo eléctrico (Cap. I)— e incorpora medidas de eficiencia energética, y el promovente asume el compromiso de evaluar la adopción de fuentes alternas y renovables de energía en su operación.
I. Recursos no renovables y actividades económicas	**20.** Diversificar las fuentes primarias de generación eléctrica.	No aplica, ya que es facultad del sector energético; el proyecto no genera energía eléctrica.
I. Recursos no renovables y actividades económicas	**21.** Rediseñar los instrumentos de política hacia el fomento productivo del turismo.	No aplica, ya que el proyecto no corresponde al sector turístico ni al diseño de políticas públicas.
I. Recursos no renovables y actividades económicas	**22.** Orientar la política turística del territorio hacia el desarrollo regional.	No aplica, ya que el proyecto no corresponde al sector turístico.
I. Recursos no renovables y actividades económicas	**23.** Sostener y diversificar la demanda turística.	No aplica, ya que el proyecto no corresponde al sector turístico.

Grupo / línea	Estrategia	Vinculación del proyecto
II. Infraestructura y equipamiento	**30.** Construir y modernizar la red carretera para la integración regional.	El proyecto no construye red carretera; se limita a su vialidad interna y de acceso, congruente con la conectividad regional del Puerto de Manzanillo.
II. Infraestructura y equipamiento	**31.** Modernizar la red ferroviaria y construir nuevas líneas estratégicas.	**Congruente.** Como patio de contenedores para transporte combinado y multimodal, el proyecto fortalece la cadena logística ferroviaria-portuaria de la región, sin construir vías férreas.
II. Desarrollo social	**33.** Apoyar el desarrollo de capacidades y la participación social, reduciendo la pobreza.	**Congruente.** El proyecto genera empleo (40 en construcción y 25 en operación) y derrama económica, coadyuvando al desarrollo social de la zona.
II. Desarrollo social	**36.** Promover la diversificación de actividades del sector agroalimentario.	No aplica, ya que el proyecto no corresponde al sector agroalimentario.
II. Desarrollo social	**37.** Integrar a mujeres, indígenas y grupos vulnerables al sector económico-productivo.	**Congruente.** El proyecto genera empleo procurando la integración de mujeres y grupos vulnerables de la zona.
III. Marco jurídico	**42.** Asegurar la definición y el respeto a los derechos de propiedad rural.	**Congruente.** El promovente acredita la propiedad/posesión de las parcelas del Ejido Jalipa que integran el predio de 3.4097 ha, con la documentación legal que se anexa (Cap. I).
III. Planeación del ordenamiento territorial	**43.** Integrar y modernizar el catastro rural y la información agraria.	No aplica, ya que es una acción de competencia gubernamental, no una obligación del proyecto.
III. Planeación del ordenamiento territorial	**44.** Impulsar el ordenamiento territorial estatal y municipal mediante acciones coordinadas.	**Congruente.** El proyecto observa los ordenamientos ecológico-territoriales aplicables, como se demuestra en el presente capítulo.

Fuente: elaboración propia con base en el POEGT (DOF 07-09-2012): ficha de la UAB 119 (región ecológica 8.33) y catálogo de estrategias sectoriales. Las medidas se detallan en el Cap. IV.

II.2.2 Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima (POETEC)

El POETEC 2024-2034 (publicado en el Periódico Oficial del Estado de Colima el 5 de abril de 2025) ordena el territorio estatal en 49 Unidades de Gestión Ambiental (UGA). El predio incide en dos de ellas: la UGA 45 "Jalipa" (2.9868 ha, 87.6% del predio) y la UGA 49 "Las Garzas" (0.4229 ha, 12.4%), ambas con política ambiental de "Aprovechamiento Urbano".

El lineamiento ecológico que el POETEC fija para ambas unidades permite de manera expresa el desarrollo del proyecto. Para la **UGA 45 "Jalipa"**, el Programa dispone —además de proteger, preservar y restaurar los ecosistemas de selva y las zonas prioritarias hidrológicas— "permitiendo el aprovechamiento de los centros de población, consolidando los asentamientos humanos, **permitiendo la infraestructura y servicios urbanos, mitigando los impactos ambientales**, sin invadir los usos productivos y mejorando la calidad de vida de la población, sin permitir la expansión en áreas no reconocidas para asentamientos humanos y debiendo cumplir con la normatividad en la materia". Para la **UGA 49 "Las Garzas"**, el lineamiento es análogo: "permitir el aprovechamiento de los centros de población, consolidando los asentamientos humanos, **permitiendo la infraestructura y servicios urbanos, mitigando los impactos ambientales** […] y protegiendo los ecosistemas lagunares por su alta importancia por los servicios ambientales que brindan" (Ap Urb, debiendo seguir lo indicado por los instrumentos municipales).

La confrontación entre el uso del proyecto y estos lineamientos arroja una compatibilidad directa: el patio de contenedores y maniobra es infraestructura logística urbano-industrial, uso expresamente permitido por ambas UGA ("permitiendo la infraestructura y servicios urbanos"), que se ejecuta mitigando los impactos ambientales conforme a la normatividad, sin invadir usos productivos y respetando las zonas prioritarias hidrológicas y los ecosistemas lagunares —el predio no incide en cuerpos de agua ni en la laguna—. En congruencia con el mandato de "mitigar los impactos ambientales", el proyecto se vincula con los criterios de regulación ecológica de los sectores que su naturaleza actualiza —**Industria (IND) e Infraestructura (INF)**— en la Tabla 4. Los criterios de los sectores agropecuario, acuícola, pesquero, de captación de agua rural (INFA) y demás vocaciones que ambas UGA también contemplan no se actualizan, por no corresponder a las actividades del proyecto. Del análisis se concluye que el proyecto es compatible con el POETEC en las UGA 45 y 49.

> **Nota de traza:** los criterios sectoriales del POETEC se parafrasean en su disposición nuclear a partir del diccionario oficial de criterios (Tabla 07 del decreto); el texto extraído presenta corrimiento de columnas, por lo que se cita la obligación de cada criterio de forma acotada y no entrecomillada (Regla 2).

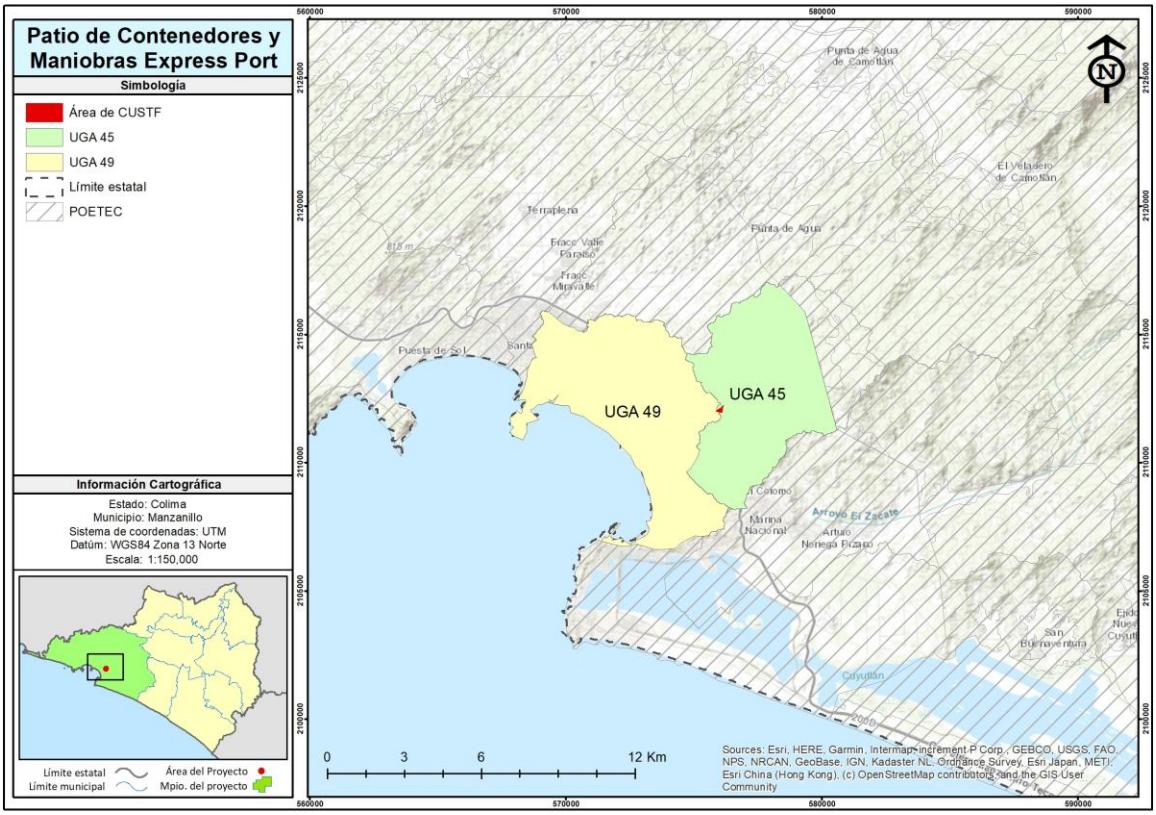


Figura 3. Incidencia del proyecto en las unidades de gestión ambiental del POETEC

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial del POETEC (Gobierno del Estado de Colima) y el polígono del proyecto. Escala 1:150,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

Tabla 4. Vinculación del proyecto con los criterios de regulación ecológica del POETEC aplicables a las UGA 45 "Jalipa" y 49 "Las Garzas" — sectores Industria (IND) e Infraestructura (INF)

Criterio	Disposición nuclear (acotada)	Vinculación del proyecto
IND1	Previa autorización de impacto y riesgo ambiental, informando la provisión de servicios, equipamiento e infraestructura.	**Aplica.** El proyecto se somete a la evaluación de impacto ambiental mediante la presente MIA e informa la provisión de servicios, equipamiento e infraestructura para las 3.4097 ha del patio —agua potable y drenaje

Criterio	Disposición nuclear (acotada)	Vinculación del proyecto
		sanitario mediante CAPDAM, energía eléctrica y vialidad de acceso existente— (Cap. I).
IND2	Estudios de riesgo ambiental y programas de prevención de accidentes.	**Aplica.** El proyecto no constituye actividad altamente riesgosa —no maneja sustancias en las cantidades de reporte—; no obstante, por el manejo de 10,756.6 L de aceites gastados prevé áreas de contención impermeabilizadas y un programa de prevención de accidentes y respuesta a contingencias, con atención inmediata de derrames.
IND3	Programa de manejo y disposición final de residuos sólidos y líquidos.	**Aplica.** Plan de manejo de residuos peligrosos (10,756.6 L de aceites) y de manejo especial (suelo 14,554.8 t; vegetal 77.24 m³); las aguas del lavado de contenedores se tratan con biodigestor (Caps. I y IV).
IND4	Implementar un modelo de economía circular en los procesos.	**Aplica.** Valorización del material vegetal desmontado (77.24 m³ triturados como mulch y esparcidos sobre las 0.79 ha de restauración in situ, lo que incrementa la recarga del acuífero en 965 $m^3 \cdot año^{-1}$) y separación de residuos (Caps. I y IV).
IND5	Reducir las emisiones a la atmósfera de fuentes fijas o móviles.	**Aplica.** Las emisiones de la etapa de construcción (1,598.18 tCO_2-e) se controlan con el riego de superficies, la verificación vehicular y el cubrimiento de cargas, conforme a las NOM-041-SEMARNAT-2015 y NOM-045-SEMARNAT-2017 de emisiones vehiculares (Cap. I; II.5).
IND6	Restaurar las áreas afectadas por depósitos de desechos industriales.	**Aplica.** El proyecto no genera depósitos de desecho; las áreas se recuperan con 1.0074 ha de áreas verdes internas y la cortina de arbolado perimetral (Cap. I).
IND7	Informar a la población de los riesgos y participar en planes de contingencia.	**Aplica.** Por su naturaleza de patio logístico, el proyecto es de riesgo bajo; difundirá a la población los riesgos y las medidas de respuesta a través de la consulta pública prevista en el artículo 34 de la LGEEPA y de un programa de comunicación y participación en los planes de contingencia municipales.
IND8	Diques de contención donde exista riesgo de derrames.	**Aplica (diseño).** Las áreas de manejo de combustibles y aceites contarán con contención impermeabilizada para los 10,756.6 L de aceites gastados generados, dentro del programa de mantenimiento preventivo de la maquinaria (Cap. I/IV).
IND9	Medidas de seguridad para evitar riesgos a la población y ecosistemas.	**Aplica.** El proyecto establece medidas de seguridad industrial para evitar riesgos a la población y a los ecosistemas —delimitación física del polígono autorizado de 3.4097 ha, franja perimetral de aislamiento con cortina de arbolado y áreas de contención de combustibles y aceites—, conforme a su programa de seguridad industrial.

Criterio	Disposición nuclear (acotada)	Vinculación del proyecto
IND10	Informes periódicos de desempeño y de los planes de contingencia.	**Aplica.** El promovente rendirá los informes del Programa de Vigilancia Ambiental, de al menos 7 años de duración (Cap. IV).
IND11	Franja de amortiguamiento ≥100 m (200 m junto a ANP); solo industria ligera de bajo consumo de agua.	**Aplica.** Industria ligera (patio logístico); no incide en ANP; prevé franja perimetral de aislamiento mediante la cortina de arbolado perimetral de 1,344 m.
IND12	Industria de mínima contaminación al aire; optimizar el uso del agua.	**Aplica.** El patio de contenedores es de bajo impacto y bajo consumo de agua.
IND13	Tratamiento fisicoquímico/biológico del agua y su reuso.	**Aplica.** El área de lavado de contenedores cuenta con superficies impermeables y un sistema de captación, conducción y tratamiento de sus aguas residuales mediante biodigestor para su reuso; las aguas sanitarias se conducen a la red de CAPDAM, sin descarga a cuerpo receptor de propiedad nacional (0 ha de zona federal, Cap. I).
IND14	Sistema de captación de agua de lluvia.	**Aplica (diseño).** Captación pluvial (Cap. I/IV).
IND15	Separación de aguas grises para su reuso.	**Aplica en lo conducente (diseño)**, según los servicios administrativos del patio.
IND16	Rescatar previamente las especies vegetales nativas y reubicarlas.	**Aplica.** Rescate y reubicación de flora nativa: trasplante de 1,543 individuos de 10 especies prioritarias (Cap. IV).
IND17	Vivero para compensar los especímenes no trasplantables.	**Aplica.** Banco de germoplasma del suelo vegetal y reforestación de 3.55 ha de Selva Baja Caducifolia (Cap. IV).
IND18	Aprovechar la capacidad instalada e incrementar la participación social.	**Aplica de forma congruente.** Generación de 40 empleos en la construcción y 25 en la operación, con una derrama económica de 20 millones de pesos (Cap. I).
IND19	Adherirse a proyectos de cambio climático, biodiversidad, energía y agua.	**Aplica (potestativo).** El proyecto podrá adherirse a dichos programas.
IND20	Instalarse en zonas de baja vulnerabilidad y alta conectividad regional, con servicios de calidad.	**Aplica.** Sitio de baja vulnerabilidad (aptitud IND-URB) y alta conectividad con el Puerto de Manzanillo.
IND21	Franja perimetral de aislamiento del conjunto de instalaciones.	**Aplica.** El proyecto conforma la franja perimetral de aislamiento del conjunto con una cortina de arbolado de especies nativas, integrada a las 1.0074 ha de áreas verdes del predio (Cap. I).
IND22	Agroindustria: tratar el agua para riego y uso humano.	No aplica, ya que el proyecto no es agroindustria.
IND23	Industria pesada o generadora de gases/residuos nocivos: amortiguamiento ≥1 km.	No aplica, ya que el proyecto no es industria pesada.
IND24	Usar insumos biodegradables y reconversión a tecnologías verdes.	**Aplica.** El proyecto adopta prácticas de bajo impacto y de reconversión a tecnologías verdes —tratamiento del agua de lavado con biodigestor y valorización del

Criterio	Disposición nuclear (acotada)	Vinculación del proyecto
		material vegetal desmontado como mulch (77.24 m³, que incrementan la recarga en 965 m³·año⁻¹)— y privilegiará insumos biodegradables en la limpieza y el mantenimiento de su operación.
IND25	Agroindustria: programa de monitoreo de la calidad del agua.	No aplica, ya que el proyecto no es agroindustria.
IND26	Tecnologías de tratamiento/aprovechamiento del bagazo.	No aplica, ya que el proyecto no genera bagazo.
IND27	Industria de bajo impacto (sin ruidos, desechos químicos, polvos ni olores), eficiente en energía y en la periferia de los centros de población.	**Aplica.** El patio de contenedores es de bajo impacto y se localiza en la periferia del centro de población.
IND28	Monitorear la seguridad e higiene del entorno industrial.	**Aplica en lo conducente.** El patio no instala procesos industriales ni fuentes fijas de emisión; el monitoreo se acota a la seguridad e higiene del centro de trabajo: verificación periódica de las áreas de contención de combustibles y aceites (10,756.6 L de residuos peligrosos), mantenimiento de la maquinaria y señalización de las áreas de riesgo, conforme a la normatividad de seguridad e higiene laboral aplicable.
IND29	Reporte anual de verificación de la flota vehicular.	**Aplica.** El promovente reportará la verificación vehicular de su flota conforme a las NOM-041-SEMARNAT-2015 y NOM-045-SEMARNAT-2017, dentro de su programa de control de emisiones (II.5).
IND30	Compensación ambiental de cinco veces la superficie afectada.	**Aplica.** Compensación off-site de 3.55 ha reforestadas más mitigación in situ de 0.79 ha, y la aportación al Fondo Forestal Mexicano (Cap. IV).
IND31	Proyectos costeros de inversión privada: usar aguas tratadas en la construcción.	**Aplica en lo conducente.** Se priorizará el uso de agua tratada donde sea factible.
INF3	Restaurar las áreas afectadas por las obras de infraestructura.	**Aplica.** El proyecto habilita 1.0074 ha (10,074 m², 8.25% del predio) de áreas verdes y jardineras revegetadas dentro del patio (Cap. I) y reforesta el predio de compensación de 3.55 ha de Selva Baja Caducifolia (Cap. IV).
INF4	Informar a la población los escenarios y medidas de prevención/mitigación.	**Aplica en lo conducente**, mediante la consulta pública de la MIA.
INF5	Estabilizar los taludes de caminos con vegetación nativa.	**Aplica de forma acotada.** El predio se asienta en la planicie costera y su pendiente dominante es la clase 0–2 %, que cubre el 53.66 % de la superficie del cambio de uso (39.36 % corresponde a la clase 2–5 %; solo 1.66 % supera el 10 % y ninguna fracción supera el 15 %), por lo que los cortes y taludes serán mínimos; el perímetro se protege además con una cortina de arbolado (rompevientos) de especies nativas (Cap. I).

Criterio	Disposición nuclear (acotada)	Vinculación del proyecto
INF6	Caminos de acceso con reductores de velocidad y señalamientos de protección a la fauna.	**Aplica (diseño).** Señalización y reductores en la vialidad interna.
INF7	Instalar la infraestructura vial sobre el derecho de vía existente.	**Aplica.** El proyecto usa la vialidad de acceso existente.
INF8	Contar con fuentes alternativas de energía.	**Aplica (potestativo).** El proyecto podrá incorporar energías alternativas.
INF9	Captación del agua de lluvia de pisos, techos y pavimento.	**Aplica (diseño).** Captación pluvial de superficies (Cap. I/IV).
INF10	Desmontar solo las áreas de construcción y caminos, de forma gradual.	**Aplica.** El desmonte se limita al polígono autorizado de 3.4097 ha y se ejecuta de forma gradual y dirigida, conservando la vegetación fuera de él (Cap. IV).
INF15	Emplear materiales de la región o evaluar la huella de carbono.	**Aplica.** El proyecto dará preferencia a los materiales de la región para reducir la huella de carbono asociada a su transporte, en congruencia con las emisiones cuantificadas de la etapa de construcción (1,598.18 tCO_2-e), de las cuales el transporte de materiales es componente.
INF16	Capacitar al personal de obra en medidas preventivas contra siniestros.	**Aplica.** El personal de obra recibirá capacitación ambiental y de seguridad —en el rescate y reubicación de flora y fauna (1,543 individuos de flora y 51 especies de fauna), el manejo de residuos y la prevención de siniestros—, conforme a su programa de capacitación previo al inicio de obra.
INF17	No perturbar a la fauna en la movilización de trabajadores y el flujo vehicular.	**Aplica.** Para no perturbar a la fauna, el proyecto controla la velocidad y los horarios de la movilización de trabajadores y del flujo vehicular, con reductores de velocidad y señalización de protección en beneficio de las 51 especies de fauna objeto de manejo.
INF18	Instalar vegetación nativa en las áreas aledañas al proyecto.	**Aplica.** Habilitación de 1.0074 ha de áreas verdes y jardineras con vegetación nativa dentro del predio (Cap. I).
INF19	Programas de rescate de germoplasma y de fauna en el desmonte.	**Aplica.** Rescate del suelo vegetal como banco de germoplasma, trasplante de 1,543 individuos de flora y manejo de 51 especies de fauna (Cap. IV).
INF20	Desmonte paulatino con ahuyentamiento de fauna y conservación de la capa vegetal.	**Aplica.** El desmonte se ejecuta de forma paulatina, con ahuyentamiento dirigido de la fauna (51 especies), rescate de flora (1,543 individuos) y conservación de la capa fértil del despalme (14,554.8 t) como banco de germoplasma (Cap. IV).
INF22	No usar productos químicos ni fuego en la preparación de derechos de vía.	**Aplica.** El proyecto no emplea químicos ni fuego en la preparación.
INF23	Garantizar la no infiltración de materiales peligrosos al subsuelo; registro como generador.	**Aplica.** El proyecto garantiza la no infiltración de materiales peligrosos al subsuelo mediante superficies impermeables y áreas de contención para los 10,756.6 L

Criterio	Disposición nuclear (acotada)	Vinculación del proyecto
		de aceites gastados, y se inscribe como generador de residuos peligrosos (Cap. IV).
INF25	Caminos y estacionamientos con materiales que permitan la infiltración pluvial.	**Aplica (diseño).** El proyecto incorpora superficies permeables donde es factible y mantiene 1.0074 ha de áreas verdes que favorecen la infiltración pluvial (29,660 $m^3 \cdot año^{-1}$) hacia el subsuelo (Cap. I).
INF32	Materiales de construcción provenientes preferentemente de la excavación del sitio (máx. 40% externo, de sitios autorizados).	**Aplica.** El proyecto aprovecha preferentemente el material producto de la excavación del sitio y limita a un máximo del 40% el material de aporte externo, adquirido en bancos autorizados (Cap. IV).
INF33	Almacenar los materiales evitando su dispersión por agua o viento.	**Aplica.** Los materiales y el suelo del despalme (14,554.8 t) se almacenan en áreas delimitadas del predio, cubiertos y protegidos para evitar su dispersión por agua o viento, con apoyo de la cortina de arbolado perimetral que actúa como rompevientos (Caps. I y IV).
INF34	Frentes de obra con servicios sanitarios (baños móviles/biodigestor), agua potable y manejo de residuos.	**Aplica.** Sanitarios portátiles y manejo de los 6,240 kg de residuos sólidos urbanos generados en los frentes de obra (Cap. I/IV).
INF36	Considerar la factibilidad hídrica del sitio (constancia de la autoridad).	**Aplica.** El proyecto acredita la factibilidad hídrica del sitio con la constancia de CAPDAM, organismo que provee el agua potable y recibe las aguas sanitarias del patio de 3.4097 ha (Cap. I).
INF41	Establecer medidas de control de la erosión.	**Aplica.** Las obras de conservación de suelo del predio de compensación —terrazas individuales y barreras de material muerto— retienen 119.39 $t \cdot año^{-1}$, que sumadas a la recuperación de cobertura vegetal (388.69 $t \cdot año^{-1}$, in situ y ex situ) evitan 508.08 $t \cdot año^{-1}$ de erosión, muy por encima del incremento de 38.957 $t \cdot año^{-1}$ atribuible al proyecto (Cap. IV).
INF46	Infraestructura eléctrica y de comunicación subterránea, cuidando el arbolado.	**Aplica (diseño).** Canalización subterránea donde sea factible.
INF47	Red de drenaje pluvial independiente de la doméstica.	**Aplica (diseño).** El proyecto separa la red de drenaje pluvial de la sanitaria: las aguas pluviales se captan y conducen para favorecer la infiltración (29,660 $m^3 \cdot año^{-1}$) y las sanitarias se conducen a la red de CAPDAM (Cap. I).
INF53	Evitar afectar la vegetación que estabiliza suelos susceptibles a erosión, o restaurarlos.	**Aplica.** La baja pendiente del predio reduce la susceptibilidad a la erosión; se conserva la vegetación remanente y se establece la cortina de arbolado perimetral (Cap. I/IV).
INF54–INF55	Establecer cortinas rompevientos semipermeables para minimizar la erosión eólica.	**Aplica.** El proyecto establece una cortina de arbolado (rompevientos) semipermeable de especies nativas en el perímetro para minimizar la erosión eólica del predio —cuya línea base es de 12.099 $t \cdot año^{-1}$ y ascendería a

Criterio	Disposición nuclear (acotada)	Vinculación del proyecto
		77.311 t·año⁻¹ sin medidas—, aportando por sí sola una ganancia de 50.793 t·año⁻¹ (Caps. I y IV).
INF11–INF14	Campamentos de construcción: ubicación en áreas perturbadas, manejo de desechos y retiro al concluir.	**Aplican en lo conducente.** Los frentes de obra se ubican dentro del predio ya intervenido, con sanitarios portátiles, manejo de los residuos generados (6,240 kg de RSU en la construcción) y retiro de instalaciones al concluir la obra (Cap. IV).
INF61–INF62	Autorización para derribo/poda de arbolado y capacitación para su mantenimiento.	**Aplican en lo conducente**, respecto de la vegetación conservada y de la cortina de arbolado perimetral integrada a las 1.0074 ha de áreas verdes del predio, cuyo mantenimiento y poda se sujetarán a la autorización que corresponda (Cap. I).
INF1, INF2	Termoeléctricas o subestaciones a más de 10 km de asentamientos.	No aplican, ya que el proyecto no instala termoeléctricas ni subestaciones.
INF21, INF26, INF30, INF31, INF42, INF58, INF59	Infraestructura pesquera, dragado, uso de explosivos, sólidos suspendidos y obras en la laguna/cuerpos de agua.	No aplican, ya que el proyecto no realiza dragado, pesca ni obras en cuerpos de agua.
INF24, INF27, INF37, INF39, INF40, INF43	Caminos sobre acantilados, corredores en áreas naturales, pasos de fauna, aporte de sedimentos y letrinas/fosas en cauces.	No aplican, ya que el proyecto no incide en áreas naturales, cauces ni corredores biológicos.
INF28, INF29, INF44, INF45, INF48–INF52, INF60	Humedales, manglar, dunas costeras, playas y zona federal marítimo-terrestre.	No aplican, ya que el proyecto no incide en humedal, manglar, dunas ni zona federal marítimo-terrestre.
INF35, INF38, INF56, INF57, INF63	Líneas de conducción/transporte de riesgo, modificación de cauces, confinamiento y disposición final de residuos, y caminos rurales.	No aplican, ya que el proyecto no ejecuta esas obras.

Fuente: elaboración propia con base en el POETEC 2024-2034 (Periódico Oficial de Colima, 05-04-2025): lineamientos de las UGA 45 y 49 (Art. 11) y diccionario de criterios sectoriales (Tabla 07). Disposiciones parafraseadas de forma acotada (ver nota de traza). Las medidas se detallan en el Cap. IV.

II.2.3 Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial Local del Municipio de Manzanillo (POELM)

El POELM (publicado en el Periódico Oficial del Estado de Colima el 30 de julio de 2016) ordena el territorio municipal en 65 UGA. El predio incide íntegramente (3.4097 ha, 100%) en la UGA 57 "El Camichín", a la que el Programa asigna la política de Aprovechamiento (A) y la aptitud territorial industrial-urbana (IND-URB), con un uso de suelo y vegetación descrito como "asentamientos humanos e infraestructura".

Esta es la vinculación de compatibilidad más directa del capítulo: la aptitud que el ordenamiento municipal asigna al sitio —industrial-urbana— coincide plenamente con la naturaleza del proyecto, una infraestructura logístico-portuaria de carácter industrial y de servicios. El propio instrumento lo confirma: conforme al criterio In20 del POELM, "los patios de maniobras, almacenamiento temporal de contenedores y estacionamiento de tractocamiones empleados en los sistemas de transporte combinado y multimodal fuera del recinto portuario se consideran establecimientos industriales". El proyecto es, por tanto, un establecimiento industrial cuyo uso

se ubica dentro de los que la UGA 57 admite conforme a su política de aprovechamiento y su aptitud industrial-urbana, sin necesidad de invocar régimen condicionado alguno.

La UGA 57 tiene 32 criterios de regulación ecológica aplicables, correspondientes a los sectores de Conservación, Forestal, Infraestructura, Industria, Minería y Pecuario. El proyecto se vincula con cada uno de ellos en la Tabla 5: atiende los criterios de los sectores de conservación, forestal, infraestructura e industria mediante las medidas ya descritas, mientras que los criterios de los sectores minero y pecuario no se actualizan por no ser esas las actividades del proyecto. En congruencia con el conjunto de sus criterios, el proyecto resulta plenamente compatible con el POELM de Manzanillo.

Por último, se deja constancia de que el Programa de Ordenamiento Ecológico Local de la Laguna de Cuyutlán, también vigente en la región, no incide en el predio —la unidad más cercana se ubica a 2.68 km—, por lo que no se vincula.

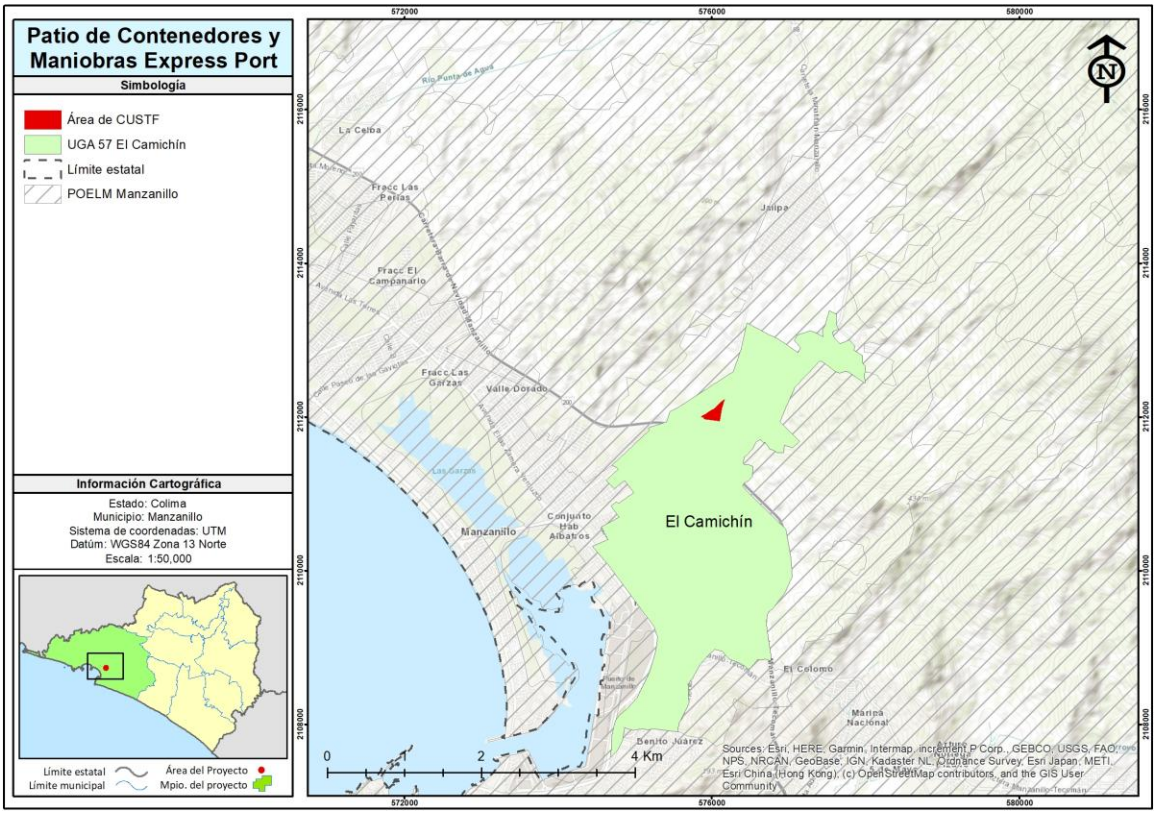


Figura 4. Incidencia del proyecto en la UGA 57 "El Camichín" del POELM de Manzanillo

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial del POELM (H. Ayuntamiento de Manzanillo) y el polígono del proyecto. Escala 1:50,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

Tabla 5. Vinculación del proyecto con los 32 criterios de regulación ecológica de la UGA 57 "El Camichín" (POELM Manzanillo)

Criterio	Disposición (acotada)	Vinculación del proyecto
Co01	Promover la reforestación de la UGA con especies nativas de todo estrato.	**Aplica.** El proyecto habilita 1.0074 ha (10,074 m²) de áreas verdes y jardineras con vegetación nativa dentro del patio (Cap. I) y reforesta 3.55 ha de Selva Baja Caducifolia en el predio de compensación (Cap. IV).
Fo02	Emplear en las reforestaciones exclusivamente especies nativas y densidades naturales.	**Aplica.** Las reforestaciones emplean especies nativas de Selva Baja Caducifolia con densidades naturales: 3.55 ha en

Criterio	Disposición (acotada)	Vinculación del proyecto
		el predio de compensación, la cortina de arbolado perimetral y 1.0074 ha de áreas verdes (Caps. I y IV).
If02	Los sitios de disposición de residuos sólidos deben cumplir la NOM-083-SEMARNAT-2003.	**Aplica.** Los residuos sólidos urbanos se disponen en el sitio municipal autorizado que cumple la NOM-083 (Cap. IV).
If03	Formular los planes de manejo de residuos (competencia municipal).	**Se atiende.** Sin perjuicio de la competencia municipal, el proyecto formula su propio plan de manejo para los residuos peligrosos (10,756.6 L de aceites) y de manejo especial (suelo de despalme 14,554.8 t; material vegetal 77.24 m³) conforme a la LGPGIR (Cap. IV).
In01	El establecimiento industrial se condiciona al Reglamento de Zonificación y al PDU/Plan Parcial.	**Aplica.** El proyecto se ajusta a la zonificación logístico-industrial-portuaria (ULIP) del PMOTDU (II.3).
In02	Vigilar el cumplimiento de la legislación ambiental.	**Aplica.** El proyecto acredita el cumplimiento del marco ambiental federal, estatal y municipal (Cap. II completo).
In03	Todo desarrollo industrial requiere Evaluación de Impacto Ambiental.	**Aplica.** El proyecto se somete a la evaluación mediante la presente MIA.
In04	La dotación de servicios (agua potable, drenaje NOM-002, energía…) corre a cargo del promovente.	**Aplica.** El promovente dota los servicios; agua y drenaje sanitario se gestionan con CAPDAM (NOM-002-SEMARNAT-1996) (Cap. I).
In05	Demostrar en la MIA cómo se proveerán los servicios e infraestructura.	**Aplica.** La provisión de servicios se detalla en el Cap. I.
In06	Presentar garantías (seguro/fianza) a favor del Fideicomiso Ambiental estatal.	**Aplica (condicionante).** El promovente otorgará la garantía o fianza ambiental a favor del fideicomiso estatal en los términos y por el monto que determine la autoridad, una vez emitido el resolutivo correspondiente.
In07	Fomentar industrias de bajo impacto y en parques industriales.	**Aplica.** El proyecto es industria ligera de bajo impacto —patio logístico sin proceso industrial pesado—, con cortina de arbolado perimetral, 1.0074 ha de áreas verdes, biodigestor para el agua del lavado de contenedores y bajo consumo de agua y energía (Cap. I).
In08	Presentar los planes de manejo de residuos de la LGPGIR.	**Aplica.** El proyecto formula el plan de manejo de residuos peligrosos (10,756.6 L de aceites) y de manejo especial (suelo 14,554.8 t; vegetal 77.24 m³) conforme a la LGPGIR (Caps. I y IV).
In09	Sujeción a auditorías/inspecciones de PROFEPA y la autoridad estatal.	**Aplica.** El proyecto se somete a las auditorías e inspecciones ambientales que correspondan, sin perjuicio de su propio Programa de Vigilancia Ambiental de al menos 7 años (Cap. IV).
In10	Cumplir las NOM de emisiones, ruido y agua aplicables a la industria.	**Aplica.** El proyecto cumple las NOM aplicables por componente —emisiones (NOM-041/NOM-045) y ruido (NOM-080 en circulación, NOM-081 en fuente fija)—, cribadas por su supuesto real en II.5.

Criterio	Disposición (acotada)	Vinculación del proyecto
In11	Promover la auditoría ambiental voluntaria.	**Aplica (potestativo).** El promovente podrá adherirse al programa de auditoría ambiental voluntaria de la PROFEPA.
In12	Las industrias sólo se establecen en UGA de fragilidad baja / parques industriales / zonas I1–I3 del PDU.	**Aplica.** El sitio es de aptitud industrial-urbana (IND-URB), de baja fragilidad (relieve plano, pendiente ~0.3%) y zonificación ULIP del PMOTDU (II.3).
In13	Contar con una franja perimetral de aislamiento (Reglamento de Zonificación).	**Aplica (diseño).** El proyecto prevé la franja perimetral de aislamiento mediante la cortina de arbolado perimetral de 1,344 m, conforme al Reglamento de Zonificación (Cap. I/IV).
In14	Apoyar iniciativas empresariales locales de uso innovador de recursos naturales.	No aplica, ya que es una acción de fomento gubernamental, no una obligación del proyecto.
In15	Otorgar facilidades a empresas de seguridad alimentaria.	No aplica, ya que la actividad no es la que se pretende desarrollar (seguridad alimentaria).
In16	Promover el encadenamiento productivo municipal.	**Aplica de forma congruente.** El patio logístico-portuario fortalece el encadenamiento productivo asociado al Puerto de Manzanillo.
In17	Promover pequeñas agroindustrias con productos locales.	No aplica, ya que la actividad no es la que se pretende desarrollar (agroindustria).
In18	Promover la autorregulación mediante certificaciones.	**Aplica (potestativo).** El proyecto podrá adoptar certificaciones de calidad y desempeño ambiental.
Mi01–Mi09	Criterios del sector minero (licencias, MIA minera, restauración de bancos, NOM-138, auditorías, límites de emisión…).	No aplican, ya que el proyecto no realiza actividades de exploración, explotación ni beneficio de minerales.
Pc09	Criterio del sector pecuario.	No aplica, ya que el proyecto no desarrolla actividad pecuaria.

Fuente: elaboración propia con base en el POELM de Manzanillo (Periódico Oficial de Colima, 30-07-2016): Tabla 5 (criterios por UGA) y diccionario de criterios de la UGA 57. Las medidas se detallan en el Cap. IV.

II.3 PROGRAMAS Y PLANES DE DESARROLLO URBANO

El Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Manzanillo (PMOTDU 2024), formulado por el Ayuntamiento en ejercicio de las atribuciones que le confiere la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, es el instrumento que clasifica el suelo del centro de población y le asigna su zonificación primaria y secundaria. A diferencia de los ordenamientos ecológicos —que regulan la aptitud ambiental del territorio—, el PMOTDU determina la vocación urbanística del suelo; por ello la vinculación con este instrumento demuestra la **compatibilidad del uso urbano** del proyecto.

II.3.1 Clasificación y zonificación del predio

Conforme al PMOTDU, el Área del Proyecto se ubica íntegramente dentro de la **UGAT 5** del municipio y se clasifica como suelo **Urbanizable**, en la categoría de **Reserva Urbana a Corto Plazo (RU-CP)**, sobre 3.0632 ha equivalentes al 89.84 % de su superficie. Dentro de esa clasificación, la zonificación secundaria (uso específico) dominante es la de **Logísticos Industriales y Portuarios (ULIP)**, con 2.573 ha (75.46 % del Área

del Proyecto), y una fracción menor recae en la zonificación de **Jardines Urbanos (JU)**, con 0.4902 ha (14.38 %). La Figura 5 muestra ambas zonificaciones sobre el polígono del proyecto. La superficie restante (0.3466 ha) no recibe zonificación secundaria por corresponder a las franjas que el propio Programa deja sin asignar entre unidades —una banda de 8.5 m de ancho medio a lo largo del lindero y dos astillas menores a 3 m—, sin uso asignado y, por tanto, sin efecto sobre la compatibilidad del proyecto.

La confrontación entre el uso del proyecto y la zonificación asignada arroja una compatibilidad directa: el patio de contenedores y maniobra es, por definición, infraestructura logística industrial y portuaria, uso que coincide exactamente con la zonificación **ULIP** que el PMOTDU asigna al sitio. No se requiere, por tanto, construir defensa alguna de uso no permitido: el uso pretendido es el que el instrumento reconoce para el predio. La fracción de 0.4902 ha con zonificación de **Jardines Urbanos** se satisface con las 1.0074 ha (10,074 m²) de áreas verdes y jardineras que el proyecto conserva y habilita dentro del predio (Cap. I) —superficie que duplica con holgura la exigida por esa zonificación—, de modo que también esa porción resulta compatible por diseño. La compatibilidad específica de usos se sujeta, conforme lo remite el propio Programa, a la **Tabla de Compatibilidades de Uso del Suelo del PMOTDU** y al **Reglamento de Zonificación del Estado de Colima**, instrumentos ante los cuales el promovente acredita el uso mediante el dictamen o constancia municipal de uso de suelo que se anexa.

II.3.2 Congruencia estratégica con el modelo de desarrollo urbano

El proyecto no solo es compatible con la zonificación, sino que **materializa** varias de las estrategias que el PMOTDU fija para la UGAT en que se ubica, orientadas a ordenar la relación entre la ciudad y la actividad portuaria:

- El PMOTDU establece (estrategia 5.1.1) una política de gestión territorial de **"Ciudad-portuaria"** que armoniza la Ley de Asentamientos con la Ley de Puertos y coordina al municipio con la Administración del Sistema Portuario Nacional (ASIPONA) Manzanillo. El proyecto, como infraestructura logística vinculada al puerto, se inscribe en esa política.

- El Programa busca (estrategias 6.4.1 y 6.4.2) **mejorar la conectividad hacia el Puerto de San Pedrito y ordenar el sistema logístico de movilidad, mejorando la relación del "patio regulador" con el puerto**. El proyecto es precisamente ese tipo de patio regulador de contenedores fuera del recinto portuario, por lo que contribuye directamente al orden logístico que el PMOTDU persigue.

- El lineamiento de la UGAT ordena **mitigar los gases de efecto invernadero derivados de la actividad logística portuaria** y **fomentar la eficiencia energética**; el proyecto cuantifica sus emisiones (1,598.18 tCO_2-e en preparación y construcción; 121.09 tCO_2-e/año en operación) y las compensa y controla con medidas concretas: la reforestación del predio de compensación recaptura la pérdida de carbono por la remoción (234.01 tCO_2-e) y lleva el stock del sistema por encima de la línea base, la cortina de arbolado perimetral y las 1.0074 ha de áreas verdes añaden superficie sumidero, y el control de emisiones de la maquinaria —riego de superficies, verificación vehicular y mantenimiento preventivo conforme al fabricante— mantiene el polvo y los gases del frente de obra dentro de los límites de las NOM-041, NOM-045 y NOM-080 (Cap. IV).

- El Programa promueve (estrategia 3.3.4) las **cortinas de arbolado** y los sistemas de captación de agua en los espacios públicos; el proyecto establece una cortina de arbolado perimetral con especies nativas y conserva 1.0074 ha de áreas verdes.

De este modo, el proyecto es congruente con el PMOTDU tanto en la compatibilidad de su uso (ULIP) como en la realización de sus estrategias de ordenamiento de la ciudad-puerto.

II.3.3 Constancia municipal de uso de suelo

El dictamen o constancia municipal de uso de suelo que acredita la compatibilidad del proyecto con el PMOTDU se **anexa** como documento probatorio (Anexo II.1). Al tratarse de un documento ya obtenido por el promovente, se incorpora como evidencia y no como instrumento a vincular.

La Tabla 6 sintetiza esta vinculación.



Figura 5. Zonificación secundaria del PMOTDU de Manzanillo sobre el polígono del proyecto

Fuente: elaboración propia, renderizada desde las capas reales conforme al estándar cartográfico del proyecto, a partir de la capa oficial del PMOTDU de Manzanillo (H. Ayuntamiento de Manzanillo) y del polígono del Área del Proyecto (superficie de atributo: 3.4097 ha). Escala 1:2,500. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. Se dibujan las dos zonificaciones secundarias que inciden en el predio: Logísticos Industriales y Portuarios (ULIP), con 2.573 ha (75.46 %), y Jardines Urbanos (JU), con 0.4902 ha (14.38 %).

Tabla 6. Vinculación del proyecto con las disposiciones vinculantes del PMOTDU Manzanillo 2024

Disposición del PMOTDU	Determinación / lineamiento para el predio	Cumplimiento del proyecto (con dato)
Clasificación primaria: **Urbanizable**	Suelo apto para el desarrollo urbano	Desarrollo de infraestructura en suelo urbanizable, no en suelo de conservación o protección. **Compatible.**
Clasificación secundaria: **Reserva Urbana a Corto Plazo (RU-CP)** — UGAT 5	Predio previsto para incorporación urbana a corto plazo	El proyecto concreta ese aprovechamiento. **Compatible.**
Zonificación secundaria: **ULIP (Logísticos Industriales y Portuarios)**	Uso asignado: logístico-industrial-portuario	Patio de contenedores y maniobra = uso idéntico al asignado. **Compatible directo, sin defensa de uso.**
Zonificación (fracción): **Jardines Urbanos (JU)**	Uso de área verde	1.0074 ha (10,074 m²) de áreas verdes y jardineras (Cap. I). **Compatible por diseño.**

Disposición del PMOTDU	Determinación / lineamiento para el predio	Cumplimiento del proyecto (con dato)
Compatibilidad específica de usos	Remitida a la **Tabla de Compatibilidades** y al **Reglamento de Zonificación del Estado de Colima**	Acreditada con el dictamen/constancia municipal de uso de suelo (Anexo II.1).
Estrategia 5.1.1 — política "Ciudad-portuaria" (coordinación con ASIPONA Manzanillo)	Armonizar la Ley de Asentamientos con la Ley de Puertos	El proyecto es infraestructura logística vinculada al puerto, inscrita en esa política. **Congruente.**
Estrategias 6.4.1 / 6.4.2 — patio regulador ↔ Puerto de San Pedrito	Ordenar el sistema logístico de movilidad de carga y su relación con el puerto	El proyecto es el **patio regulador de contenedores** que el PMOTDU busca ordenar fuera del recinto portuario. **Contribuye directamente.**
Estrategia 2.5.1 — controlar el crecimiento disperso, consolidando la zona industrial de Jalipa	Consolidar el suelo industrial, no dispersar la ciudad	El proyecto se ubica en la zona industrial-logística (ULIP) de Jalipa, consolidándola. **Congruente.**
Estrategia 1.3.4 — manejo integral de residuos hacia vertido "cero"	Reducir la disposición final de residuos	Plan de manejo de RP (10,756.6 L de aceites) y RME (suelo 14,554.8 t; vegetal 77.24 m³), con valorización del material vegetal como mulch (Caps. I y IV). **Congruente.**
Estrategias 1.3.5 / 1.5.1 / 7.2.2 — mitigar los GEI de la actividad logística y fomentar la eficiencia energética	Reducir emisiones y consumo energético	GEI cuantificados (1,598.18 tCO_2-e en construcción; 121.09 tCO_2-e/año en operación) y compensados; industria ligera de bajo consumo (Caps. I y IV). **Congruente.**
Estrategias 1.4.1 / 1.4.2 — gestión integral del riesgo de inundación y alerta temprana	Reducir la vulnerabilidad ante inundación	El predio, de 3.4097 ha, incide en una zona de riesgo de inundación de nivel **medio** conforme al índice de vulnerabilidad a la inundación del CENAPRED (recorte al Área del Proyecto, Cap. III). El proyecto gestiona ese riesgo con el drenaje pluvial de sus superficies, el manejo de escurrimientos y las trampas de sedimento durante la obra (Cap. IV) y su programa de protección civil.
Estrategia 2.3.1 — eficientar el uso del agua	Uso racional del agua	Biodigestor que trata y permite el reuso del agua del lavado de contenedores, bajo consumo de agua y provisión vía CAPDAM, sin descarga a cuerpo receptor (0 ha de zona federal, Cap. I). **Congruente.**
Estrategia 3.3.4 — cortinas de arbolado y captación de agua en espacios públicos	Fomentar cortinas de arbolado y espacios verdes	Cortina de arbolado perimetral con especies nativas + 1.0074 ha de áreas verdes (Cap. I). **Congruente.**
Modalidades y restricciones de uso del suelo (MR) asignadas a la UGAT	Condicionantes de zonificación, cauces, actividades extractivas, manejo	El predio se localiza en la **UGAT 5** del PMOTDU, con zonificación secundaria **logístico-industrial y portuaria (ULIP-**

Disposición del PMOTDU	Determinación / lineamiento para el predio	Cumplimiento del proyecto (con dato)
(grupos MRZR, MRCA, MRAE, MRMH, MRRA, MRDV, MRAS)	hídrico, riesgo, vialidad y asentamientos	**5)**, en suelo urbanizable (confirmado por sobreposición del polígono con la cartografía oficial). Observa, por grupo, las modalidades y restricciones que la ficha de la UGAT 5 le asigna: **zonas de riesgo (MRZR5, MRZR6, MRZR8–MRZR19) y riesgo/restauración ambiental (MRRA4)** — gestiona el riesgo de inundación (nivel medio, CENAPRED) con drenaje pluvial y programa de protección civil, y restaura con reforestación y obras de conservación de suelo; **manejo hídrico (MRMH5) y cauces (MRCA1)** — no ocupa aguas nacionales ni zona federal (0 ha) y controla los escurrimientos con drenaje pluvial y trampas de sedimento; **vialidad (MRDV3)** — respeta los derechos de vía con accesos y señalización internos; **asentamientos humanos (MRAS3, MRAS6)** — uso industrial-logístico congruente con la zona, sin generar asentamientos; y **actividades extractivas (MRAE1–MRAE7)** — no aplican, pues un patio de contenedores no realiza actividad extractiva alguna. El articulado detallado de cada MR consta en la ficha de la UGAT 5 del PMOTDU (Anexo de Fichas UGAT).
Criterios del Ordenamiento Ecológico aplicable a la UGAT (POELM)	Criterios Co/Fo/If/In/Pc del POELM	Vinculados uno a uno en II.2.3 (Tabla 5).

Fuente: elaboración propia con base en el PMOTDU de Manzanillo (aprobado por el Cabildo de Manzanillo el 7 de octubre de 2024 y publicado en el Periódico Oficial del Estado de Colima el 10 de junio de 2025 (edición extraordinaria núm. 59, suplemento núm. 1), conforme a la LGAHOTDU): clasificación y zonificación del predio (KML oficial), lineamiento general, estrategias y modalidades/restricciones de la UGAT; datos del proyecto de los Caps. I y IV.

II.4 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS Y OTRAS ÁREAS DE RELEVANCIA

Este apartado analiza la relación del proyecto con las áreas naturales protegidas (ANP) y con las áreas de importancia para la conservación de la biodiversidad, verificada la incidencia territorial con las capas oficiales (CONANP-SIMEC y Geoportal CONABIO, consulta 09-07-2026). Del análisis de las doce capas evaluadas (Tabla 10) resulta que **el proyecto no incide en ninguna Área Natural Protegida ni en ningún sitio Ramsar**, y que **incide únicamente en tres áreas de carácter informativo de la CONABIO** —una Región Hidrológica Prioritaria, un Sitio Prioritario para la conservación de la biodiversidad y un Sitio Prioritario para la restauración—, que son referentes técnicos de planeación y no restricciones jurídicas equivalentes a una ANP.

II.4.1 Áreas Naturales Protegidas (federales, estatales y municipales)

El proyecto **no incide** en Área Natural Protegida alguna, ni federal ni estatal o municipal, ni se ubica dentro de la franja de 500 m de alguna de ellas. El ANP federal más cercana es el **Área de Protección de Flora y Fauna «Canoas»** (Colima), a 14.70 km al Noreste (decreto publicado en el DOF el 11 de enero de 2024; superficie 20,416.65 ha; sin programa de manejo publicado a la fecha de la capa). La ANP estatal más cercana es el **Área Ecológica y Cultural «La Campana»** (Villa de Álvarez, Colima), a 60.24 km al Este (último decreto de 22 de noviembre de 2020; superficie 94.75 ha). Ambas distancias exceden con amplitud cualquier franja de área de influencia o amortiguamiento, por lo que no se activan los regímenes de sus decretos de creación ni sus programas de manejo, y el proyecto no requiere autorización ni condicionante por esta vía. Se deja constancia de la no incidencia con la distancia y dirección verificadas.

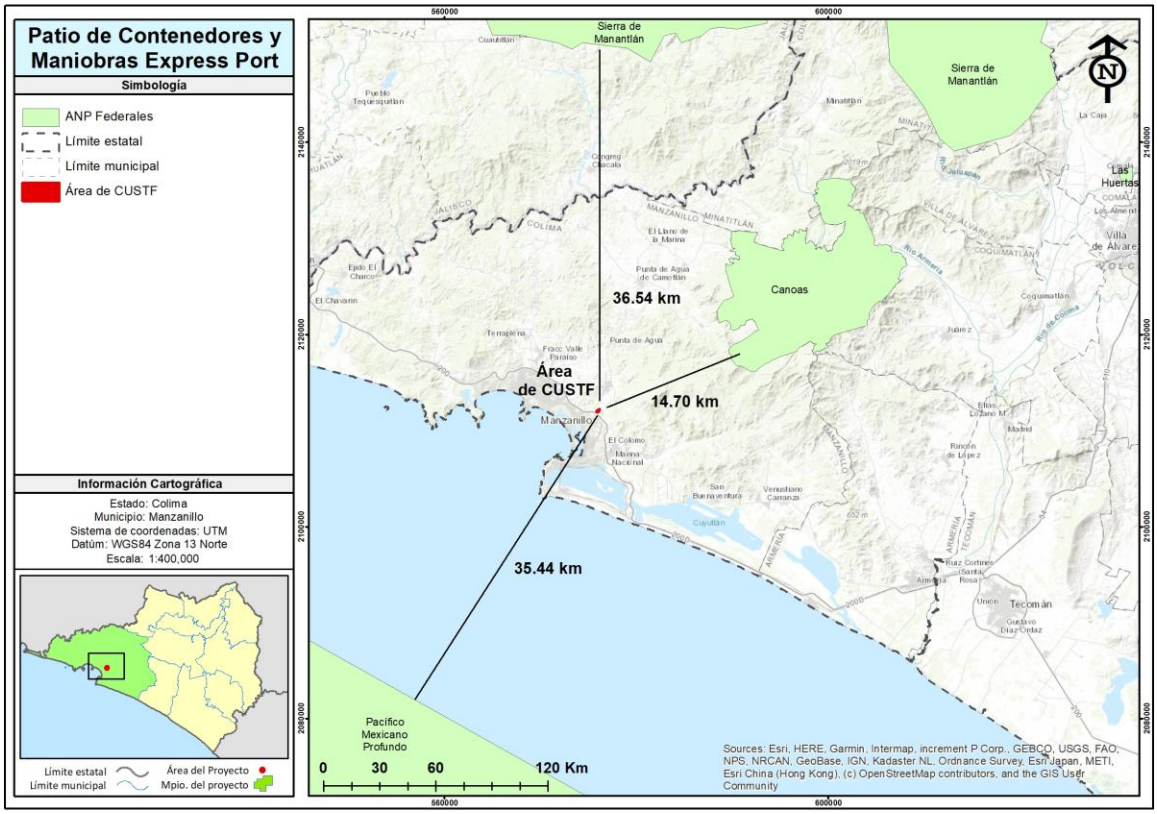


Figura 6. No incidencia del proyecto en Áreas Naturales Protegidas federales

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de ANP federales (CONANP/SEMARNAT) y el polígono del proyecto. Escala 1:400,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

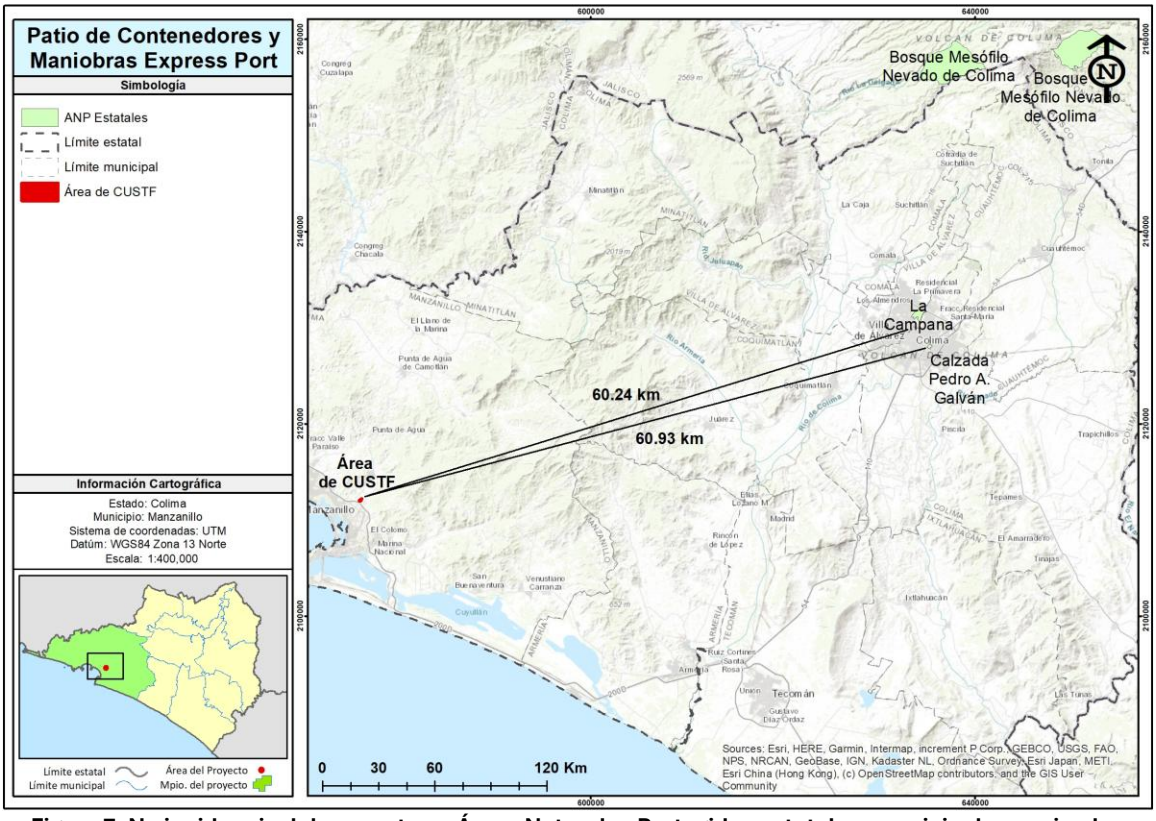


Figura 7. No incidencia del proyecto en Áreas Naturales Protegidas estatales, municipales y privadas

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de ANP estatales, municipales y privadas (CONABIO) y el polígono del proyecto. Escala 1:400,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

II.4.2 Otras áreas de relevancia para la conservación (CONABIO) en las que el proyecto incide

Las áreas de la CONABIO son instrumentos técnicos de planeación para la conservación de la biodiversidad, de carácter **informativo**: su identificación no constituye una restricción jurídica como la de una ANP ni prohíbe el proyecto, pero se incorpora al análisis para valorar el contexto ecológico regional y orientar las medidas del proyecto de modo que no incrementen las presiones que cada área enfrenta. El marco conceptual y la problemática de cada área provienen de sus fichas técnicas y metadatos oficiales: RHP (Arriaga et al., 2002); Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre (CONABIO-CONANP-TNC-Pronatura-FCF/UANL, 2007; Koleff et al., 2009); y Sitios Prioritarios para la Restauración (CONABIO, 2016/2021).

Región Hidrológica Prioritaria «Ríos Purificación-Armería» (RHP 25, CONABIO). El proyecto incide en la totalidad de su superficie (3.4097 ha) en esta RHP, una de las 110 identificadas por la CONABIO (Arriaga et al., 2002) por su relevancia hídrica y biológica: la subcuenca del Río Armería es la primera en importancia del estado de Colima por su biodiversidad y sus escurrimientos y alberga cuatro áreas protegidas, incluido cerca del 60 % de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, con presencia de peces nativos y especies endémicas. La capa oficial caracteriza la región por tres atributos —valor de biodiversidad (BIODIV), amenaza (AMENAZA) y uso del recurso (USO)—, cuya problemática asociada —modificación del entorno por cambio de uso de suelo, contaminación y presión sobre el recurso hídrico— se confronta con las medidas del proyecto —rescate y reubicación de flora (1,543 individuos) y fauna (51 especies), reforestación de compensación (3.55 ha) y obras de manejo hídrico— en la Tabla 7.

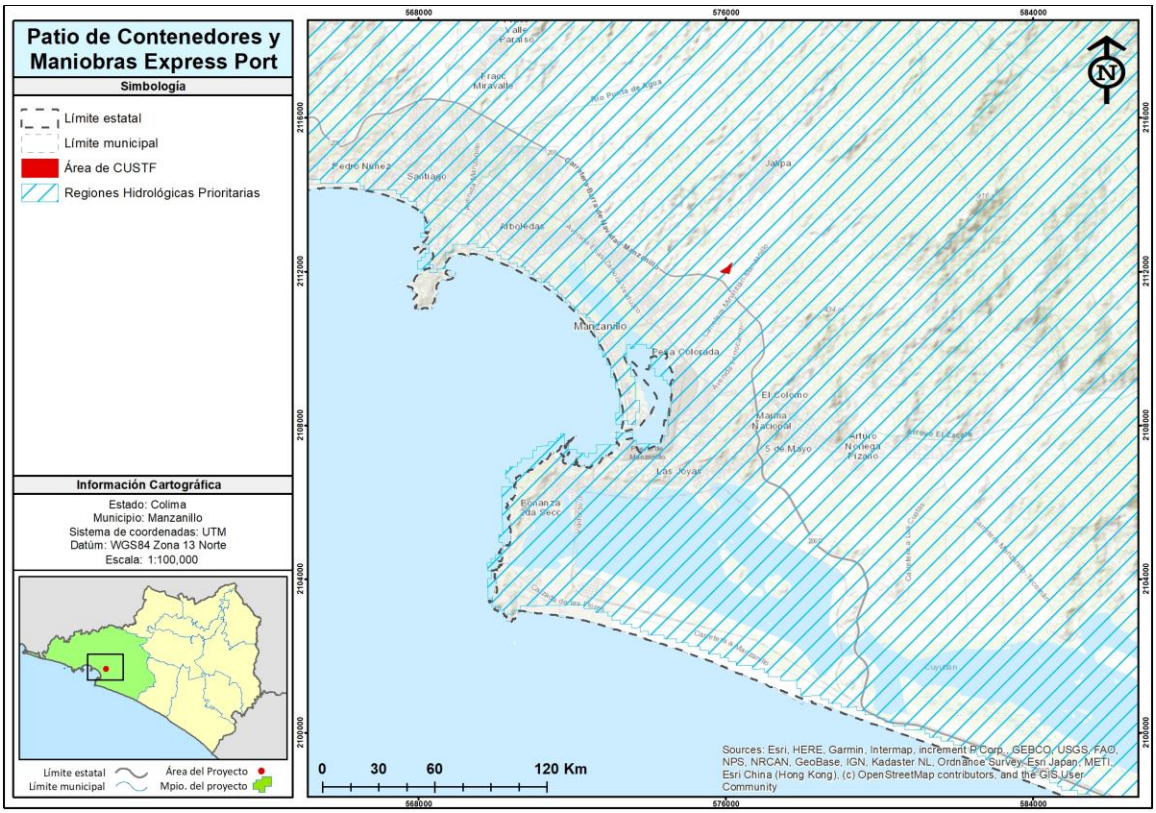


Figura 8. Incidencia del proyecto en la Región Hidrológica Prioritaria «Ríos Purificación-Armería»

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de Regiones Hidrológicas Prioritarias (CONABIO; Arriaga et al., 2002) y el polígono del proyecto. Escala 1:100,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

Tabla 7. Vinculación del proyecto con la RHP «Ríos Purificación-Armería» por atributo de la ficha CONABIO

Atributo de la RHP (problemática reconocida)	Vinculación del proyecto
Biodiversidad (BIODIV) — valor biológico del sistema hidrológico	El cambio de uso se acota a 3.4097 ha (≈0.06 % de la cuenca) sobre Selva Baja Caducifolia secundaria perturbada; se rescatan y reubican 1,543 individuos de flora (10 especies prioritarias) y se ahuyenta y rescata la fauna asociada (51 especies, con atención a las especies en NOM-059) (Cap. IV).
Amenaza por modificación del entorno (AMENAZA) — cambio de uso de suelo	La remoción es mínima y sobre cobertura ya perturbada, sin fragmentar cuerpos de agua ni cauces; se compensa con la reforestación de 3.55 ha de Selva Baja Caducifolia (Cap. IV).
Amenaza por contaminación / alteración del sistema hidrológico	El proyecto no incide en cauce ni zona federal (0 ha) ni descarga aguas residuales a bienes nacionales; el agua del lavado de contenedores se trata con biodigestor y la sanitaria se conduce a CAPDAM; no emplea agroquímicos (Cap. I).
Uso del recurso hídrico (USO) y función de recarga	El consumo de agua es bajo y se abastece de la red municipal, sin extracción del acuífero ni de los cauces; la función de infiltración y recarga (29,660 / 12,199 $m^3 \cdot año^{-1}$) se conserva con las obras de conservación de suelo y agua —4,555 terrazas individuales, 89 barreras de material

Atributo de la RHP (problemática reconocida)	Vinculación del proyecto
	muerto (710 m) y 0.79 ha de mulching—, que retienen 119.39 t·año⁻¹ de azolve (Cap. IV).

Al ser la RHP un instrumento informativo, no impone restricciones al cambio de uso de suelo; por su escala mínima sobre vegetación perturbada y por sus obras de conservación de suelo y agua (terrazas, barreras y mulching), que retienen azolve y sostienen la infiltración, el proyecto no agrava la problemática que motivó la designación de la RHP y preserva la función hidrológica del sistema.

Sitio Prioritario para la conservación de la biodiversidad terrestre, clave 6593 (CONABIO, prioridad media). El proyecto incide en la totalidad de su superficie (3.4097 ha) en este sitio, producto del análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre (CONABIO-CONANP-TNC-Pronatura-FCF/UANL, 2007; Koleff et al., 2009), que mediante planeación sistemática identifica las áreas que mejor representan la biodiversidad nacional; al sitio 6593 le corresponde una prioridad **media**. La Tabla 8 confronta los aspectos que motivan la priorización del sitio con las medidas del proyecto.

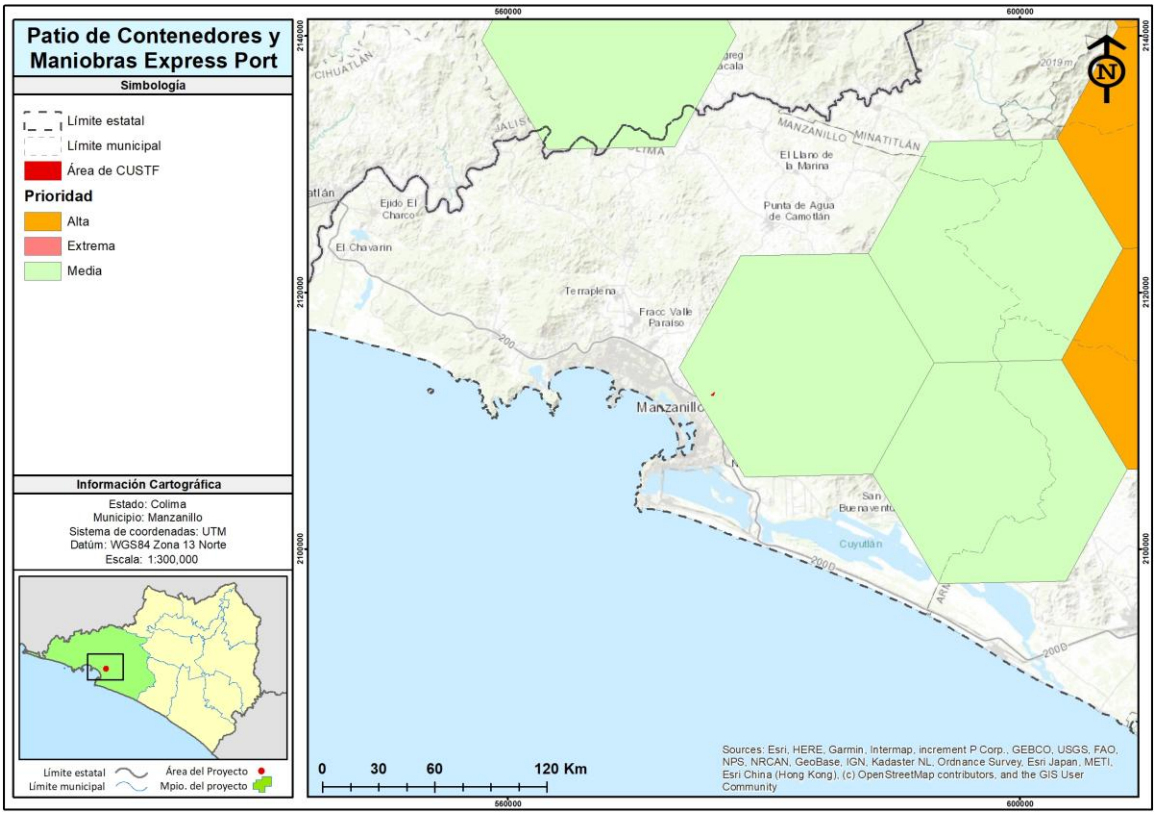


Figura 9. Incidencia del proyecto en el Sitio Prioritario para la conservación de la biodiversidad terrestre (clave 6593)
Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de Sitios Prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre (CONABIO; Koleff et al., 2009) y el polígono del proyecto. Escala 1:300,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

Tabla 8. Vinculación del proyecto con el sitio prioritario de biodiversidad 6593 por aspecto (Koleff et al., 2009)

Aspecto del sitio prioritario	Vinculación del proyecto
Representatividad de la biodiversidad terrestre (planeación sistemática)	La escala mínima del cambio de uso (3.4097 ha) sobre Selva Baja Caducifolia secundaria perturbada no compromete la representatividad del sitio; la cobertura removida se compensa con 3.55 ha reforestadas con especies nativas (Cap. IV).

Aspecto del sitio prioritario	Vinculación del proyecto
Conservación de especies y ecosistemas vulnerables (NOM-059)	Las especies en riesgo del AP se atienden con el rescate y reubicación de flora (1,543 individuos) y el ahuyentamiento y rescate de fauna (51 especies) (Cap. IV).
Prioridad media asignada al sitio	La prioridad media, sumada al estado secundario perturbado de la vegetación, confirma que la afectación es marginal: 3.4097 ha sobre un sitio de prioridad intermedia, compensadas con 3.55 ha reforestadas y 0.79 ha restauradas in situ (Cap. IV).

Por lo anterior, el proyecto no compromete la biodiversidad prioritaria que el instrumento busca representar.

Sitio Prioritario para la Restauración (SPR, CONABIO/CONAFOR, prioridad media). El proyecto incide en la totalidad de su superficie (3.4097 ha) en este sitio, que forma parte de la guía espacial explícita para enfocar las acciones de restauración ecológica en el país (CONABIO, 2016/2021), con prioridad **media** para el polígono. Ésta es la vinculación de mayor congruencia positiva: lejos de contravenir el objetivo del sitio, el proyecto se **alinea** con él. La Tabla 9 confronta los objetivos del SPR con las medidas del proyecto.

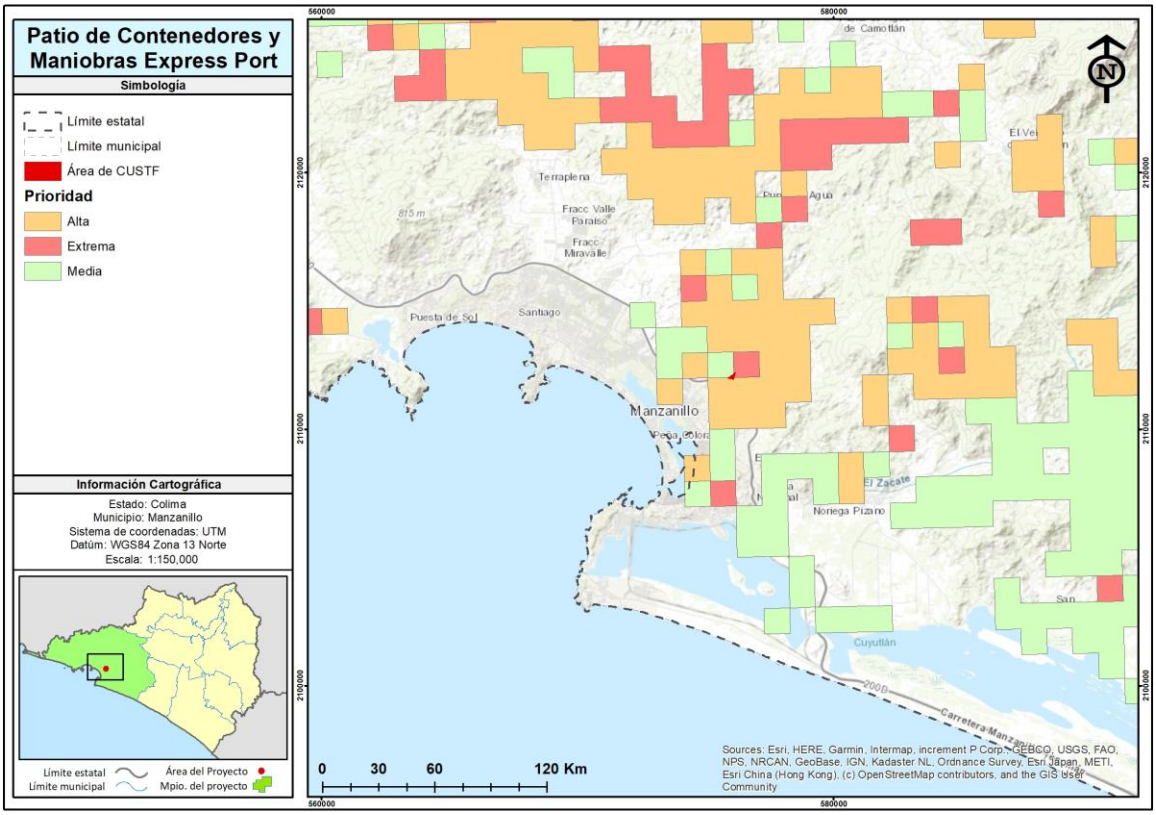


Figura 10. Incidencia del proyecto en el Sitio Prioritario para la Restauración

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de Sitios Prioritarios para la Restauración (CONABIO/CONAFOR, 2016/2021) y el polígono del proyecto. Escala 1:150,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

Tabla 9. Vinculación del proyecto con el Sitio Prioritario para la Restauración por objetivo (CONABIO, 2016/2021)

Objetivo del SPR	Vinculación del proyecto
Restablecer ecosistemas degradados de alto valor biológico	El proyecto restaura un predio de compensación de 3.55 ha con especies nativas de Selva Baja Caducifolia, más la restauración in situ de 0.79 ha y la cobertura de mulch (Cap. IV).

Objetivo del SPR	Vinculación del proyecto
Recuperar la función ecológica y los servicios ecosistémicos	La recuperación de cobertura vegetal —in situ y ex situ— y las obras de conservación de suelo evitan en conjunto 508.08 t·año⁻¹ de erosión, y la función hídrica se conserva (infiltración 29,660 y recarga 12,199 m³·año⁻¹, más 965 m³·año⁻¹ que aporta el mulch); la pérdida de carbono (234.01 tCO_2-e) se compensa con la reforestación (Cap. IV).
Incrementar la conectividad de ecosistemas y recuperar hábitats	La reforestación con nativas, las 1.0074 ha de áreas verdes y la cortina de arbolado perimetral aportan cobertura y conectividad local para la fauna (Caps. I y IV).

La incidencia en el SPR constituye, por tanto, un argumento a favor de la viabilidad ambiental del cambio de uso de suelo: la reforestación de compensación (3.55 ha) y la restauración in situ (0.79 ha), junto con las obras de conservación que evitan 508.08 t·año⁻¹ de erosión, materializan en el propio entorno el objetivo de restauración que el sitio persigue.

II.4.3 Áreas de relevancia en las que el proyecto no incide (constancia)

Las demás áreas evaluadas no inciden en el predio; se deja constancia de su no incidencia con la distancia y dirección verificadas: Área de Importancia para la Conservación de las Aves (Laguna Cuyutlán y Estero Palo Verde, 5.19 km al Sureste), Región Terrestre Prioritaria (Manantlán-Volcán de Colima, 24.65 km al Noreste), Región Marina Prioritaria (1.52 km al Sureste), Sitios de Atención Prioritaria para la Conservación (2.18 km al Sureste), Sitios de atención para la restauración del paisaje forestal (0.44 km al Este), Corredores bioclimáticos (el predio no incide en clase alguna del ráster) y **Sitios Ramsar** (Laguna de Cuyutlán, vasos III y IV, 9.14 km al Sureste). La no incidencia en el sitio Ramsar más cercano y la ausencia de manglar y de humedales en el predio confirman, además, que el supuesto del **artículo 60 TER de la LGVS** no se actualiza (conforme se asentó en II.1).

La no incidencia de cada una de estas áreas se ilustra en las Figuras 11 a II.17.

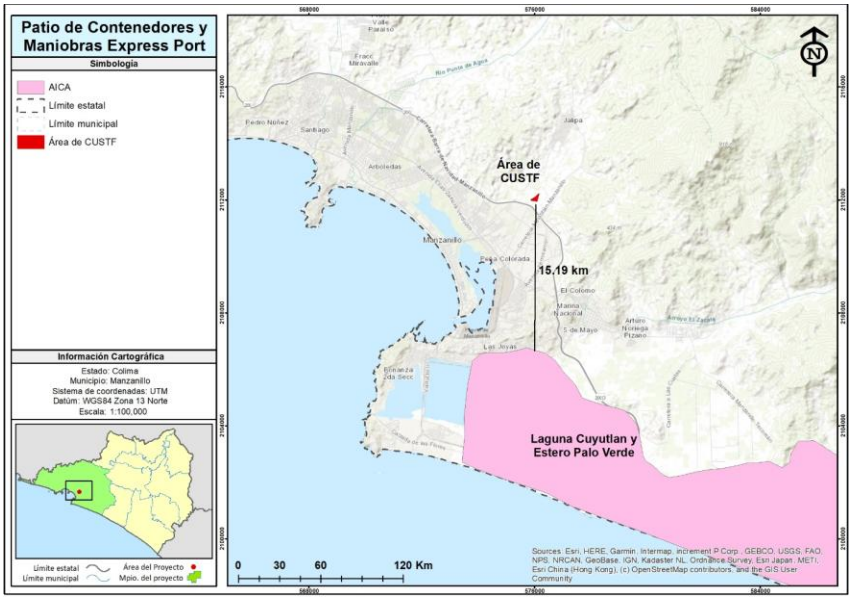


Figura 11. No incidencia del proyecto en Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA)

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de AICA (CONABIO/CIPAMEX) y el polígono del proyecto. Escala 1:100,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

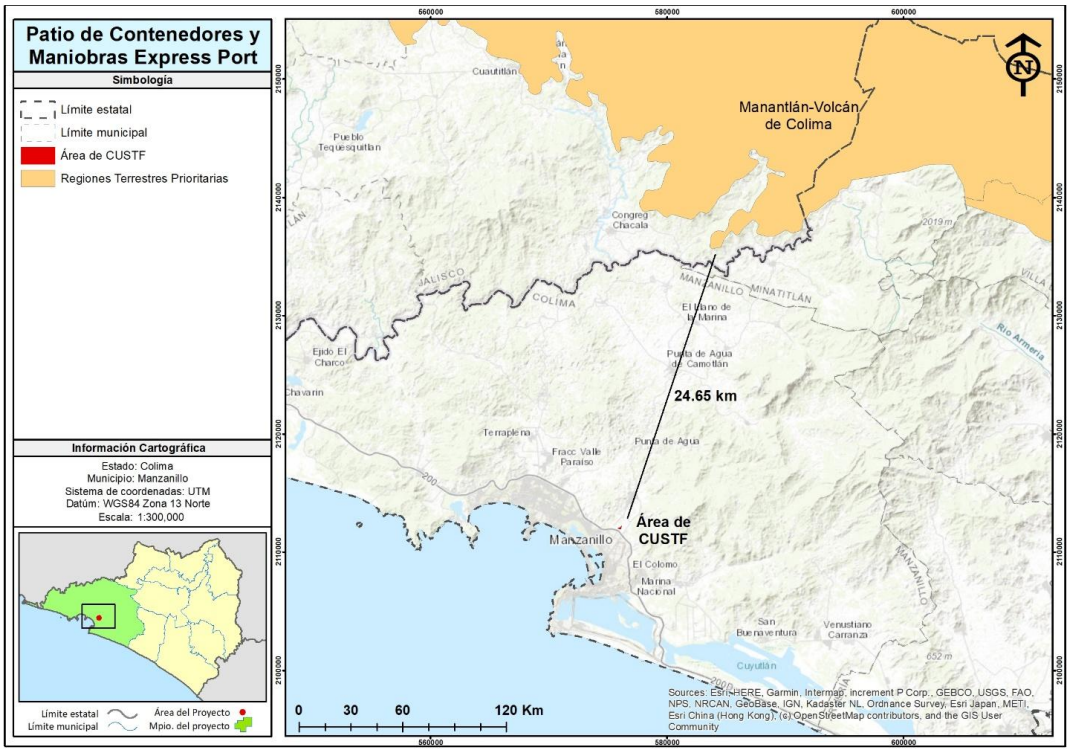


Figura 12. No incidencia del proyecto en Regiones Terrestres Prioritarias (RTP)

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de Regiones Terrestres Prioritarias (CONABIO) y el polígono del proyecto. Escala 1:300,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

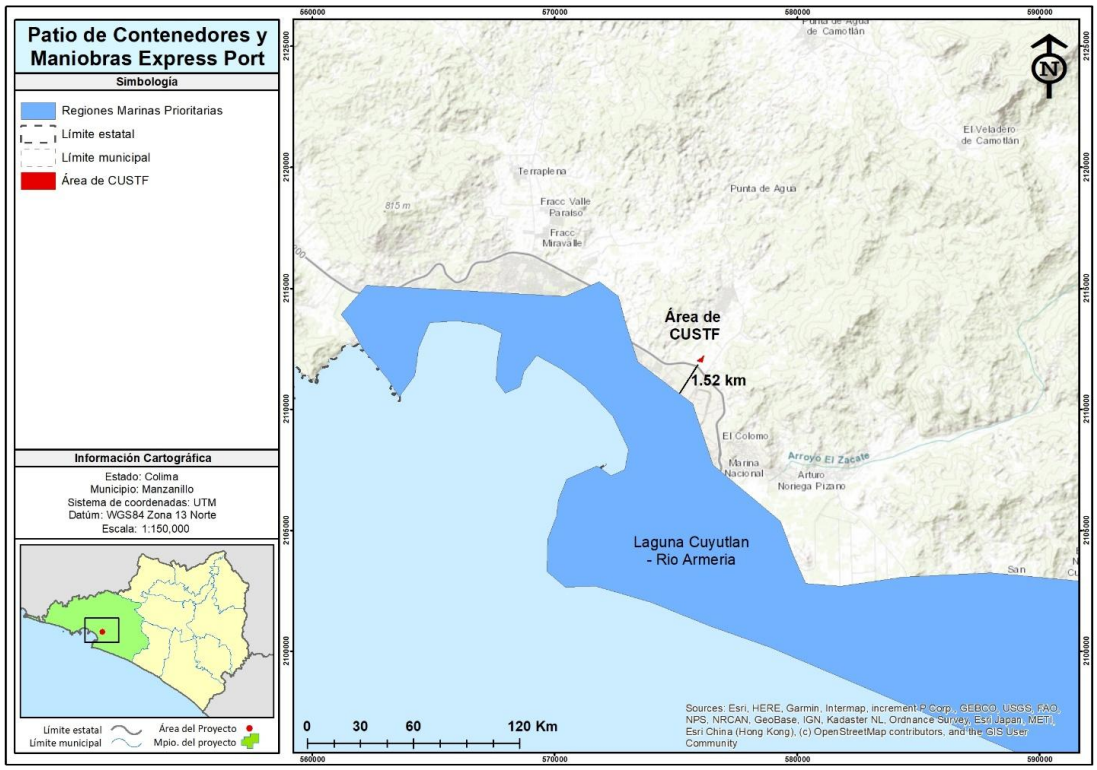


Figura 13. No incidencia del proyecto en Regiones Marinas Prioritarias (RMP)

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de Regiones Marinas Prioritarias (CONABIO-CONANP-TNC-Pronatura) y el polígono del proyecto. Escala 1:150,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

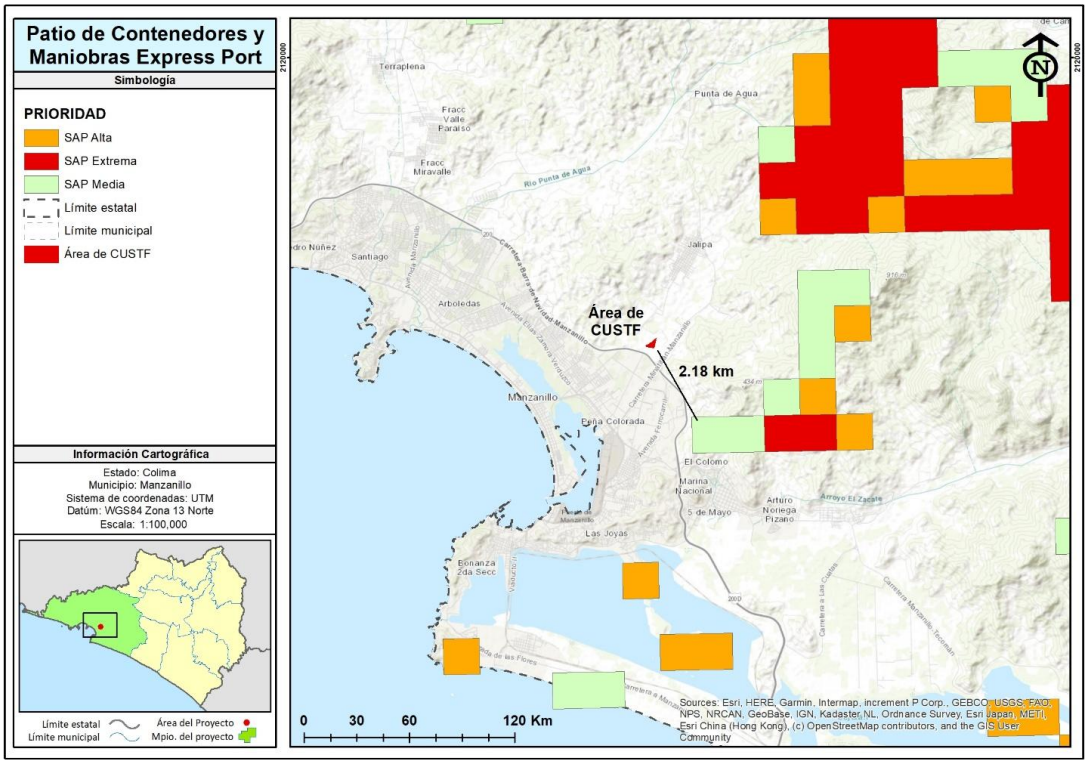


Figura 14. No incidencia del proyecto en Sitios de Atención Prioritaria para la Conservación (SAP)

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de Sitios de Atención Prioritaria para la Conservación (CONABIO) y el polígono del proyecto. Escala 1:100,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

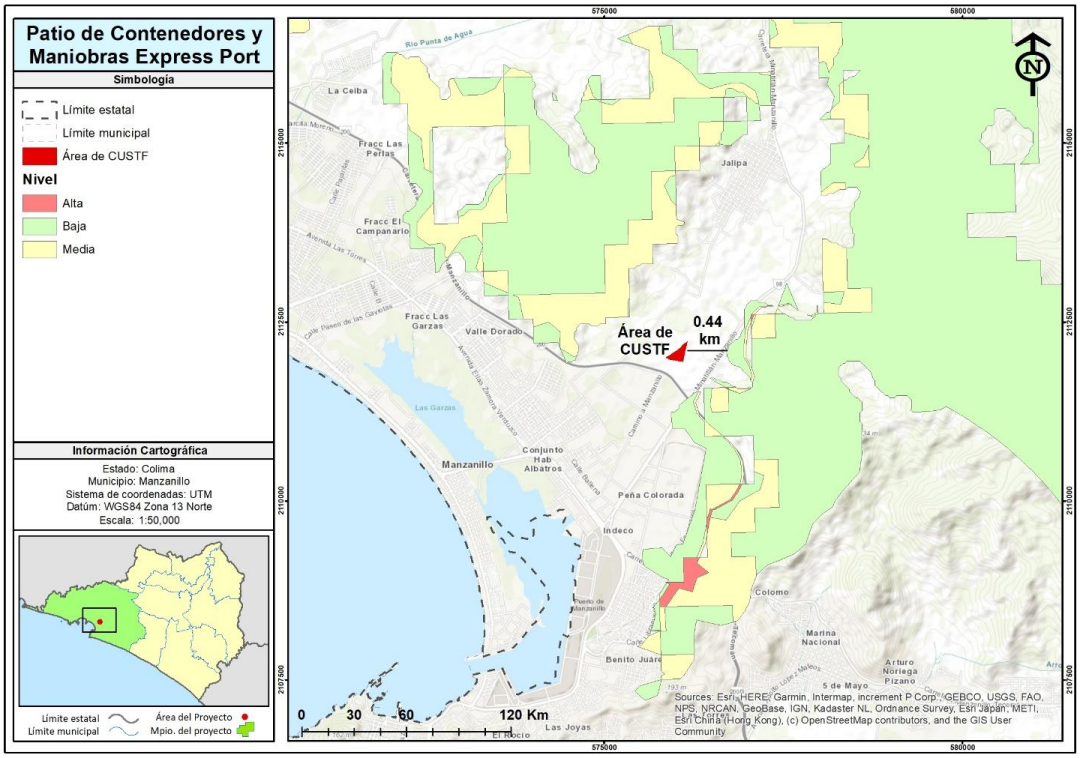


Figura 15. No incidencia del proyecto en sitios de atención para la restauración del paisaje forestal

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de sitios de atención para la restauración del paisaje forestal (CONAFOR; CONABIO-UICN) y el polígono del proyecto. Escala 1:50,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

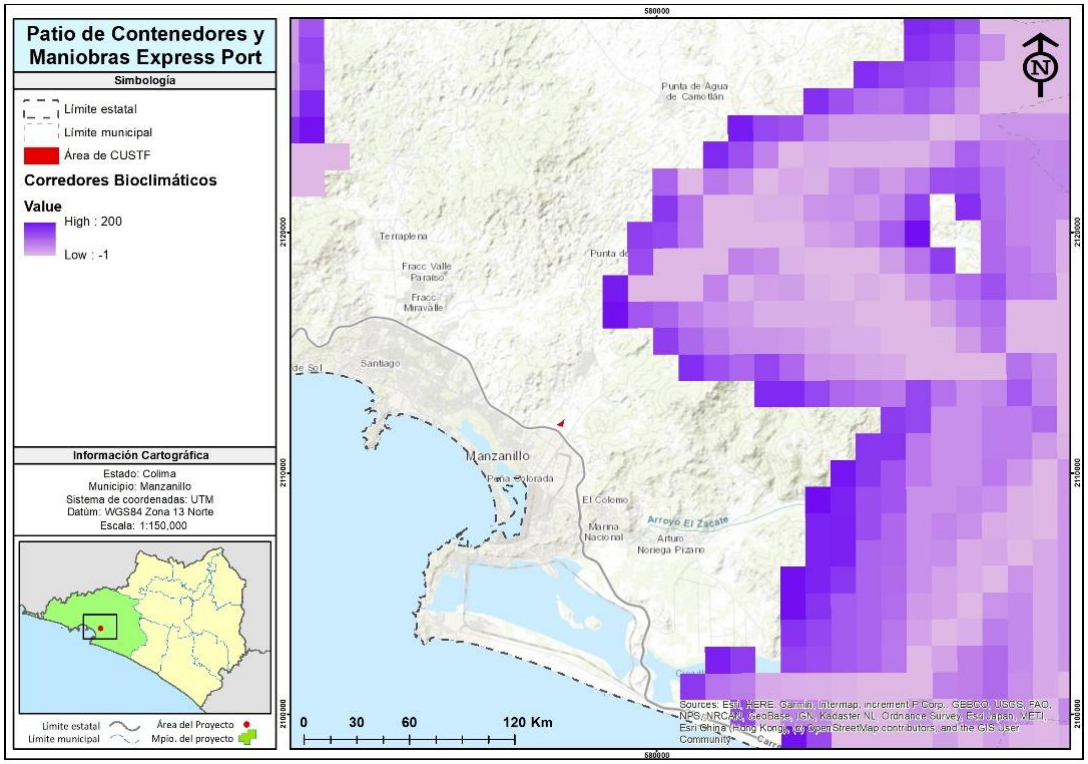


Figura 16. No incidencia del proyecto en corredores bioclimáticos

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de corredores bioclimáticos (CONABIO/CONANP) y el polígono del proyecto. Escala 1:150,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

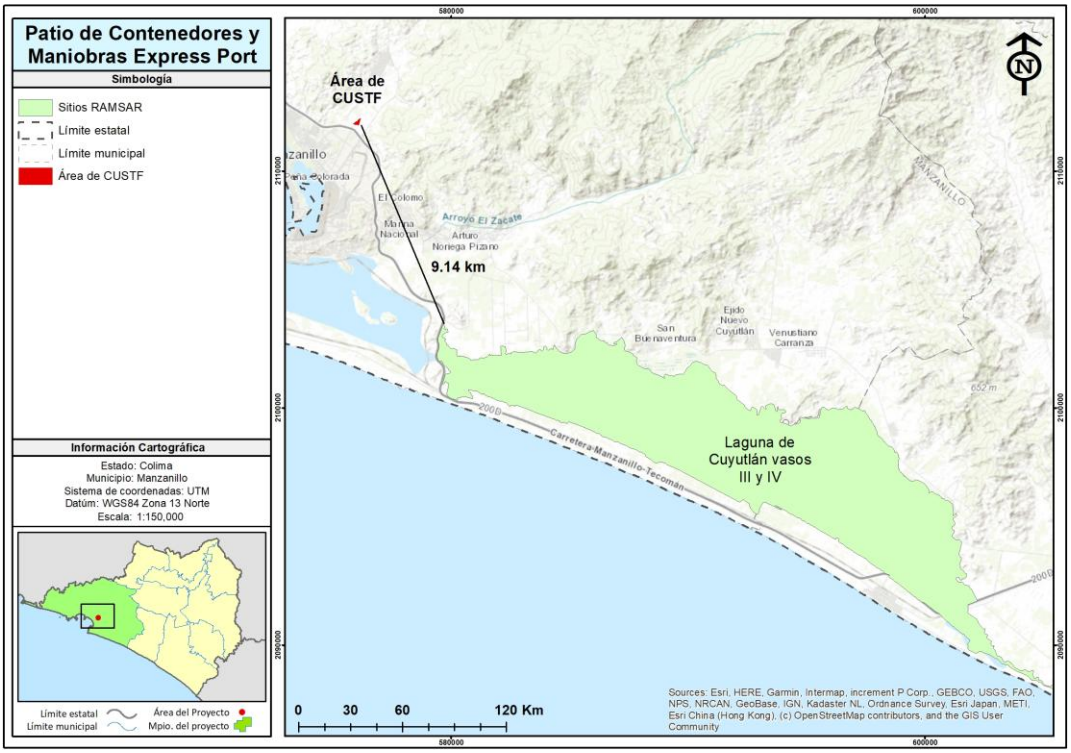


Figura 17. No incidencia del proyecto en sitios Ramsar

Fuente: elaboración propia (ArcGIS) con base en la capa oficial de sitios Ramsar (Convención Ramsar/CONANP) y el polígono del proyecto. Escala 1:150,000. Datum WGS84; proyección UTM Zona 13 Norte (EPSG:32613). Consulta de capas oficiales: 09-07-2026. El polígono rotulado «Área de CUSTF» es el Área del Proyecto (AP), de 3.4097 ha.

Tabla 10. Semáforo de áreas naturales protegidas y de importancia ecológica

N.º	Área de importancia ecológica	Institución	¿Incide?	Sup. incidencia (ha)	Distancia / dirección a la más cercana	Vinculación
1	ANP federales	CONANP/SEMARNAT	No	—	14.7 km NE (Canoas)	Constancia (II.4.1)
2	ANP estatales/municipales/privadas	Gob. estatales/CONANP	No	—	60.24 km E (La Campana)	Constancia (II.4.1)
3	AICA	CONABIO/CIPAMEX	No	—	5.19 km SE	Constancia (II.4.3)
4	Región Terrestre Prioritaria (RTP)	CONABIO	No	—	24.65 km NE	Constancia (II.4.3)
5	Región Hidrológica Prioritaria (RHP)	CONABIO	**Sí**	3.4097	— (Ríos Purificación-Armería)	Desarrollada (II.4.2)
6	Región Marina Prioritaria (RMP)	CONABIO	No	—	1.52 km SE	Constancia (II.4.3)
7	Sitio Prioritario conservación biodiversidad (terrestre)	CONABIO	**Sí**	3.4097	— (clave 6593, prioridad media)	Desarrollada (II.4.2)
8	Sitios de Atención Prioritaria para la Conservación	CONABIO/CONAFOR	No	—	2.18 km SE	Constancia (II.4.3)
9	Sitios Prioritarios para la Restauración	CONABIO/CONAFOR	**Sí**	3.4097	— (prioridad media)	Desarrollada (II.4.2)
10	Sitios de atención para restauración del paisaje forestal	CONAFOR	No	—	0.44 km E	Constancia (II.4.3)
11	Corredores bioclimáticos	CONABIO/CONANP	No	—	Fuera de clase	Constancia (II.4.3)
12	Sitios Ramsar	Convención Ramsar/CONANP	No	—	9.14 km SE (Laguna de Cuyutlán III y IV)	Constancia (II.4.3); cierra Art. 60 TER LGVS

Fuente: elaboración propia con base en el reporte de áreas de importancia ecológica del proyecto (semáforo de 12 capas: incidencia y distancia), las capas oficiales de CONANP-SIMEC y Geoportal CONABIO (consulta 09-07-2026) y las fichas de la CONABIO para las áreas incidentes. Las áreas de la CONABIO son informativas (referentes técnicos de planeación), no restrictivas.

II.5 NORMAS OFICIALES MEXICANAS APLICABLES

La aplicabilidad de cada Norma Oficial Mexicana se verificó una a una conforme a la naturaleza real de las obras y actividades del proyecto —no por el título de la norma ni por inercia sectorial—: una NOM se incluye solo cuando su supuesto y ámbito de aplicación se actualizan para las obras y actividades reales del proyecto, y se cita con la versión vigente en el DOF. Para cada NOM aplicable se indica su objeto, el componente o actividad del proyecto que la actualiza y la forma de cumplimiento, anclada en las medidas y cifras de los

Capítulos I y IV. Solo se enlistan las NOM cuyo supuesto se actualiza para las obras y actividades reales del proyecto; las de ámbito ajeno no se incluyen.

Tabla 11. Normas Oficiales Mexicanas — criba de aplicabilidad y forma de cumplimiento

NOM (versión vigente)	Objeto	Aplicabilidad al proyecto	Forma de cumplimiento
NOM-059-SEMARNAT-2010	Especies nativas de flora y fauna en riesgo (Lista, Anexo Normativo III)	**Aplica.** En el Área del Proyecto se registran especies en riesgo: en flora *Cedrela odorata* (Pr); en fauna *Accipiter striatus*, *Aspidoscelis lineattissimus* y *Eupsittula canicularis* (Pr) y *Ctenosaura pectinata* (A).	Programa de rescate y reubicación con atención prioritaria a las especies en riesgo (trasplante de 1,543 individuos de flora y manejo de 51 especies de fauna), previo cotejo del inventario contra el Anexo Normativo III vigente (Cap. IV).
NOM-052-SEMARNAT-2005	Características y clasificación de los residuos peligrosos	**Aplica.** El proyecto genera aceites lubricantes gastados (10,756.6 L) de la maquinaria de obra.	Identificación, clasificación, envasado y almacenamiento temporal en contención de los 10,756.6 L de aceites lubricantes gastados, con manejo y disposición por prestador de servicios autorizado (Cap. IV).
NOM-161-SEMARNAT-2011	Residuos de manejo especial sujetos a plan de manejo	**Aplica.** Suelo de despalme (14,554.8 t), residuos de construcción y material vegetal del desmonte (77.24 m³).	Plan de manejo de los residuos de manejo especial —suelo de despalme (14,554.8 t) y material vegetal del desmonte (77.24 m³, triturado como mulch e incorporado al suelo, con un incremento de la recarga de 965 $m^3 \cdot año^{-1}$)—, privilegiando su valorización (Cap. IV).
NOM-083-SEMARNAT-2003	Disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial	**Aplica.** Residuos sólidos urbanos (6,240 kg en construcción; 4,562.5 kg/año en operación).	Separación y disposición en el sitio municipal autorizado que cumple la NOM-083 (Cap. IV).
NOM-045-SEMARNAT-2017	Opacidad del humo de vehículos a diésel	**Aplica.** Maquinaria pesada y camiones a diésel del desmonte, despalme y acarreo.	Verificación vehicular vigente y programa de mantenimiento preventivo (afinación y calibración) de la maquinaria pesada y los camiones a diésel del desmonte, despalme y acarreo, para mantener la opacidad del humo dentro de los límites de la norma.
NOM-041-SEMARNAT-2015	Emisiones de gases de vehículos a gasolina	**Aplica.** Vehículos ligeros a gasolina de apoyo a la obra.	Verificación vehicular vigente y mantenimiento preventivo de los vehículos ligeros a gasolina de apoyo a la obra,

NOM (versión vigente)	Objeto	Aplicabilidad al proyecto	Forma de cumplimiento
			para mantener sus emisiones dentro de los límites de la norma.
NOM-080-SEMARNAT-1994	Emisión de ruido de vehículos automotores **en circulación**	**Aplica.** Ruido de la maquinaria y los vehículos de obra en circulación, por su relación con la perturbación a la fauna.	Mantenimiento de escapes y silenciadores, control de horarios de operación, cortina de arbolado perimetral como pantalla y ahuyentamiento previo de fauna (51 especies) para minimizar la perturbación (Cap. IV).
NOM-081-SEMARNAT-1994	Límites máximos permisibles de emisión de ruido de las **fuentes fijas**	**Aplica (operación).** El patio de contenedores en operación constituye una **fuente fija** de ruido en su colindancia (maniobras de carga, montacargas y tránsito interno de la terminal), supuesto distinto del ruido de vehículos en circulación de la NOM-080.	Control del nivel de ruido en la colindancia dentro de los límites de la norma para zona industrial (68 dB(A) de día / 65 dB(A) de noche): cortina de arbolado perimetral como pantalla acústica, control de horarios de maniobra y mantenimiento preventivo de los equipos, con monitoreo perimetral de ruido (P-2, Cap. IV).
NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012	Límites de hidrocarburos en suelos y su remediación	**Aplica solo en la construcción.** Prevención de derrames de combustible/aceite de la maquinaria sobre suelo.	Contención en las áreas de manejo de combustibles y atención inmediata de derrames; en operación la superficie es pavimento (sin suelo expuesto), por lo que el supuesto no se actualiza (Cap. IV).
NOM-002-SEMARNAT-1996	Contaminantes en descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano	**Aplica condicionadamente (operación).** Las aguas sanitarias domésticas se conducen a la red municipal de CAPDAM.	Se acredita con el convenio de servicio con CAPDAM (aguas sanitarias domésticas); el agua del lavado de contenedores se trata previamente en un biodigestor antes de su conducción a la red municipal.

Fuente: elaboración propia; la aplicabilidad se verificó una a una conforme a las obras y actividades del proyecto (no por el título de la norma), y la forma de cumplimiento se ancla en los Caps. I y IV. Vigencia verificada en el DOF/Catálogo de Normas (consulta 09-07-2026).

Nota de vigencia. Todas las Normas Oficiales Mexicanas citadas corresponden a su versión vigente en el DOF/Catálogo Nacional de Normas a la fecha de consulta (09-07-2026); la norma de especies en riesgo vigente y aplicable es la **NOM-059-SEMARNAT-2010**.

II.6 OTROS INSTRUMENTOS RELEVANTES

Además de las leyes, ordenamientos y normas ya analizados, el proyecto se vincula con la **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**, con los **tratados internacionales** en materia ambiental de los que México es parte y con los **instrumentos de planeación del desarrollo**. Con ellos la vinculación no es de cumplimiento de un criterio puntual, sino de **congruencia con principios, ejes y objetivos**; por eso el análisis no se limita a constatar que el proyecto "no los contradice", sino que demuestra —con las medidas y cifras de los Capítulos I y IV— de qué manera el proyecto **materializa** esos principios.

II.6.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Constitución encabeza la jerarquía normativa (artículo 133) y de ella derivan los principios que las leyes ambientales desarrollan. El proyecto se inscribe en cuatro de sus disposiciones nucleares.

El **artículo 4º, párrafo quinto** reconoce el derecho de toda persona a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, ordena al Estado garantizarlo y advierte que el daño y deterioro ambiental genera responsabilidad para quien lo provoca. El proyecto concilia el aprovechamiento del predio con ese derecho porque **internaliza desde el diseño** la reparación del efecto que ocasiona: compensa la cobertura removida con 3.55 ha de reforestación —superficie mayor a la del cambio de uso—, rescata y reubica la biodiversidad (1,543 individuos de flora y 51 especies de fauna) y conserva la función hídrica del sitio (infiltración de 29,660 $m^3 \cdot año^{-1}$ y recarga de 12,199 $m^3 \cdot año^{-1}$), a la vez que evita 508.08 $t \cdot año^{-1}$ de erosión mediante medidas in situ y ex situ. La responsabilidad por el daño que el precepto prevé no se difiere: se asume por anticipado mediante la cartera de medidas de prevención, mitigación y compensación, de modo que el proyecto resulta compatible con —y aun instrumento de— el derecho a un medio ambiente sano.

El **artículo 25** confía al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que sea integral y sustentable, cuidando el medio ambiente. El proyecto es precisamente la conciliación que el precepto persigue: una inversión productiva de 27 millones de pesos que genera empleo (40 en construcción y 25 en operación) y derrama económica regional (20 millones de pesos) **bajo condiciones de sustentabilidad**, al someterse a la evaluación de impacto ambiental y ejecutar la cartera de prevención, mitigación y compensación —rescate de flora (1,543 individuos) y fauna (51 especies), reforestación de 3.55 ha y control de emisiones y ruido de la obra— que compensan sus efectos. Desarrollo y conservación no se plantean como términos opuestos, sino integrados, como manda la disposición.

El **artículo 27, párrafo tercero** faculta a la Nación para imponer a la propiedad las modalidades que dicte el interés público y para regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, a fin de cuidar de su conservación y de preservar y restaurar el equilibrio ecológico; reserva además a la Nación el dominio de las aguas. El cambio de uso de suelo forestal es una de esas **modalidades de interés público**: el proyecto se sujeta a la autorización de CUSTF, compensa la cobertura afectada y contribuye a restaurar el equilibrio mediante la reforestación (3.55 ha ex situ y 0.79 ha in situ; 5,568 plantas de 10 especies de Selva Baja Caducifolia), sin ocupar aguas nacionales ni zona federal (0 ha de incidencia). La función social de la propiedad que el artículo consagra queda así satisfecha.

El **artículo 133** consagra la supremacía constitucional e incorpora los tratados internacionales, celebrados conforme a la Constitución, a la Ley Suprema de la Unión. De él deriva el orden de prelación con que se estructura este capítulo: Constitución, tratados, leyes federales, normas oficiales y, en el plano territorial, ordenamientos y planes.

II.6.2 Tratados internacionales

México es parte de diversos instrumentos internacionales en materia ambiental cuyo objeto se actualiza para el proyecto; cada uno se analiza por separado, confrontando su mandato con las medidas del proyecto.

El **Convenio sobre la Diversidad Biológica** (CDB; ratificado por México en 1993) persigue la conservación de la diversidad biológica, el uso sustentable de sus componentes y, en su artículo 14, la evaluación del impacto ambiental de las actividades que puedan afectarla. La Manifestación de Impacto Ambiental es, en sí misma, el instrumento con que el proyecto atiende ese artículo 14: caracteriza la flora y la fauna del sitio, previene y minimiza los efectos adversos, ejecuta el programa de rescate y reubicación (1,543 individuos de flora y 51 especies de fauna) y compensa la cobertura afectada con 3.55 ha reforestadas, realizando así los objetivos de conservación y uso sustentable del Convenio.

La **Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres** (CITES; adhesión de México en 1991) regula el comercio internacional de las especies incluidas en sus Apéndices. El proyecto no realiza comercio, exportación ni aprovechamiento comercial de vida silvestre, por lo que el supuesto sancionador de la Convención no se actualiza; sin embargo, varias especies presentes en el Área del Proyecto figuran en el Apéndice II (*Cedrela odorata*, *Swietenia humilis*, *Tabebuia rosea*, *Roseodendron donnell-smithii* y *Ctenosaura pectinata*, entre otras) y el proyecto, lejos de afectarlas, les da atención prioritaria en el programa de rescate. La vinculación es, por tanto, de congruencia con el objeto protector de CITES.

La **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático** (CMNUCC; ratificada en 1993) y el **Acuerdo de París** (ratificado en 2016) comprometen a México a mitigar sus emisiones de gases de efecto invernadero y a conservar los sumideros de carbono. El proyecto cuantifica su huella —1,598.18 tCO_2-e en la construcción y 121.09 tCO_2-e·año^{-1} en la operación—, compensa la pérdida de carbono por la remoción de vegetación (234.01 tCO_2-e) mediante la reforestación, y con las áreas verdes (1.0074 ha) y la cortina de arbolado perimetral restituye superficie sumidero, en congruencia con el compromiso climático nacional.

El **Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales de América Latina y el Caribe** (Acuerdo de Escazú; en vigor para México desde 2021) garantiza los derechos de acceso a la información y de participación pública en las decisiones ambientales. El propio procedimiento de evaluación de la MIA —con su publicidad en la Gaceta Ecológica y la consulta pública previstas en el artículo 34 de la LGEEPA— realiza esos derechos, por lo que el proyecto es congruente con el Acuerdo.

II.6.3 Instrumentos de planeación del desarrollo

El proyecto es congruente con los tres órdenes de la planeación del desarrollo vigente —federal, estatal y municipal—, cuya orientación converge en el fortalecimiento de la infraestructura logístico-portuaria bajo criterios de sustentabilidad.

El **Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030** (publicado en el DOF el 15 de abril de 2025) traza los ejes rectores de la política nacional. El proyecto se alinea con el eje de **Desarrollo Sustentable**, al incorporar la prevención, mitigación y compensación de sus efectos ambientales —rescate de biodiversidad (1,543 flora / 51 fauna) y reforestación de 3.55 ha— y la compensación de su huella de carbono (234.01 tCO_2-e), y con el eje de **Economía Moral y Trabajo**, al ser infraestructura logística que genera empleo (40 en construcción, 25 en operación) y derrama económica (20 millones de pesos) en una región cuya vocación es el comercio exterior.

El **Plan Estatal de Desarrollo de Colima 2021-2027** organiza la política estatal. El proyecto es congruente con el eje **Economía para el Bienestar** —como inversión productiva de 27 millones de pesos que fortalece la vocación logístico-portuaria del estado y el empleo formal— y con el eje **Colima, Nuestro Hogar**, de territorio sostenible y protección ambiental, al que responde con sus medidas de conservación, rescate (1,543 flora / 51 fauna) y compensación (3.55 ha reforestadas).

El **Plan Municipal de Desarrollo de Manzanillo 2024-2027** (aprobado por el Cabildo en enero de 2025) ofrece la congruencia más directa. El Plan sitúa el **desarrollo portuario** como eje económico del municipio y prioriza la **modernización de la infraestructura ante el crecimiento del Puerto de Manzanillo** (eje *Economía para el Bienestar*), a la vez que promueve la protección del medio ambiente y una economía sustentable (eje *Manzanillo, Nuestro Hogar*). El proyecto —un patio regulador de contenedores que ordena y descongestiona la logística de carga del principal puerto del Pacífico mexicano— materializa directamente ese objetivo de modernización e incorpora las medidas ambientales que el propio Plan promueve —1.0074 ha de áreas verdes internas, cortina de arbolado perimetral y un Programa de Vigilancia Ambiental de al menos 7 años—, por lo que su congruencia con la planeación municipal es plena.

En el plano reglamentario, el proyecto se sujeta además a la reglamentación municipal de Manzanillo para la obtención de sus licencias y autorizaciones locales: el **Reglamento de Ecología para el Municipio de Manzanillo** (Periódico Oficial del Estado de Colima, 11 de enero de 2003, con reformas posteriores), que rige el control ambiental y las licencias de competencia municipal, y el **Reglamento de Edificaciones para el Municipio de Manzanillo** (Periódico Oficial, 21 de marzo de 2020, que abrogó el Reglamento de Construcciones de 2000), que rige la licencia de construcción y las especificaciones de la obra. El proyecto tramitará ante el Ayuntamiento las licencias que ambos ordenamientos exigen.

Las Tablas 12 y 13 sintetizan esta vinculación.

Tabla 12. Síntesis de la vinculación con la CPEUM y los tratados internacionales

Instrumento	Disposición / objeto	Congruencia del proyecto
CPEUM art. 4º	Derecho a un medio ambiente sano y al agua	Medidas de mitigación, compensación (3.55 ha) y rescate (1,543 flora / 51 fauna); función hídrica conservada (29,660 / 12,199 $m^3 \cdot año^{-1}$).
CPEUM art. 25	Rectoría del desarrollo sustentable	Aprovechamiento conciliado con conservación; inversión 27 MDP, empleo 40/25 y derrama de 20 MDP.
CPEUM art. 27	Conservación de recursos naturales; aguas nacionales	Compensación de la cobertura removida; sin ocupación de aguas ni zona federal (0 ha).
CPEUM art. 133	Supremacía y jerarquía normativa	Estructura el orden de prelación del capítulo.
CDB (1993)	Conservación y uso sustentable de la biodiversidad; EIA (art. 14)	La MIA como instrumento del art. 14; caracterización, rescate (1,543/51) y compensación (3.55 ha). **Congruente.**
CITES (1991)	Comercio internacional de especies amenazadas	Sin comercio de vida silvestre; las especies del AP en el Apéndice II se atienden en el rescate. **Congruente.**
CMNUCC / Acuerdo de París (1993/2016)	Mitigación de GEI y sumideros de carbono	Pérdida de 234.01 tCO_2-e compensada; emisiones cuantificadas (1,598.18 / 121.09 tCO_2-e). **Congruente.**
Acuerdo de Escazú (2021)	Acceso a la información y participación ambiental	Consulta pública de la MIA (art. 34 LGEEPA). **Congruente.**

Tabla 13. Síntesis de la vinculación con los instrumentos de planeación vigentes

Instrumento (vigente)	Eje / objetivo relevante	Congruencia del proyecto
PND 2025-2030 (DOF 15-04-2025)	Desarrollo Sustentable; Economía Moral y Trabajo	Infraestructura logística con prevención, rescate (1,543 flora / 51 fauna) y compensación de carbono (234.01 tCO_2-e); empleo 40/25 y derrama 20 MDP.
PED Colima 2021-2027	Economía para el Bienestar; Colima Nuestro Hogar	Inversión productiva de 27 MDP que fortalece la vocación logístico-portuaria; medidas de conservación (3.55 ha).
PMD Manzanillo 2024-2027 (aprobado enero 2025)	Economía para el Bienestar (desarrollo portuario, modernización de infraestructura); Manzanillo Nuestro Hogar (medio ambiente)	El patio regulador de contenedores materializa el objetivo de modernización logístico-portuaria del municipio, con medidas ambientales. **Congruencia directa.**
Reglamento de Ecología (POE 11-01-2003) y Reglamento de Edificaciones (POE 21-03-2020) de Manzanillo	Regulación ambiental y de construcción de competencia municipal	El proyecto tramitará ante el Ayuntamiento las licencias de ecología y de construcción que ambos reglamentos exigen. **Congruente.**

Fuente: elaboración propia con base en la ficha de vinculación jurídica de capa A (CPEUM y tratados), el PND 2025-2030 (DOF 15-04-2025), el PED Colima 2021-2027, el PMD Manzanillo 2024-2027 (Cabildo, enero de 2025) y la reglamentación municipal; datos del proyecto de los Caps. I y IV. Vigencia de los planes verificada en fuentes oficiales (consulta 09-07-2026).

II.7 LOCALIDADES CON POBLACIÓN INDÍGENA

El **artículo 2º, apartado B, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos** y el **Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo sobre Pueblos Indígenas y Tribales** (ratificado por México en 1990, en vigor desde 1991) reconocen a los pueblos y comunidades indígenas el derecho a ser consultados de manera previa, libre e informada cuando se prevean medidas susceptibles de afectarles directamente y, señaladamente, cuando se afecten sus tierras, territorios y recursos naturales (artículos 6 y 15 del Convenio). Determinar si ese supuesto se actualiza exige responder dos preguntas distintas: si el proyecto incide en **tierras o territorios** de pueblos o comunidades indígenas, y si existe **población indígena residente** en las localidades de su entorno. Ambas se resuelven con las fuentes del análisis cartográfico y socioeconómico del proyecto, en las escalas del Área del Proyecto (AP) y del Área de Influencia (AI), con el contexto de la Región de Estudio (RE).

Territorios. El inventario socioterritorial de la Región de Estudio (RE, 59.92 km², EPSG:32613, estado de Colima; consulta del 09 de julio de 2026) **no identifica ningún territorio de pueblos indígenas** (n = 0). Al estar contenidas el Área de Influencia y el Área del Proyecto dentro de la Región de Estudio, la ausencia de territorios indígenas queda verificada también en esas dos escalas. El Área del Proyecto, además, **no contiene localidades ni áreas geoestadísticas básicas**: la huella de la obra se emplaza sobre terreno sin asentamientos humanos.

Población. El padrón de población indígena residente por localidad del Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI, pciaf 2020) arroja, en el **Área de Influencia**, **cero hogares indígenas registrados**: de sus siete unidades, seis carecen de registro en el padrón —ausencia medida, no dato faltante— y la restante es una fracción de área geoestadística básica de la localidad de Manzanillo (39.93 ha, 35 habitantes) cuyo padrón se levanta a escala de localidad y no admite asignar hogares a la fracción. En la **Región de Estudio** —163,080 habitantes en tres localidades— el padrón sí registra presencia: **1,223 hogares indígenas**, concentrados en la localidad urbana de Manzanillo (1,221 hogares, con 21 pueblos representados: wixárika,

purépecha, náayari, binnizá-zapoteco, na savi-mixteco y maya, entre otros) y dos hogares del pueblo binnizá-zapoteco en Jalipa; Francisco Villa no tiene registro. Se trata de **población indígena residente y dispersa**, propia de una ciudad-puerto receptora de migración interna, y no de un pueblo o comunidad indígena asentada con tierras o territorio propios en el área.

Conclusión. En las dos escalas que la vinculación exige —Área del Proyecto y Área de Influencia— no se registran territorios de pueblos indígenas ni hogares indígenas, y el proyecto no afecta tierras, territorios ni recursos naturales de pueblo o comunidad indígena alguna. En consecuencia, **no se actualiza el supuesto de consulta previa** del artículo 2º, apartado B, constitucional ni del Convenio 169 de la OIT. La determinación de no incidencia del análisis cartográfico es fuente suficiente para este efecto, sin que quede pendiente constancia adicional. La caracterización de la población indígena residente en la Región de Estudio se desarrolla en el capítulo de medio socioeconómico.

Tabla 14. Presencia indígena por escala de análisis

Escala	Territorios de pueblos indígenas	Hogares indígenas registrados (INPI, 2020)	Pueblos representados
Área del Proyecto (AP)	Ninguno	Sin localidades ni áreas geoestadísticas básicas en el AP: la huella no contiene asentamientos humanos	—
Área de Influencia (AI)	Ninguno	**0** (7 unidades: 6 sin registro en el padrón; 1 fracción de AGEB de Manzanillo, de 39.93 ha y 35 habitantes, con padrón a escala de localidad)	—
Región de Estudio (RE, 59.92 km²)	Ninguno (n = 0)	**1,223** — Manzanillo 1,221 · Jalipa 2 · Francisco Villa sin registro	21 (wixárika, purépecha, náayari, binnizá-zapoteco, na savi-mixteco y maya, entre otros)

Tabla 15. Vinculación con el marco de derechos de los pueblos y comunidades indígenas

Instrumento (vigente)	Disposición / obligación	Determinación para el proyecto
CPEUM art. 2º, apartado B	Deber de consultar a los pueblos y comunidades indígenas en las medidas que puedan afectarles	Sin territorios de pueblos indígenas ni hogares indígenas registrados en el Área del Proyecto y el Área de Influencia (n = 0): el supuesto de consulta no se actualiza.
Convenio 169 OIT, artículos 6 y 15 (en vigor desde 1991)	Consulta previa, libre e informada ante medidas que afecten directamente a los pueblos indígenas o a sus tierras, territorios y recursos	El proyecto no afecta tierras, territorios ni recursos de pueblo o comunidad indígena; los 1,223 hogares indígenas del padrón corresponden a población residente dispersa en la localidad urbana de Manzanillo y en Jalipa, dentro de la Región de Estudio. La obligación de consulta previa no se activa.

Fuente: elaboración propia con base en el inventario socioterritorial de la Región de Estudio (`RE.shp`, 59.92 km², EPSG:32613) y en la caracterización socioeconómica del proyecto —INPI, padrón de población indígena residente por localidad (pciaf 2020); INEGI, Censo 2020 (ITER y RESAGEBURB)—; consulta del 09-07-2026. En el padrón del INPI, la ausencia de registro de una localidad es dato medido (cero hogares), no dato faltante.

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

MODALIDAD PARTICULAR

CAPÍTULO III.

DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA

Patio de Contenedores y Maniobra Express Port

Contenido

Contenido 2
Índice de tablas 4
Índice de figuras 6
III.1 DELIMITACIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA (RE) 15
III.1.1 Criterios y métodos utilizados para la delimitación 15
III.1.2 Superficie y representación gráfica de la Región Ecológica 18
III.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES DE LA REGIÓN ECOLÓGICA 19
III.2.1 Componente abiótico 19
III.2.2 Componente biótico 52
III.2.3 Componente socioeconómico 59
III.3 METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE FLORA Y FAUNA 60
III.3.1 Resumen y metodología de los muestreos 60
III.3.2 Análisis estadístico de representatividad 63
III.4 ESPECIES ENDÉMICAS Y EN CATEGORÍA DE RIESGO (NOM-059-SEMARNAT-2010) 71
III.4.1 Individuos y coordenadas de las especies en riesgo del Área del Proyecto 73
III.5 ÍNDICES DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA 75
III.5.1 Índices empleados 75
III.5.2 Diversidad alfa por escala 75
III.5.3 Diversidad alfa por temporada 79
III.5.4 Diversidad beta y gamma 80
III.5.1 Índices empleados 81
III.5.2 Área del Proyecto 82
III.5.2.1 Flora — estrato arbóreo y regeneración (hectárea-tipo) 82
III.5.2.2 Flora — estrato arbustivo 85
III.5.2.3 Flora — estrato de otras formas de vida 88
III.5.2.4 Flora — estrato herbáceo 90
III.5.2.5 Flora — análisis integrado del Área del Proyecto 94
III.5.2.6 Fauna — Aves 96
III.5.2.7 Fauna — Mamíferos 100
III.5.2.8 Fauna — Reptiles 103
III.5.2.9 Fauna — Anfibios 107
III.5.2.10 Fauna — análisis integrado del Área del Proyecto 111
III.5.3 Área de Influencia 111
III.5.3.1 Flora — estrato arbóreo y regeneración (hectárea-tipo) 111
III.5.3.2 Flora — estrato arbustivo 115
III.5.3.3 Flora — estrato de otras formas de vida 118
III.5.3.4 Flora — estrato herbáceo 120
III.5.3.5 Flora — análisis integrado del Área de Influencia 123
III.5.3.6 Fauna — Aves 124
III.5.3.7 Fauna — Mamíferos 128
III.5.3.8 Fauna — Reptiles 131
III.5.3.9 Fauna — Anfibios 134
III.5.3.10 Fauna — análisis integrado del Área de Influencia 137
III.5.4 Región Ecológica 138
III.5.4.1 Flora — estrato arbóreo y regeneración (hectárea-tipo) 138
III.5.4.2 Flora — estrato arbustivo 144
III.5.4.3 Flora — estrato de otras formas de vida 147

III.5.4.4 Flora — estrato herbáceo 150
III.5.4.5 Flora — análisis integrado de la Región Ecológica 154
III.5.4.6 Fauna — Aves 156
III.5.4.7 Fauna — Mamíferos 160
III.5.4.8 Fauna — Reptiles 164
III.5.4.9 Fauna — Anfibios 168
III.5.4.10 Fauna — análisis integrado de la Región Ecológica 172
III.5.5 Comparativo entre escalas 173
III.5.5.1 Esfuerzo de muestreo por escala y temporada 173
FLORA 173
III.5.5.2 Flora — riqueza por estrato en las tres escalas 173
III.5.5.3 Flora — diversidad alfa normalizada por esfuerzo 174
III.5.5.4 Flora — diversidad alfa por temporada 175
III.5.5.5 Flora — diversidad beta entre escalas 176
III.5.5.6 Flora — diversidad beta entre estratos: el dosel y su regeneración 177
III.5.5.7 Flora — composición: especies exclusivas y compartidas 178
III.5.5.8 Flora — partición α–β–γ del sistema 179
III.5.5.9 Flora — gradiente de condición AP → AI → RE 180
FAUNA 181
III.5.5.10 Fauna — riqueza por grupo en las tres escalas 181
III.5.5.11 Fauna — diversidad alfa normalizada por esfuerzo 182
III.5.5.12 Fauna — diversidad alfa por temporada 183
III.5.5.13 Fauna — diversidad beta entre escalas 184
III.5.5.14 Fauna — diversidad beta entre grupos 185
III.5.5.15 Fauna — composición: especies exclusivas y compartidas 185
III.5.5.16 Fauna — partición α–β–γ del sistema 186
III.5.5.17 Fauna — gradiente de condición AP → AI → RE 187
III.5.5.18 Síntesis: temporada crítica y diagnóstico del gradiente 188
III.6 Análisis de los componentes ambientales al interior de la Región Ecológica 189
III.6.1 Relieve, suelo y posición del Área del Proyecto 189
III.6.2 Vegetación y matriz de uso de suelo 189
III.6.3 Estructura vertical de la comunidad y escala 190
III.7 Diagnóstico ambiental 191
III.8 Problemáticas ambientales en la Región Ecológica 192
III.8.1 Degradación y erosión del suelo 192
III.8.2 Riesgo de deforestación 192
III.8.3 Presión de la matriz urbana e invasión biológica 193
III.9 Reporte general de incidencias del Proyecto y su Área de Influencia 194
III.9.1 Incidencia sobre áreas de importancia ecológica 194
III.9.2 Incidencia hidrológica 195
III.9.3 Cierre del capítulo 195

Índice de tablas

Tabla 1. Criterios y métodos utilizados para la delimitación de la Región Ecológica. 15
Tabla 2. Parámetros morfométricos de la Región Ecológica. 16
Tabla 3. Jerarquía de la red de drenaje de la Región Ecológica (orden de Strahler). 17
Tabla 4. Razones de bifurcación por pares de órdenes consecutivos. 17
Tabla 5. Superficies de las tres escalas de análisis. 18
Tabla 6. Unidad climática de la Región Ecológica. 20
Tabla 7. Estaciones climatológicas de influencia (Normales 1991–2020). 21
Tabla 8. Temperatura media mensual y anual (°C), Normales 1991–2020. 21
Tabla 9. Precipitación media mensual y anual (mm), Normales 1991–2020. 22
Tabla 10. Período de sequía según el criterio de Gaussen (P < 2T), Normales 1991–2020. 24
Tabla 11. Índices climáticos derivados por estación (Normales 1991–2020). 27
Tabla 12. Grado de riesgo por fenómeno natural en la Región Ecológica. 28
Tabla 13. Unidades geológicas de la Región Ecológica. 32
Tabla 14. Unidades geológicas en las tres escalas. 33
Tabla 15. Provincia y subprovincia fisiográfica de la Región Ecológica. 34
Tabla 16. Sistema de topoformas en las tres escalas. 35
Tabla 17. Parámetros de elevación por escala. 36
Tabla 18. Distribución de la pendiente por rangos (Carmona, 1985), en las tres escalas. 37
Tabla 19. Exposición del terreno en las tres escalas. 38
Tabla 20. Unidades de suelo en las tres escalas (grupos de referencia WRB). 40
Tabla 21. Erosión del suelo en las tres escalas (cartografía INEGI 1:250,000). 42
Tabla 22. Tipos de degradación del suelo (claves ASSOD) en las tres escalas. 43
Tabla 23. Grado y tasa de la degradación del suelo en las tres escalas. 43
Tabla 24. Jerarquía hidrológica de la Región Ecológica. 46
Tabla 25. Condición de los cauces de la Región Ecológica. 46
Tabla 26. Elementos hidrográficos nombrados dentro de la Región Ecológica. 47
Tabla 27. Cuerpos de agua de la Región Ecológica. 47
Tabla 28. Acuíferos de la Región Ecológica. 48
Tabla 29. Disponibilidad media anual de agua subterránea de los acuíferos de la Región Ecológica ($hm^3 \cdot año^{-1}$). 50
Tabla 30. Estaciones de monitoreo atmosférico de la Comisión Federal de Electricidad en Manzanillo. 51
Tabla 31. Contribución del municipio de Manzanillo a la emisión total del estado de Colima (inventario de emisiones, año base 2013). 51
Tabla 32. Uso de suelo y vegetación de la Región Ecológica (INEGI, Serie VII, 1:250,000). 52
Tabla 33. Uso de suelo y vegetación del Área de Influencia (capa propia, verificada en campo). 54
Tabla 34. Uso de suelo y vegetación del Área del Proyecto (capa propia, verificada en campo). 55
Tabla 35. Comparativo del uso de suelo y vegetación del Área del Proyecto: campo contra cartografía nacional. 55
Tabla 36. El mismo comparativo, a escala del Área de Influencia. 56
Tabla 37. Especies potenciales de la Región Ecológica por grupo (GBIF). 57
Tabla 38. Caracterización socioeconómica de la Región Ecológica y del Área de Influencia. 59
Tabla 39. Diseño del muestreo de flora: estratos, dimensiones y número de sitios por escala. 60
Tabla 40. Diseño del muestreo de fauna: transectos, recorridos y cámaras trampa. 61
Tabla 41. Coordenadas de los treinta sitios de muestreo de flora (UTM zona 13 Norte, WGS84). 62
Tabla 42. Coordenadas de los doce transectos de fauna (UTM zona 13 Norte, WGS84). 62
Tabla 43. Coordenadas de las cuatro cámaras trampa (UTM zona 13 Norte, WGS84). 63
Tabla 44. Estimadores de riqueza de flora por estrato y escala. 63

Tabla 45. Estimadores de riqueza de fauna por grupo y escala. 67
Tabla 46. Especies en categoría de riesgo, endémicas y listadas, con su presencia y número de individuos por escala. 71
Tabla 47. Flora en categoría de riesgo del Área del Proyecto: individuos, estratos y sitios de registro (UTM zona 13 Norte, WGS84). 73
Tabla 48. Fauna en categoría de riesgo del Área del Proyecto: eventos de avistamiento por temporada y recorrido. 73
Tabla 49. Índices de diversidad: expresión formal y autoría. 75
Tabla 50. Índices de diversidad alfa de flora, por estrato y escala, normalizados por esfuerzo. 75
Tabla 51. Índices de diversidad alfa de fauna, por grupo y escala, normalizados por esfuerzo. 76
Tabla 52. Comparativo del Área del Proyecto y la Región Ecológica por temporada. 79
Tabla 53. Diversidad beta entre la Región Ecológica y el Área del Proyecto, por estrato. 80
Tabla 54. Diversidad gamma: riqueza total por reino y escala. 81
Tabla 55. Índices de diversidad: expresión formal y autoría. 81
Tabla 56. Abundancia del estrato arbóreo y regeneración del Área del Proyecto (hectárea-tipo). 82
Tabla 57. Abundancia del estrato arbustivo del Área del Proyecto. 85
Tabla 58. Abundancia del estrato de otras formas de vida del Área del Proyecto (trepadoras, epífitas y suculentas). 88
Tabla 59. Abundancia del estrato herbáceo del Área del Proyecto. 90
Tabla 60. Comparativa de índices de diversidad entre los estratos de flora del Área del Proyecto. 94
Tabla 61. bis. Estimadores de riqueza de las ocho unidades del Área del Proyecto (curvas de acumulación). 95
Tabla 62. Índices de diversidad del grupo Aves en el Área del Proyecto. 96
Tabla 63. Índices de diversidad del grupo Mamíferos en el Área del Proyecto. 100
Tabla 64. Índices de diversidad del grupo Reptiles en el Área del Proyecto. 103
Tabla 65. Índices de diversidad del grupo Anfibios en el Área del Proyecto. 107
Tabla 66. Comparativa de índices de diversidad entre los grupos faunísticos del Área del Proyecto. 111
Tabla 67. Abundancia del estrato arbóreo y regeneración del Área de Influencia (hectárea-tipo). 112
Tabla 68. Abundancia del estrato arbustivo del Área de Influencia. 115
Tabla 69. Abundancia del estrato de otras formas de vida del Área de Influencia (trepadoras, epífitas y suculentas). 118
Tabla 70. Abundancia del estrato herbáceo del Área de Influencia. 120
Tabla 71. Comparativa de índices de diversidad entre los estratos de flora del Área de Influencia. 123
Tabla 72. Índices de diversidad del grupo Aves en el Área de Influencia. 124
Tabla 73. Índices de diversidad del grupo Mamíferos en el Área de Influencia. 128
Tabla 74. Índices de diversidad del grupo Reptiles en el Área de Influencia. 131
Tabla 75. Índices de diversidad del grupo Anfibios en el Área de Influencia. 134
Tabla 76. Comparativa de índices de diversidad entre los grupos faunísticos del Área de Influencia. 137
Tabla 77. Abundancia del estrato arbóreo y regeneración de la Región Ecológica (hectárea-tipo). 138
Tabla 78. Abundancia del estrato arbustivo de la Región Ecológica. 144
Tabla 79. Abundancia del estrato de otras formas de vida de la Región Ecológica (trepadoras, epífitas y suculentas). 147
Tabla 80. Abundancia del estrato herbáceo de la Región Ecológica. 150
Tabla 81. Comparativa de índices de diversidad entre los estratos de flora de la Región Ecológica. 154
Tabla 82. bis. Estimadores de riqueza de las ocho unidades de la Región Ecológica (curvas de acumulación). 156
Tabla 83. Índices de diversidad del grupo Aves en la Región Ecológica. 156
Tabla 84. Índices de diversidad del grupo Mamíferos en la Región Ecológica. 160
Tabla 85. Índices de diversidad del grupo Reptiles en la Región Ecológica. 164

Tabla 86. Registro del grupo Anfibios en la Región Ecológica. 168
Tabla 87. Comparativa de índices de diversidad entre los grupos faunísticos de la Región Ecológica. 172
Tabla 88. Esfuerzo de muestreo por escala y temporada. 173
Tabla 89. Riqueza de especies de flora por estrato, con su porcentaje sobre la riqueza total de cada escala. 173
Tabla 90. Índices de diversidad alfa de la flora por escala, normalizados por esfuerzo, con estimadores de incidencia. 174
Tabla 91. Flora: riqueza y abundancia por sitio, por escala y temporada. 175
Tabla 92. Diversidad beta de la flora entre pares de escalas, por estrato (contexto → foco). 176
Tabla 93. Diversidad beta entre el dosel adulto y su banco de regeneración, dentro de cada escala. 177
Tabla 94. Reparto de las 138 especies de flora del sistema entre las tres escalas. 178
Tabla 95. Partición aditiva de Lande de la diversidad de flora del sistema AP–AI–RE. 179
Tabla 96. Gradiente de los indicadores de condición de la flora entre las tres escalas. 180
Tabla 97. Riqueza de especies de fauna por grupo, con su porcentaje sobre la riqueza total de cada escala. 181
Tabla 98. Índices de diversidad alfa de la fauna por escala, normalizados por esfuerzo, con estimadores de incidencia. 182
Tabla 99. Fauna: riqueza y abundancia normalizada por recorrido, por escala y temporada. 183
Tabla 100. Diversidad beta de la fauna entre pares de escalas, por grupo (contexto → foco). 184
Tabla 101. Diversidad beta entre grupos faunísticos, dentro de cada escala. 185
Tabla 102. Reparto de las 93 especies de fauna del sistema entre las tres escalas. 185
Tabla 103. Partición aditiva de Lande de la diversidad de fauna del sistema AP–AI–RE. 186
Tabla 104. Gradiente de los indicadores de condición de la fauna entre las tres escalas. 187
Tabla 105. Gradiente morfométrico de las tres escalas anidadas. 189
Tabla 106. Composición del uso de suelo y la vegetación de la Región Ecológica (INEGI Serie VII, 1:250,000), agregada por condición. 189
Tabla 107. Cobertura de copa por estrato en las tres escalas, corregida por traslape. 190
Tabla 108. Indicadores cuantitativos de diagnóstico ambiental del Área del Proyecto. 191
Tabla 109. Índice de riesgo de deforestación de la Región Ecológica (INECC, 2013). 192
Tabla 110. Incidencia del Área del Proyecto sobre las áreas de importancia ecológica. 194

Índice de figuras

Figura 1. Curva hipsométrica de la Región Ecológica. La concavidad pronunciada y la integral hipsométrica de 0.179 identifican una cuenca en fase de senectud, con la mayor parte de su superficie en cotas bajas. 17
Figura 2. Plano georreferenciado de las tres escalas de análisis: Área del Proyecto, Área de Influencia y Región Ecológica, sobre la microcuenca Jalipa. 19
Figura 3. Distribución del tipo climático Aw0(w) en la Región Ecológica: una sola unidad climática cubre el 100 % de la superficie. 20
Figura 4. Marcha anual de la temperatura media mensual en las cinco estaciones de influencia. La oscilación térmica inferior a 5 °C en las estaciones costeras identifica un régimen isotermal. 22
Figura 5. Distribución mensual de la precipitación en las cinco estaciones de influencia. El periodo junio–octubre concentra entre el 87.4 % y el 92.1 % del total anual. 23
Figura 6. Diagrama ombrotérmico de Gaussen — estación 06018 Manzanillo (OBS), 3.4 m s. n. m. Siete meses secos y cinco húmedos. 24
Figura 7. Diagrama ombrotérmico de Gaussen — estación 06069 Punta de Agua (DGE), 80 m s. n. m. 25

Figura 8. Diagrama ombrotérmico de Gaussen — estación 06004 Camotlán de Miraflores, 376 m s. n. m. Máximo pluvial de 292.1 mm en septiembre, el más alto de las cuatro estaciones costeras, por su posición de barlovento. 25
Figura 9. Diagrama ombrotérmico de Gaussen — estación 06063 Chandiablo, 131 m s. n. m. El periodo seco más acentuado de todas, congruente con su condición de abrigo orográfico. 26
Figura 10. Diagrama ombrotérmico de Gaussen — estación 06070 San José de Lumber, 557 m s. n. m. Única estación con seis meses secos, en la transición hacia el clima serrano. 26
Figura 11. Índices de aridez de De Martonne y de Lang por estación. 28
Figura 12. Grado de riesgo por ciclones tropicales en la Región Ecológica. 29
Figura 13. Regionalización sísmica de la Región Ecológica. 30
Figura 14. Índice de vulnerabilidad a inundación en la Región Ecológica. 30
Figura 15. Peligro por tormentas eléctricas en la Región Ecológica. 31
Figura 16. Grado de riesgo por granizo en la Región Ecológica. 31
Figura 17. Grado de riesgo por sequía en la Región Ecológica. 32
Figura 18. Unidades geológicas de la Región Ecológica. 33
Figura 19. Subprovincia fisiográfica de la Región Ecológica. 35
Figura 20. Sistema de topoformas de la Región Ecológica. 36
Figura 21. Elevación de la Región Ecológica. 37
Figura 22. Distribución de la pendiente en la Región Ecológica. 38
Figura 23. Exposición del terreno en la Región Ecológica. 39
Figura 24. Unidades de suelo de la Región Ecológica. 40
Figura 25. Unidades de suelo del Área de Influencia. 41
Figura 26. Erosión del suelo en la Región Ecológica. 42
Figura 27. Degradación del suelo en la Región Ecológica. 44
Figura 28. Degradación del suelo en el Área de Influencia. 44
Figura 29. Degradación del suelo en el Área del Proyecto. 45
Figura 30. Subcuenca de la Región Ecológica. 46
Figura 31. Red hidrográfica de la Región Ecológica. 47
Figura 32. Cuerpos de agua de la Región Ecológica. 48
Figura 33. Acuíferos de la Región Ecológica. 49
Figura 34. Uso de suelo y vegetación de la Región Ecológica (INEGI, Serie VII). 53
Figura 35. Uso de suelo y vegetación de la Región Ecológica (carta USYVIA, 1:75,000), con 34 clases. 53
Figura 36. Uso de suelo y vegetación del Área de Influencia. 55
Figura 37. bis.** Especies potenciales de la Región Ecológica por grupo, con el subconjunto en categoría de riesgo. 58
Figura 38. Diseño de muestreo de flora y fauna sobre las tres escalas: 30 sitios de flora, 12 transectos de 100 m y 4 cámaras trampa. El esfuerzo se concentra en el Área del Proyecto, y los sitios de la Región Ecológica se distribuyen en tres núcleos —el norte serrano, el sector de Jalipa y el sur de la microcuenca— para cubrir su heterogeneidad. 61
Figura 39. Completitud del muestreo por estrato en el Área del Proyecto, contrastando el modelo de Clench con el estimador Chao 1. Los cuatro estratos superan el umbral del 75 % y el herbáceo alcanza el 91.3 %. 64
Figura 40. Curva de acumulación del estrato arbóreo del Área del Proyecto. La curva observada se superpone al ajuste de Clench y alcanza el valor de Chao 2 (16.0) en el sitio 14 de 15: el inventario arbóreo del predio está cerrado. 65
Figura 41. Curva de acumulación del estrato arbustivo del Área del Proyecto. Con solo cinco especies y 41 individuos, la curva se aplana desde el sitio 6, pero la asíntota de Clench permanece alejada: completitud del 76.3 %. 65

Figura 42. Curva de acumulación del estrato herbáceo del Área del Proyecto. Diecinueve especies sobre 1,070 individuos; la curva alcanza la asíntota y la completitud es del 91.3 %, la más alta del predio. 66
Figura 43. Curva de acumulación del estrato de otras formas de vida —trepadoras, epífitas y suculentas— del Área del Proyecto. Seis especies, 93 individuos, completitud del 84.6 %. 67
Figura 44. Curva de acumulación de aves en el Área del Proyecto. Treinta y nueve especies en doce recorridos; Chao 2 e ICE coinciden con lo observado y la completitud alcanza el 89.4 %. 68
Figura 45. Curva de acumulación de mamíferos en el Área del Proyecto. Catorce especies; completitud del 86.5 %, la más baja de los cuatro grupos del predio. 68
Figura 46. Curva de acumulación de reptiles en el Área del Proyecto. Doce especies y completitud del 90.2 %, la más alta del predio. 69
Figura 47. Curva de acumulación de anfibios en el Área del Proyecto. Dos especies, ocho avistamientos, todos en temporada húmeda; completitud del 87.2 %. 70
Figura 48. Completitud del muestreo por estrato y grupo en la Región Ecológica, con el esfuerzo agregado del Área de Influencia. Los anfibios (73.5 %) y el arbóreo (71.9 %). 70
Figura 49. Ubicación georreferenciada de las especies en categoría de riesgo. Cada círculo es un sitio de muestreo de flora, y su tamaño y su cifra indican cuántas especies en riesgo se registraron en él. Las líneas discontinuas son los transectos de fauna con registro de especies listadas. 74
Figura 50. Integrador de diversidad por estrato en el Área del Proyecto: riqueza, Shannon, Simpson, Pielou y Margalef en ejes normalizados. El herbáceo domina el polígono y el arbustivo lo colapsa. 77
Figura 51. Integrador de diversidad por estrato en la Región Ecológica. Los cinco estratos ocupan un polígono más amplio y regular que el del predio. 78
Figura 52. Índices de biodiversidad del estrato arbóreo del Área del Proyecto (Moreno, 2001): riqueza, dominancia, equidad y números de Hill. 78
Figura 53. Índice de valor de importancia del estrato arbóreo del Área del Proyecto, en barras horizontales apiladas por densidad, frecuencia y dominancia relativas. *Swietenia humilis* encabeza con un IVI de 62.2 sobre 300; las especies de la NOM-059 van marcadas con una estrella roja. 79
Figura 54. Índice de valor de importancia del estrato arbóreo y regeneración del Área del Proyecto, en barras horizontales apiladas por densidad, frecuencia y dominancia relativas. *Swietenia humilis* encabeza con un IVI de 59.2 sobre 300; las especies de la NOM-059 llevan estrella roja. 83
Figura 55. Índices de biodiversidad del estrato arbóreo y regeneración del Área del Proyecto (Moreno, 2001): riqueza, dominancia, equidad y números de Hill. La equidad de Pielou de 0.719 y el Berger-Parker de 0.370 describen una comunidad dominada. 84
Figura 56. Curva de acumulación de la hectárea-tipo del Área del Proyecto, sobre sus quince sitios. Las dieciocho especies observadas alcanzan el 85.5 % de la asíntota de Clench (21.05), y Chao 2 estima 18.23: el inventario está esencialmente cerrado. 85
Figura 57. Abundancia por especie del estrato arbustivo del Área del Proyecto, ordenada de mayor a menor. *Acacia farnesiana* concentra veintisiete de los cuarenta y un individuos. 86
Figura 58. Índice de valor de importancia del estrato arbustivo del Área del Proyecto. *Acacia farnesiana* alcanza un IVI de 213.3 sobre 300, es decir, más de dos tercios del peso estructural del estrato. 86
Figura 59. Índices de biodiversidad del estrato arbustivo del Área del Proyecto. Con cinco especies, la equidad de Pielou es de 0.687 y los números de Hill descienden hasta `$N_2$` = 2.15. 87
Figura 60. Curva de acumulación del estrato arbustivo del Área del Proyecto, sobre sus trece sitios. Las cinco especies observadas alcanzan el 76.3 % de la asíntota de Clench (6.56), pese a que Chao 2 e ICE se detienen exactamente en 5.00. 87
Figura 61. Abundancia por especie del estrato de otras formas de vida del Área del Proyecto. Dos trepadoras concentran cuatro de cada cinco individuos. 88
Figura 62. Índice de valor de importancia del estrato de otras formas de vida del Área del Proyecto. *Cissus verticillata* alcanza un IVI de 148.3 sobre 300. 89

Figura 63. Índices de biodiversidad del estrato de otras formas de vida del Área del Proyecto. Seis especies, equidad de Pielou de 0.710, `$N_2$` = 2.66. 89
Figura 64. Curva de acumulación del estrato de otras formas de vida del Área del Proyecto. Seis especies observadas, 84.6 % de la asíntota de Clench (7.09). 90
Figura 65. Abundancia por especie del estrato herbáceo del Área del Proyecto. Dos especies —una nativa y una exótica— alcanzan la clase dominante con abundancias casi idénticas. 91
Figura 66. Índice de valor de importancia del estrato herbáceo del Área del Proyecto. *Cleome viscosa* encabeza con un IVI de 40.1 sobre 300, pese a no ser la más abundante. 92
Figura 67. Índices de biodiversidad del estrato herbáceo del Área del Proyecto. Es el estrato de mayor riqueza (19), mayor Shannon (2.349) y mayor equidad (Pielou 0.798). 93
Figura 68. Curva de acumulación del estrato herbáceo del Área del Proyecto. Diecinueve especies observadas, 91.3 % de la asíntota de Clench (20.81): el inventario más completo del predio. 93
Figura 69. Integrador de diversidad por estrato del Área del Proyecto: riqueza, Shannon, Simpson, Pielou y Margalef en ejes normalizados. El herbáceo domina el polígono; el arbustivo lo colapsa. 95
Figura 70. Valor de importancia de fauna del grupo Aves en el Área del Proyecto, en barras horizontales por densidad y frecuencia relativas. *Zenaida asiatica* encabeza con un VIF de 12.6 sobre 200; las especies de la NOM-059 llevan estrella roja. 96
Figura 71. Curva de acumulación del grupo Aves en el Área del Proyecto. Treinta y nueve especies en doce recorridos; Chao 1, Chao 2, Jackknife 1 e ICE coinciden en 39.00 y la completitud alcanza el 89.3 %. 97
Figura 72. Estacionalidad de las especies de aves del Área del Proyecto. De las treinta y nueve especies, veintiséis son exclusivamente residentes y trece presentan algún componente migratorio. 98
Figura 73. Gremios tróficos de las aves del Área del Proyecto. El gremio insectívoro domina con doce especies. 98
Figura 74. Importancia ecológica de las aves del Área del Proyecto. Dieciséis especies cumplen funciones de control entomológico. 99
Figura 75. Abundancia regional de las especies de aves registradas en el Área del Proyecto. Veinticuatro especies de abundancia media, nueve de abundancia alta y seis de abundancia baja. 99
Figura 76. Valor de importancia de fauna del grupo Mamíferos en el Área del Proyecto. *Notocitellus annulatus* encabeza con un VIF de 32.6 sobre 200. 100
Figura 77. Curva de acumulación del grupo Mamíferos en el Área del Proyecto. Catorce especies; completitud del 86.5 %, la más baja de los cuatro grupos. 101
Figura 78. Estacionalidad de las especies de mamíferos del Área del Proyecto. Las catorce especies son residentes. 101
Figura 79. Gremios tróficos de los mamíferos del Área del Proyecto. El gremio omnívoro domina con siete especies. 102
Figura 80. Importancia ecológica de los mamíferos del Área del Proyecto. Ocho especies cumplen funciones de dinámica trófica. 102
Figura 81. Abundancia regional de las especies de mamíferos registradas en el Área del Proyecto. Nueve especies de abundancia media, cuatro de abundancia alta y una de abundancia baja. 103
Figura 82. Valor de importancia de fauna del grupo Reptiles en el Área del Proyecto. *Sceloporus utiformis* encabeza con un VIF de 30.3 sobre 200. 104
Figura 83. Curva de acumulación del grupo Reptiles en el Área del Proyecto. Trece especies y completitud del 90.5 %, la más alta de los cuatro grupos. 105
Figura 84. Estacionalidad de las especies de reptiles del Área del Proyecto. Las doce especies son residentes. 105
Figura 85. Gremios tróficos de los reptiles del Área del Proyecto. El gremio insectívoro domina con nueve especies. 106
Figura 86. Importancia ecológica de los reptiles del Área del Proyecto. Nueve especies cumplen funciones de control entomológico. 106

Figura 87. Abundancia regional de las especies de reptiles registradas en el Área del Proyecto. Seis especies de abundancia media, cuatro de abundancia alta y dos de abundancia baja. 107
Figura 88. Valor de importancia de fauna del grupo Anfibios en el Área del Proyecto. *Agalychnis dacnicolor* encabeza con un VIF de 119.6 sobre 200. 108
Figura 89. Curva de acumulación del grupo Anfibios en el Área del Proyecto. Dos especies, ocho eventos, todos en temporada húmeda; completitud del 87.2 %. 108
Figura 90. Estacionalidad de las especies de anfibios del Área del Proyecto. Las dos especies son residentes. 109
Figura 91. Gremios tróficos de los anfibios del Área del Proyecto. Las dos especies son insectívoras. 109
Figura 92. Importancia ecológica de los anfibios del Área del Proyecto. Las dos especies cumplen funciones de control entomológico. 110
Figura 93. Abundancia regional de las especies de anfibios registradas en el Área del Proyecto. Ambas especies son de abundancia regional media. 110
Figura 94. Índice de valor de importancia del estrato arbóreo y regeneración del Área de Influencia, en barras horizontales apiladas por densidad, frecuencia y dominancia relativas. *Guazuma ulmifolia* encabeza con un IVI de 38.5 sobre 300. 114
Figura 95. Índices de biodiversidad del estrato arbóreo y regeneración del Área de Influencia (Moreno, 2001): riqueza, dominancia, equidad y números de Hill. La equidad de Pielou de 0.805 y el Berger-Parker de 0.215 describen una comunidad diversa y poco dominada. 115
Figura 96. Abundancia por especie del estrato arbustivo del Área de Influencia, ordenada de mayor a menor. *Citharexylum affine* concentra once de los treinta y seis individuos. 116
Figura 97. Índice de valor de importancia del estrato arbustivo del Área de Influencia. *Citharexylum affine* alcanza un IVI de 102.4 sobre 300. 117
Figura 98. Índices de biodiversidad del estrato arbustivo del Área de Influencia. Con catorce especies, la equidad de Pielou es de 0.865 y los números de Hill descienden hasta `$N_2$` = 6.97. 118
Figura 99. Abundancia por especie del estrato de otras formas de vida del Área de Influencia. Las seis especies se reparten entre 12 y 4 individuos, sin cola de especies escasas. 119
Figura 100. Índice de valor de importancia del estrato de otras formas de vida del Área de Influencia. *Cissus verticillata* alcanza un IVI de 90.5 sobre 300. 119
Figura 101. Índices de biodiversidad del estrato de otras formas de vida del Área de Influencia. Seis especies, equidad de Pielou de 0.967 y `$N_2$` = 5.37 de un máximo de 6. 120
Figura 102. Abundancia por especie del estrato herbáceo del Área de Influencia. El descenso desde 29 hasta 2 individuos es gradual y sin escalones. 121
Figura 103. Índice de valor de importancia del estrato herbáceo del Área de Influencia. *Petiveria alliacea* encabeza con un IVI de 32.2 sobre 300, pese a no ser la más abundante. 122
Figura 104. Índices de biodiversidad del estrato herbáceo del Área de Influencia. Es el estrato de mayor riqueza (21), mayor Shannon (2.807) y menor dominancia (Berger-Parker 0.131). 123
Figura 105. Integrador de diversidad por estrato del Área de Influencia: riqueza, Shannon, Simpson, Pielou y Margalef en ejes normalizados. 124
Figura 106. Valor de importancia de fauna del grupo Aves en el Área de Influencia, en barras horizontales por densidad y frecuencia relativas. *Columbina inca* encabeza con un VIF de 16.1 sobre 200; las especies de la NOM-059 llevan estrella roja. 125
Figura 107. Estacionalidad de las especies de aves del Área de Influencia. De las cuarenta y cuatro especies, veinticinco son exclusivamente residentes y diecinueve presentan algún componente migratorio. 126
Figura 108. Gremios tróficos de las aves del Área de Influencia. El gremio insectívoro domina con trece especies, sobre un total de siete gremios representados. 126
Figura 109. Importancia ecológica de las aves del Área de Influencia. Diecinueve especies cumplen funciones de control entomológico. 127

Figura 110. Abundancia regional de las especies de aves registradas en el Área de Influencia. Treinta especies de abundancia media, nueve de abundancia alta y cinco de abundancia baja. 127
Figura 111. Valor de importancia de fauna del grupo Mamíferos en el Área de Influencia. *Procyon lotor* encabeza con un VIF de 21.6 sobre 200. 129
Figura 112. Estacionalidad de las especies de mamíferos del Área de Influencia. Las dieciséis especies son residentes. 129
Figura 113. Gremios tróficos de los mamíferos del Área de Influencia. El gremio omnívoro domina con ocho especies. 130
Figura 114. Importancia ecológica de los mamíferos del Área de Influencia. Diez especies cumplen funciones de dinámica trófica. 130
Figura 115. Abundancia regional de las especies de mamíferos registradas en el Área de Influencia. Diez especies de abundancia media, cinco de abundancia alta y una de abundancia baja. 131
Figura 116. Valor de importancia de fauna del grupo Reptiles en el Área de Influencia. *Sceloporus utiformis* encabeza con un VIF de 40.9 sobre 200. 132
Figura 117. Estacionalidad de las especies de reptiles del Área de Influencia. Las dieciséis especies son residentes. 132
Figura 118. Gremios tróficos de los reptiles del Área de Influencia. El gremio insectívoro domina con diez especies. 133
Figura 119. Importancia ecológica de los reptiles del Área de Influencia. Diez especies cumplen funciones de control entomológico. 133
Figura 120. Abundancia regional de las especies de reptiles registradas en el Área de Influencia. Siete especies de abundancia media, cinco de abundancia alta y cuatro de abundancia baja. 134
Figura 121. Valor de importancia de fauna del grupo Anfibios en el Área de Influencia. *Incilius marmoreus* encabeza con un VIF de 107.1 sobre 200. 135
Figura 122. Estacionalidad de las especies de anfibios del Área de Influencia. Las dos especies son residentes. 135
Figura 123. Gremios tróficos de los anfibios del Área de Influencia. Las dos especies son insectívoras. .. 136
Figura 124. Importancia ecológica de los anfibios del Área de Influencia. Las dos especies cumplen funciones de control entomológico. 136
Figura 125. Abundancia regional de las especies de anfibios registradas en el Área de Influencia. Una especie de abundancia regional alta y una de abundancia media. 137
Figura 126. Índice de valor de importancia del estrato arbóreo y regeneración de la Región Ecológica, en barras horizontales apiladas por densidad, frecuencia y dominancia relativas. *Roseodendron donnell-smithii* encabeza con un IVI de 15.3 sobre 300; las especies de la NOM-059 llevan estrella roja. 142
Figura 127. Índices de biodiversidad del estrato arbóreo y regeneración de la Región Ecológica (Moreno, 2001): riqueza, dominancia, equidad y números de Hill. La equidad de Pielou de 0.908 y el Berger-Parker de 0.093 describen una comunidad diversa y sin dominancia. 143
Figura 128. Curva de acumulación de la hectárea-tipo, construida sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica: quince sitios y setenta especies observadas, el 83.8 % de la asíntota de Clench (83.53). 143
Figura 129. Abundancia por especie del estrato arbustivo de la Región Ecológica, ordenada de mayor a menor. *Verbesina oligantha* concentra sesenta y seis de los doscientos cincuenta y tres individuos. 145
Figura 130. Índice de valor de importancia del estrato arbustivo de la Región Ecológica. *Verbesina oligantha* alcanza un IVI de 51.3 sobre 300. 145
Figura 131. Índices de biodiversidad del estrato arbustivo de la Región Ecológica. Con veinticinco especies, la equidad de Pielou es de 0.842 y los números de Hill descienden hasta `$N_2$` = 9.53. 146
Figura 132. Curva de acumulación del estrato arbustivo sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica: quince sitios y veintiséis especies observadas, el 80.5 % de la asíntota de Clench (32.28). 147

Figura 133. Abundancia por especie del estrato de otras formas de vida de la Región Ecológica. Las catorce especies se reparten entre 10 y 2 individuos, sin especie hegemónica. 148
Figura 134. Índice de valor de importancia del estrato de otras formas de vida de la Región Ecológica. *Cissus verticillata* alcanza un IVI de 41.8 sobre 300. 149
Figura 135. Índices de biodiversidad del estrato de otras formas de vida de la Región Ecológica. Catorce especies, equidad de Pielou de 0.964 y `$N_2$` = 11.86 de un máximo de 14. 149
Figura 136. Curva de acumulación del estrato de otras formas de vida sobre el esfuerzo de contexto conjunto: quince sitios, catorce especies observadas, el 83.5 % de la asíntota de Clench (16.77). 150
Figura 137. Abundancia por especie del estrato herbáceo de la Región Ecológica. El descenso desde 81 hasta 3 individuos es gradual, con nueve especies por encima del umbral de abundancia común. 151
Figura 138. Índice de valor de importancia del estrato herbáceo de la Región Ecológica. *Elytraria imbricata* encabeza con un IVI de 29.7 sobre 300, pese a no ser la más abundante. 152
Figura 139. Índices de biodiversidad del estrato herbáceo de la Región Ecológica. Veintisiete especies, Shannon de 2.995 y equidad de Pielou de 0.909. 153
Figura 140. Curva de acumulación del estrato herbáceo sobre el esfuerzo de contexto conjunto: quince sitios, veintiocho especies observadas, el 90.1 % de la asíntota de Clench (31.07). 153
Figura 141. Integrador de diversidad por estrato de la Región Ecológica: riqueza, Shannon, Simpson, Pielou y Margalef en ejes normalizados. 155
Figura 142. Completitud del muestreo por estrato, Clench frente a Chao 1, sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica. El herbáceo alcanza el 90.1 % y el arbustivo se queda en el 80.5 %. 155
Figura 143. Valor de importancia de fauna del grupo Aves en la Región Ecológica, en barras horizontales por densidad y frecuencia relativas. *Zenaida asiatica* y *Streptopelia decaocto* empatan en la cabeza con un VIF de 9.3 sobre 200; las especies de la NOM-059 llevan estrella roja. 157
Figura 144. Curva de acumulación del grupo Aves sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica: doce recorridos, cincuenta especies observadas y una completitud del 90.5 %, la más alta del levantamiento. 158
Figura 145. Estacionalidad de las especies de aves de la Región Ecológica. De las cincuenta especies, treinta y una son exclusivamente residentes y diecinueve presentan algún componente migratorio. 158
Figura 146. Gremios tróficos de las aves de la Región Ecológica. El gremio insectívoro domina con catorce especies, sobre un total de ocho gremios representados. 159
Figura 147. Importancia ecológica de las aves de la Región Ecológica. Veinte especies cumplen funciones de control entomológico y doce dispersan semillas. 159
Figura 148. Abundancia regional de las especies de aves registradas en la Región Ecológica. Treinta y cuatro especies de abundancia media, nueve de abundancia alta y siete de abundancia baja. 160
Figura 149. Valor de importancia de fauna del grupo Mamíferos en la Región Ecológica. *Procyon lotor* y *Sciurus colliaei* empatan en la cabeza con un VIF de 18.5 sobre 200. 161
Figura 150. Curva de acumulación del grupo Mamíferos sobre el esfuerzo de contexto conjunto: doce recorridos, veintiuna especies observadas y una completitud del 89.1 %. 162
Figura 151. Estacionalidad de las especies de mamíferos de la Región Ecológica. Las veintiuna especies son residentes. 162
Figura 152. Gremios tróficos de los mamíferos de la Región Ecológica. El gremio omnívoro domina con once especies. 163
Figura 153. Importancia ecológica de los mamíferos de la Región Ecológica. Trece especies cumplen funciones de dinámica trófica. 163
Figura 154. Abundancia regional de las especies de mamíferos registradas en la Región Ecológica. Quince especies de abundancia media, cinco de abundancia alta y una de abundancia baja. 164
Figura 155. Valor de importancia de fauna del grupo Reptiles en la Región Ecológica. *Sceloporus utiformis* encabeza con un VIF de 30.7 sobre 200. 165

Figura 156. Curva de acumulación del grupo Reptiles sobre el esfuerzo de contexto conjunto: doce recorridos, diecinueve especies observadas y una completitud del 89.0 %. 166
Figura 157. Estacionalidad de las especies de reptiles de la Región Ecológica. Las dieciocho especies son residentes. 166
Figura 158. Gremios tróficos de los reptiles de la Región Ecológica. El gremio insectívoro domina con diez especies. 167
Figura 159. Importancia ecológica de los reptiles de la Región Ecológica. Diez especies cumplen funciones de control entomológico y cuatro de regulación trófica. 167
Figura 160. Abundancia regional de las especies de reptiles registradas en la Región Ecológica. Ocho especies de abundancia media, cinco de abundancia alta y cinco de abundancia baja. 168
Figura 161. Valor de importancia de fauna del grupo Anfibios en la Región Ecológica. *Agalychnis dacnicolor* alcanza, por ser única, el máximo teórico de 200 sobre 200. 169
Figura 162. Curva de acumulación del grupo Anfibios sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica: doce recorridos, tres especies observadas y una completitud del 73.5 %, la más baja del levantamiento. 169
Figura 163. Estacionalidad de las especies de anfibios de la Región Ecológica. La única especie es residente. 170
Figura 164. Gremios tróficos de los anfibios de la Región Ecológica. La única especie es insectívora. 170
Figura 165. Importancia ecológica de los anfibios de la Región Ecológica. La única especie cumple funciones de control entomológico. 171
Figura 166. Abundancia regional de las especies de anfibios registradas en la Región Ecológica. La única especie es de abundancia regional media. 171
Figura 167. Riqueza de especies de flora por estrato en las tres escalas, con el número de especies y su porcentaje sobre la riqueza de cada escala. El estrato leñoso pasa de 18 a 70 especies; el herbáceo, de 19 a 27. 174
Figura 168. Abundancia de flora normalizada por esfuerzo, en individuos por sitio, por temporada y escala, para los cinco estratos. El herbáceo del predio es el único que se dispara en la temporada húmeda. 176
Figura 169. Descomposición de Baselga de la diversidad beta de la flora, por estrato y por par de escalas: la fracción de recambio (`βSIM`) y la de anidamiento (`βSNE`) apiladas hasta el `βSOR` total. 177
Figura 170. Correspondencia entre el dosel adulto y su banco de regeneración en las tres escalas: especies con adulto y con renuevo, especies con renuevo pero sin adulto, y especies adultas sin renuevo detectado. 178
Figura 171. Composición de la flora compartida y exclusiva entre las tres escalas. El núcleo común son 43 especies; la Región Ecológica aporta 48 exclusivas y el predio, ninguna. 179
Figura 172. Partición aditiva de Lande de la diversidad de flora: la riqueza de cada escala, y la descomposición de la riqueza del sistema en su componente `ᾱ` y su componente `β`. 180
Figura 173. Gradiente de condición de la flora entre las tres escalas: el índice de valor de importancia de las especies dominantes y la dominancia de Berger-Parker decrecen, la equidad de Pielou crece, y la presión de las invasoras cae del 15.0 % al 3.7 %. 181
Figura 174. Riqueza de especies de fauna por grupo en las tres escalas, con el número de especies y su porcentaje sobre la riqueza de cada escala. 182
Figura 175. Abundancia de fauna normalizada por esfuerzo, en avistamientos por recorrido, por temporada y escala, para los cuatro grupos. 183
Figura 176. Descomposición de Baselga de la diversidad beta de la fauna, por grupo y por par de escalas. Las barras de los dos paneles con la Región Ecológica como contexto son puramente de anidamiento en aves, mamíferos y reptiles. 185
Figura 177. Composición de la fauna compartida y exclusiva entre las tres escalas. El núcleo común son 58 especies; el Área del Proyecto no aporta ninguna exclusiva. 186

Figura 178. Partición aditiva de Lande de la diversidad de fauna: la riqueza de cada escala, y la descomposición de la riqueza del sistema en su componente `α` y su componente `β`. 187
Figura 179. Composición del uso de suelo y la vegetación de la Región Ecológica según la carta INEGI Serie VII (1:250,000). Las tres clases mayores —asentamientos humanos, vegetación secundaria arbórea y arbustiva de selva baja caducifolia— reúnen el 64.9 % del territorio. 190
Figura 180. Índice de riesgo de deforestación de la Región Ecológica según el INECC (2013). Las clases de riesgo alto y muy alto, que suman el 43.04 % de la superficie forestal, se concentran en el piso de cuenca y en los bordes de la mancha urbana. 193

III.1 DELIMITACIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA (RE)

III.1.1 Criterios y métodos utilizados para la delimitación

La Región Ecológica es la unidad territorial dentro de la cual se manifiestan, se propagan y se amortiguan los procesos ecológicos que el proyecto puede alterar. Su trazo, por tanto, no puede seguir fronteras administrativas —que son convencionales y ajenas a la dinámica del territorio— sino los límites que la propia naturaleza impone al tránsito de materia y energía.

El Área del Proyecto es un polígono **puntual** de 3.4097 ha, de superficie compacta y sin desarrollo lineal, cuya intervención implica la remoción de la cubierta forestal y la impermeabilización parcial del terreno. Los efectos ambientales de una obra con este perfil se transmiten, ante todo, por la vía del agua: la modificación de la infiltración, el incremento del escurrimiento superficial, el arrastre de partículas de suelo y su depósito aguas abajo. Ese conjunto de procesos está gobernado por la **divisoria de aguas**, no por el radio de un buffer ni por el límite de un municipio. Un contaminante o un sedimento originado en el predio no puede abandonar la microcuenca que lo contiene sin pasar por su punto de salida; y, a la inversa, ningún proceso hidrológico externo a esa divisoria condiciona el predio.

Por esa razón se adoptó el **criterio hidrográfico**, y se delimitó la Región Ecológica como la **microcuenca hidrográfica** que contiene íntegramente al Área del Proyecto y a su Área de Influencia. La unidad es la **microcuenca Jalipa**, clave **15-058-13-008**, cuya jerarquía completa se descompone así:

Tabla 1. Criterios y métodos utilizados para la delimitación de la Región Ecológica.

Elemento	Criterio o valor adoptado	Método / fuente
Criterio rector	Hidrográfico: divisoria de aguas de la microcuenca que contiene al AP y al AI	Delimitación sobre la Red Hidrográfica de INEGI, edición 2.0, escala 1:50,000
Unidad seleccionada	Microcuenca **Jalipa**, clave `15-058-13-008`	INEGI, Red Hidrográfica 2.0
Región hidrológica	15 — Costa de Jalisco	INEGI, Red Hidrográfica 2.0
Cuenca	058	INEGI, Red Hidrográfica 2.0
Subcuenca	13 — Laguna de Cuyutlán	INEGI, Red Hidrográfica 2.0
Microcuenca	008 — Jalipa	INEGI, Red Hidrográfica 2.0
Superficie de la RE	**5,992.43 ha** (59.92 km²)	Atributo `Area_ha` del polígono de la Región Ecológica
Criterios biofísicos complementarios verificados	Geomorfología, hidrografía superficial y subterránea, uso de suelo y vegetación, unidades de suelo, regiones prioritarias	Elaboración propia con base en las capas oficiales de INEGI y CONAGUA citadas en este capítulo
Modelo digital de elevación	Continuo Nacional, resolución de celda 15 m	INEGI
Límites político-administrativos	**No utilizados**	—

La microcuenca Jalipa cierra sobre la **subcuenca Laguna de Cuyutlán**, que ocupa el 100 % de la Región Ecológica. Ese cierre no es una coincidencia cartográfica: es la razón por la cual el criterio hidrográfico resulta apropiado en este caso. Los escurrimientos que nacen en la Sierra Alta Compleja del sector norte de la Región Ecológica descienden hacia la llanura costera y terminan en el sistema lagunar Cuyutlán–Tapeixtles, que es el receptor final de la carga sedimentaria y del flujo de base de toda la unidad. Delimitar la Región Ecológica por la microcuenca equivale, entonces, a delimitarla por el sistema que efectivamente recibe y procesa los efectos del proyecto.

Caracterización morfométrica de la Región Ecológica

La forma y el relieve de una cuenca determinan la velocidad con que concentra sus escurrimientos y, con ello, la magnitud de los procesos erosivos y de los picos de avenida. Los parámetros morfométricos de la Región Ecológica se presentan a continuación.

Tabla 2. Parámetros morfométricos de la Región Ecológica.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Superficie (atributo del polígono)	A	5,992.43	ha
Superficie (planimétrica sobre el modelo digital de elevación)	A	59.435	km²
Perímetro	P	36.932	km
Elevación mínima	—	−2.0	m s. n. m.
Elevación media	—	162.0	m s. n. m.
Elevación máxima	—	916.0	m s. n. m.
Relieve total	H	918.0	m
Pendiente media	—	17.31	%
Coeficiente de compacidad de Gravelius	K_c	1.351	adimensional
Integral hipsométrica	HI	0.179	adimensional
Densidad de drenaje	D_d	1.979	km·km⁻²
Orden máximo de la red (Strahler)	—	4	—

Fuente: elaboración propia con base en el Continuo de Elevaciones Mexicano de INEGI (celda 14.9 m) y la Red Hidrográfica 2.0 de INEGI.

El **coeficiente de compacidad de Gravelius**, definido como

$$K_c = 0.28 \cdot P / \sqrt{A}$$

relaciona el perímetro de la cuenca con el de un círculo de igual superficie. Su valor de **1.351** sitúa a la Región Ecológica en la clase de forma **oval-oblonga**: una cuenca alargada, no circular. Esta geometría es hidrológicamente favorable, porque los escurrimientos de las distintas subunidades llegan al cauce principal de manera escalonada y no simultánea, lo que atenúa el pico de la avenida respecto de una cuenca compacta de la misma superficie.

La **integral hipsométrica** de **0.179** es el dato más elocuente sobre el estado evolutivo del territorio. Este índice expresa la proporción del volumen de roca que aún permanece por encima del nivel base respecto del volumen original de la cuenca. Valores inferiores a 0.30 corresponden, según la clasificación clásica de Strahler, a cuencas en **fase de senectud o monadnock**: unidades geomorfológicamente maduras, donde la mayor parte del material removible ya fue erosionado y transportado, y donde el relieve residual se concentra en unos pocos macizos resistentes. La curva hipsométrica de la Figura 1 lo confirma: el descenso es abrupto en la parte alta —los primeros 300 m de elevación relativa comprenden una fracción muy pequeña de la superficie— y la curva se aplana sobre la extensa llanura costera.

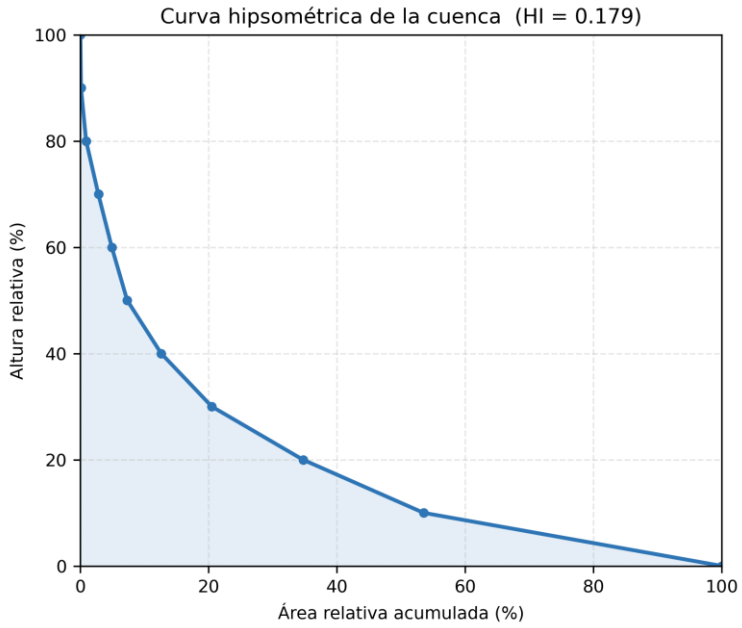


Figura 1. Curva hipsométrica de la Región Ecológica. La concavidad pronunciada y la integral hipsométrica de 0.179 identifican una cuenca en fase de senectud, con la mayor parte de su superficie en cotas bajas.

Fuente: elaboración propia con base en el Continuo de Elevaciones Mexicano de INEGI.

La lectura conjunta de ambos índices tiene una consecuencia directa para la evaluación del proyecto: **la Región Ecológica es un sistema geomorfológicamente estabilizado**, cuya capacidad de aportar sedimentos nuevos es limitada por la propia madurez del relieve, y cuya forma alargada modera la concentración de los escurrimientos. El Área del Proyecto, además, se asienta en el extremo bajo de esa cuenca —entre las cotas 29.8 y 34.7 m s. n. m.—, sobre la llanura costera y no sobre las laderas activas de la sierra.

Tabla 3. Jerarquía de la red de drenaje de la Región Ecológica (orden de Strahler).

Orden	Nº de cauces	Longitud total (km)	Longitud promedio (km)	% de la longitud de la red
1	62	81.275	1.311	69.1
2	39	23.395	0.600	19.9
3	12	7.445	0.620	6.3
4	3	5.478	1.826	4.7
Total	**116**	**117.592**	**1.014**	**100.0**

Fuente: elaboración propia con base en la Red Hidrográfica 2.0 de INEGI (escala 1:50,000).

Red de drenaje y jerarquía de Strahler

La red hidrográfica de la Región Ecológica suma **117.592 km** de cauces, organizados en cuatro órdenes de Strahler.

Tabla 4. Razones de bifurcación por pares de órdenes consecutivos.

Par de órdenes	Nº de cauces	Razón de bifurcación R_b
1 / 2	62 / 39	1.59
2 / 3	39 / 12	3.25

Par de órdenes	Nº de cauces	Razón de bifurcación R_b
3 / 4	12 / 3	4.00
Media	—	**2.95**

Fuente: la misma. `R_b = N_i / N_{i+1}`.

La razón de bifurcación media de **2.95** cae por debajo del rango de 3.0 a 5.0 que corresponde a cuencas de litología homogénea sin control estructural. Su valor, y sobre todo la fuerte **progresión** de la razón entre pares consecutivos (1.59 → 3.25 → 4.00), revela un drenaje cuyo comportamiento cambia con el orden: los cauces de primer orden son numerosos y largos, pero su integración en cauces de segundo orden es anormalmente eficiente (R_b = 1.59), mientras que los órdenes superiores se agrupan con las razones altas propias de un sistema con control litológico y estructural. Esto es congruente con la geología de la Región Ecológica, partida entre un macizo granítico-granodiorítico en el norte y los depósitos aluviales y litorales de la llanura costera.

La **densidad de drenaje** de **1.979 km·km⁻²** —cociente de la longitud total de la red entre la superficie de la cuenca— corresponde a una densidad **moderada a baja**. Indica una cuenca de respuesta hidrológica lenta, con predominio de la infiltración sobre el escurrimiento superficial y un tiempo de concentración prolongado. Es, otra vez, un rasgo de estabilidad.

> **Nota de coherencia interna.** La capa vectorial de hidrografía reporta una densidad de drenaje

> de 1.883 km·km⁻², distinta de la de 1.979 km·km⁻² que arroja el módulo de morfometría. La

> diferencia proviene del denominador: 117.592 km ÷ 59.435 km² = 1.979 km·km⁻², cifra que reproduce

> exactamente la superficie planimétrica de la cuenca sobre el modelo digital de elevación. Se

> adopta **1.979 km·km⁻²** por ser la única que cierra aritméticamente con la longitud de red y la

> superficie reportadas. *(Discrepancia registrada en `pendientes_humano`.)*

El **69.1 %** de la longitud de la red corresponde a cauces de primer orden, es decir, a los tributarios de cabecera que carecen de afluentes. Son los cauces más sensibles a la modificación de la cubierta vegetal en su área de captación, y los que primero responden a un cambio de uso de suelo. El Área del Proyecto **no intercepta ningún cauce** de la red hidrográfica de INEGI, lo cual se documenta en el apartado III.9.

III.1.2 Superficie y representación gráfica de la Región Ecológica

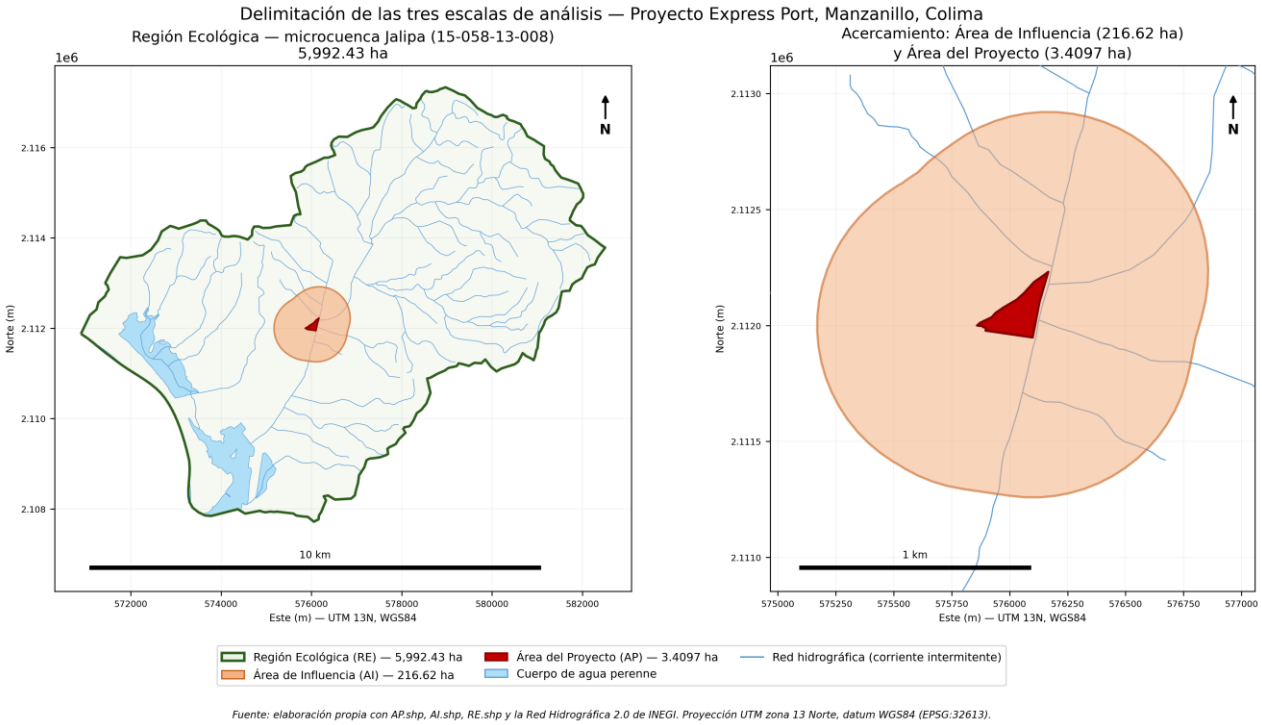
Las tres escalas de análisis se anidan de forma estricta: el Área del Proyecto está contenida en el Área de Influencia, y ésta en la Región Ecológica.

Tabla 5. Superficies de las tres escalas de análisis.

Escala	Superficie (ha)	Superficie (km²)	% de la Región Ecológica	Fuente de la superficie
Área del Proyecto (AP)	3.4097	0.0341	0.06	Atributo `Area_CUSTF` del polígono del proyecto
Área de Influencia (AI)	216.62	2.1662	3.62	Atributo `Area_ha` del polígono del Área de Influencia
Región Ecológica (RE)	5,992.43	59.9243	100.00	Atributo `Area_ha` del polígono de la Región Ecológica

Todas las superficies se leen del atributo declarado en el shapefile; ninguna se calcula a partir de la geometría. La misma cifra se conserva idéntica en todas las tablas de este capítulo.

El Área del Proyecto representa el **0.06 %** de la superficie de la Región Ecológica, y el Área de Influencia el **3.62 %**. La sola proporción no basta para dimensionar un impacto —una fracción pequeña de un territorio puede alojar un elemento ambiental crítico—, pero establece el marco dentro del cual se leerá todo el diagnóstico: cualquier afectación del proyecto ocurre sobre seiscientas milésimas de la unidad ecológica que lo contiene.



Fuente: elaboración propia con AP.shp, AI.shp, RE.shp y la Red Hidrográfica 2.0 de INEGI. Proyección UTM zona 13 Norte, datum WGS84 (EPSG:32613).

Figura 2. Plano georreferenciado de las tres escalas de análisis: Área del Proyecto, Área de Influencia y Región Ecológica, sobre la microcuenca Jalipa.

Fuente: elaboración propia con los polígonos del Área del Proyecto, del Área de Influencia y de la Región Ecológica, EPSG:32613.

El plano de la Región Ecológica en formato PDF y los anexos georreferenciados en formato SHP, KML, KMZ y CSV se integran como **Anexo III.8** (`Anexos/Anexo_III_8_Plano_RE_AP_AI/`). Los CSV reportan cada vértice de los tres polígonos con su coordenada UTM zona 13 Norte y su equivalente geográfico en datum WGS84: 20 vértices del Área del Proyecto, 81 del Área de Influencia y 297 de la Región Ecológica. Las superficies del anexo se leen del atributo del shapefile y coinciden, cifra por cifra, con las de la Tabla 5.

III.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES DE LA REGIÓN ECOLÓGICA

III.2.1 Componente abiótico

III.2.1.1 Clima

El clima es el factor rector que condiciona la distribución de la vegetación, el régimen de escurrimiento e infiltración, los procesos erosivos y la dinámica de los servicios ambientales de la Región Ecológica. Su caracterización se sustenta en la carta de climas de INEGI —clasificación de Köppen modificada por García (2004)— para la componente espacial, y en las Normales Climatológicas 1991–2020 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA, emisión del 29 de mayo de 2026) para la componente cuantitativa.

Tipo de clima

Tabla 6. Unidad climática de la Región Ecológica.

Clave	Tipo climático (García, 2004)	Régimen de lluvias	Superficie (ha)	% de la RE
Aw0(w)	Cálido subhúmedo, el más seco de los subhúmedos	Verano (junio–octubre)	5,992.43	100.00

Fuente: INEGI, carta de climas (Köppen modificada por García, 2004), escala 1:1,000,000. Superficie normalizada a la superficie canónica de la RE.

Una sola unidad climática cubre el 100 % de la Región Ecológica, del Área de Influencia y del Área del Proyecto: la clase Aw0(w) se extiende, sin fronteras internas, sobre las 5,992.43 ha de la cuenca. El clima no es, por tanto, una variable que diferencie unos sectores de la Región Ecológica de otros; toda la variabilidad higrotérmica interna procede del gradiente altitudinal que documentan las estaciones, y no de un mosaico de tipos climáticos.

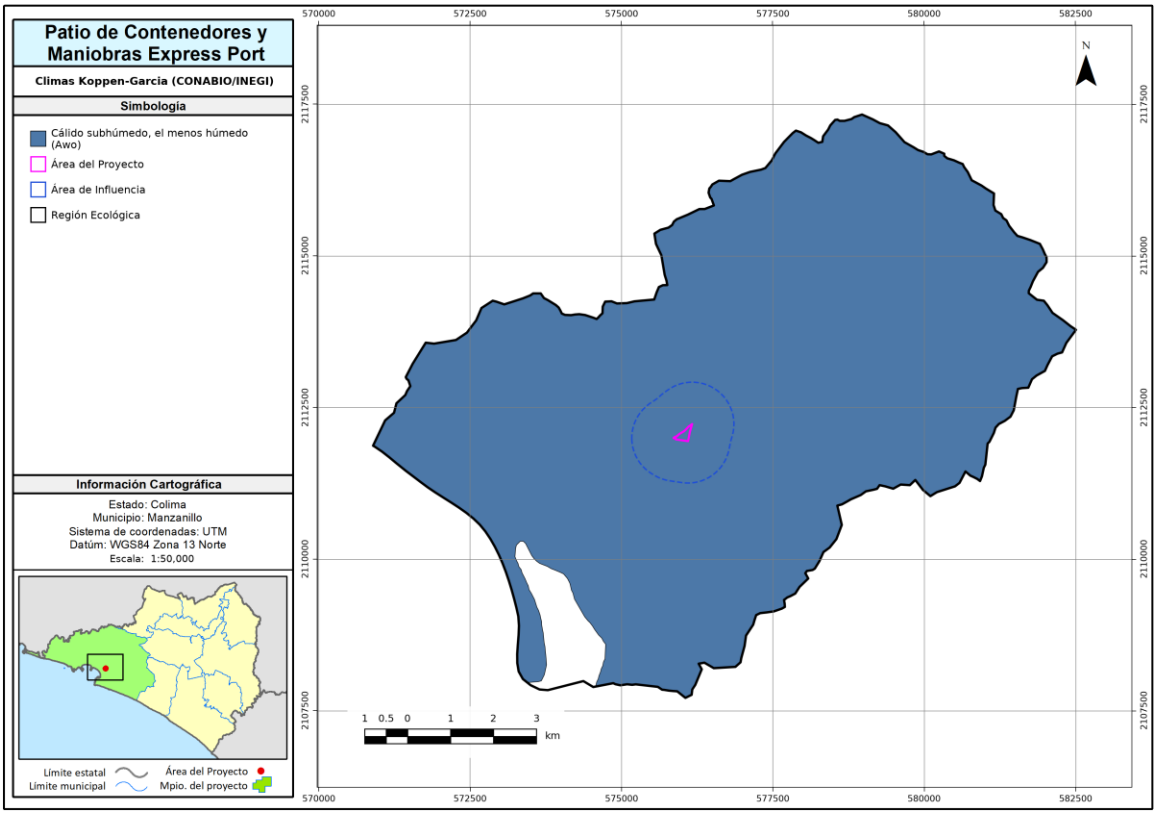


Figura 3. Distribución del tipo climático Aw0(w) en la Región Ecológica: una sola unidad climática cubre el 100 % de la superficie.

Fuente: elaboración propia con base en la carta de climas de INEGI.

La totalidad de la Región Ecológica, del Área de Influencia y del Área del Proyecto presenta un único tipo climático, **Aw0(w)**. Al tratarse de una clase única no procede una gráfica de distribución, y la representación se resuelve por la vía cartográfica. La nomenclatura designa, dentro del grupo A —climas cálidos, con temperatura media del mes más frío superior a 18 °C—, al subtipo subhúmedo más seco, definido por un cociente precipitación/temperatura P/T inferior a 43.2. El símbolo *w* indica el régimen de lluvias de verano, en el que la precipitación del mes más lluvioso de la mitad caliente del año supera diez veces a la del mes más seco. Este tipo climático es el que sostiene la selva baja caducifolia que domina la cubierta forestal de la Región Ecológica, formación cuya marcada estacionalidad —la pérdida foliar sincrónica en la temporada seca— es una respuesta directa al régimen Aw0(w).

Estaciones climatológicas de influencia

Para la caracterización cuantitativa se evaluaron las 343 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional con normal climatológica completa del periodo 1991–2020 y se midió la distancia de cada una al polígono de la Región Ecológica. Se seleccionaron las **cinco estaciones situadas a menos de 15 km** del polígono, que cubren el gradiente altitudinal de la cuenca desde el nivel del mar hasta la sierra.

Tabla 7. Estaciones climatológicas de influencia (Normales 1991–2020).

Clave	Nombre	Municipio	Latitud (°N)	Longitud (°O)	Altitud (m s. n. m.)	Distancia a la RE (km)
06018	Manzanillo (OBS)	Manzanillo	19.048889	−104.298333	3.4	1.46
06069	Punta de Agua (DGE)	Manzanillo	19.161944	−104.265556	80.0	1.95
06004	Camotlán de Miraflores	Manzanillo	19.225000	−104.232222	376.0	8.74
06063	Chandiablo	Manzanillo	19.203333	−104.335000	131.0	9.66
06070	San José de Lumber	Manzanillo	19.183889	−104.125556	557.0	11.79

Fuente: SMN-CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional, Normales Climatológicas 1991–2020 (emisión 29/05/2026). Distancias medidas al polígono de la Región Ecológica en EPSG:32613. La estación 06018 cuenta con clave OMM 76654.

Temperatura

Tabla 8. Temperatura media mensual y anual (°C), Normales 1991–2020.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
06018 Manzanillo (OBS)	25.5	25.1	25.0	25.2	27.0	28.7	29.3	29.2	28.5	28.5	27.5	26.1	27.1
06069 Punta de Agua (DGE)	25.0	24.7	24.7	25.1	27.2	28.8	28.8	28.6	28.0	28.1	27.2	25.9	26.8
06004 Camotlán de Miraflores	22.6	22.7	23.1	23.7	25.3	26.4	26.7	26.3	26.1	25.8	25.1	23.3	24.8
06063 Chandiablo	26.7	26.7	27.1	27.0	28.0	27.8	27.9	27.9	27.9	27.8	27.6	27.1	27.5
06070 San José de Lumber	18.9	19.1	19.6	20.8	23.0	23.6	23.3	23.1	23.5	22.3	20.5	19.0	21.4

Fuente: SMN-CONAGUA, Normales Climatológicas 1991–2020.

Las temperaturas medias anuales del entorno de la Región Ecológica se escalonan entre los 21.4 °C de San José de Lumber y los 27.5 °C de Chandiablo. En ningún mes del año, y en ninguna de las cinco estaciones, la media desciende por debajo de 18 °C —el valor mínimo de toda la tabla es de 18.9 °C, en San José de Lumber durante enero—. Ese piso térmico corrobora cuantitativamente la pertenencia de la cuenca al grupo A de climas cálidos que la clave Aw0(w) presupone.

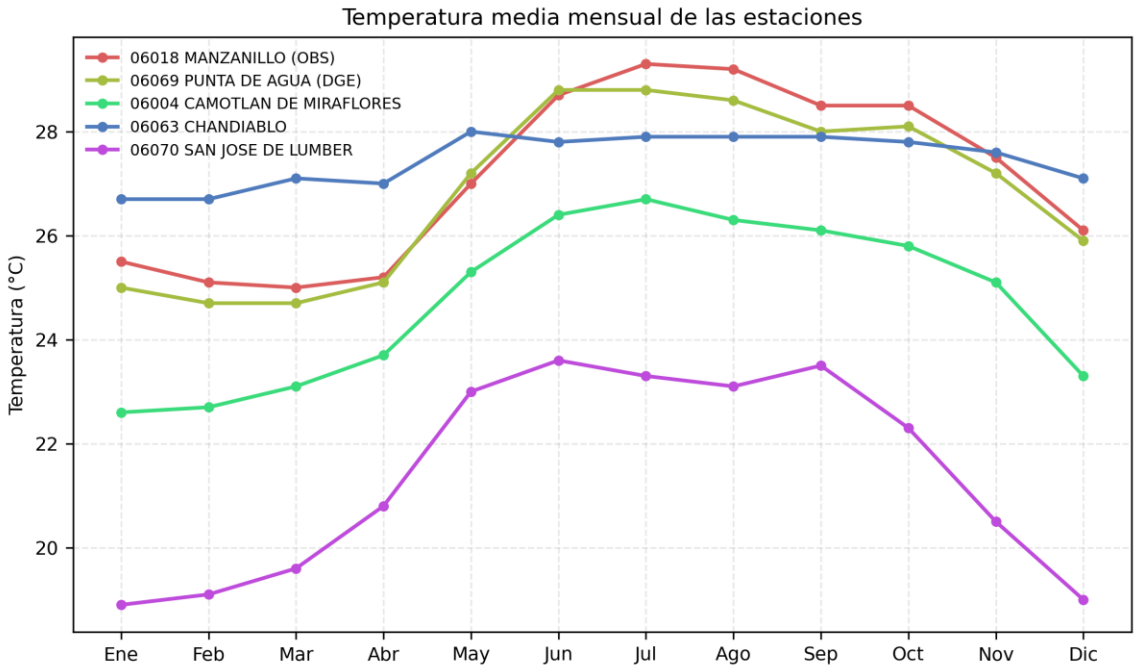


Figura 4. Marcha anual de la temperatura media mensual en las cinco estaciones de influencia. La oscilación térmica inferior a 5 °C en las estaciones costeras identifica un régimen isotermal.

Fuente: elaboración propia con base en las normales climatológicas 1991–2020 del SMN-CONAGUA.

La temperatura media anual en el entorno de la Región Ecológica varía entre 21.4 °C en la estación serrana de San José de Lumber (557 m s. n. m., 11.79 km al Este del polígono) y 27.5 °C en Chandiablo (131 m s. n. m.). La marcha anual es de tipo **isotermal**: la oscilación entre el mes más cálido y el más frío es de 4.3 °C en Manzanillo, 4.1 °C en Punta de Agua y en Camotlán, y de apenas 1.3 °C en Chandiablo, todos por debajo del umbral de 5 °C que define el carácter isotermal propio de los climas costeros sometidos a la influencia moderadora del océano. El régimen es estival cálido: las temperaturas máximas se concentran de junio a octubre y las mínimas en enero–marzo.

El gradiente térmico no es estrictamente altitudinal. La estación más alta y alejada de la costa —San José de Lumber— es la más fresca, congruente con un gradiente adiabático cercano a 0.6 °C por cada 100 m; pero Chandiablo, a 131 m s. n. m., resulta la más cálida de todas pese a su altitud intermedia. La explicación es su posición interior, de menor moderación marítima, frente al efecto regulador del océano sobre la estación costera de Manzanillo. Esta configuración —cálida, isotermal y sin heladas— no impone restricción alguna por temperatura a la vegetación tropical caducifolia, y mantiene tasas elevadas de evapotranspiración potencial durante todo el año.

Precipitación

Tabla 9. Precipitación media mensual y anual (mm), Normales 1991–2020.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Jun–Oct (%)
06018 Manzanillo (OBS)	32.5	18.7	7.6	0.1	8.1	109.6	153.8	186.2	251.7	116.3	40.9	9.9	935.4	87.4
06069 Punta de Agua (DGE)	18.6	21.2	7.8	0.2	7.4	96.8	149.0	197.1	258.4	120.7	29.8	10.2	917.2	89.6

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Jun–Oct (%)
06004 Camotlán de Miraflores	18.0	20.3	9.5	0.3	5.3	96.4	161.1	212.0	292.1	172.4	18.7	9.8	1,015.9	91.9
06063 Chandiablo	16.1	7.6	2.7	2.4	4.5	70.0	100.0	169.1	204.0	93.2	18.2	2.9	690.7	92.1
06070 San José de Lumber	28.0	14.7	11.2	0.1	9.5	134.8	219.4	256.5	333.8	169.1	48.3	10.0	1,235.4	90.1

Fuente: SMN-CONAGUA, Normales Climatológicas 1991–2020.

El máximo pluviométrico se concentra en septiembre en las cinco estaciones —desde los 204.0 mm de Chandiablo hasta los 333.8 mm de San José de Lumber, con 251.7 mm en Manzanillo— y de ese único mes depende buena parte de la recarga anual. La columna Jun–Oct de la tabla dimensiona esa dependencia: entre el 87.4 % y el 92.1 % de la lámina anual cae en cinco meses, de modo que la Región Ecológica resuelve todo su balance hídrico en un solo pulso estival.

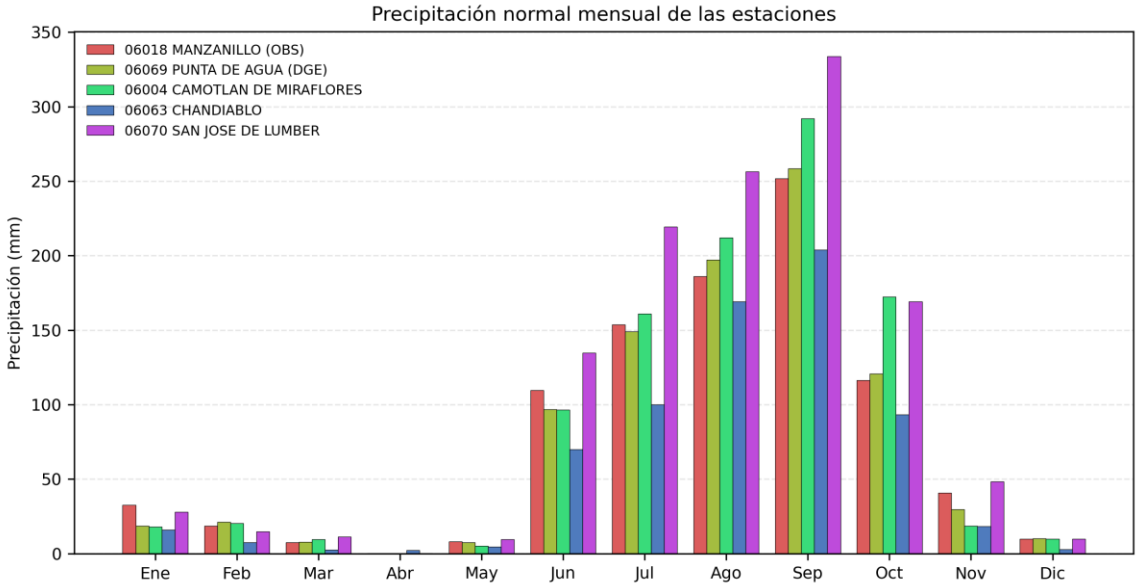


Figura 5. Distribución mensual de la precipitación en las cinco estaciones de influencia. El periodo junio–octubre concentra entre el 87.4 % y el 92.1 % del total anual.

Fuente: elaboración propia con base en las normales climatológicas SMN-CONAGUA 1991–2020.

La precipitación media anual varía entre 690.7 mm en Chandiablo y 1,235.4 mm en San José de Lumber, configurando un **gradiente orográfico** en el que la lámina de lluvia aumenta con la altitud y con la exposición a barlovento de la sierra. El rasgo más relevante para la Región Ecológica es la extrema concentración estival: el periodo junio–octubre aporta entre el **87.4 %** y el **92.1 %** del total anual, mientras que los meses de marzo a mayo son prácticamente áridos —lámina mensual inferior a 10 mm, con abril como el mes más seco, con 0.3 mm o menos en cuatro de las cinco estaciones—.

Esta estacionalidad gobierna directamente la fenología de la selva baja caducifolia y condiciona el régimen torrencial de los escurrimientos: la erosividad pluvial anual se concentra en unos pocos eventos de gran magnitud, asociados a los sistemas ciclónicos del Pacífico. Es un dato que el proyecto no puede ignorar en el diseño de su drenaje pluvial, y que sustenta la conveniencia de las obras de conservación de suelo y agua previstas.

Período de sequía y diagrama ombrotérmico

La estacionalidad se sintetiza mediante el **diagrama ombrotérmico de Gaussen (Bagnouls y Gaussen, 1957)**, en el que un mes se clasifica como seco cuando la precipitación, en milímetros, es inferior al doble de la temperatura media, en grados Celsius:

Mes seco $\Leftrightarrow$ $P < 2 \cdot T$

La representación se construye a escala 1:2 entre los ejes de precipitación y temperatura, de modo que la barra pluvial queda por debajo de la curva térmica exactamente en los meses secos.

Tabla 10. Período de sequía según el criterio de Gaussen (P < 2T), Normales 1991–2020.

Estación	Meses secos	Nº de meses secos	Meses húmedos	Nº de meses húmedos
06018 Manzanillo (OBS)	Enero–mayo, noviembre, diciembre	7	Junio–octubre	5
06069 Punta de Agua (DGE)	Enero–mayo, noviembre, diciembre	7	Junio–octubre	5
06004 Camotlán de Miraflores	Enero–mayo, noviembre, diciembre	7	Junio–octubre	5
06063 Chandiablo	Enero–mayo, noviembre, diciembre	7	Junio–octubre	5
06070 San José de Lumber	Enero–mayo, diciembre	6	Junio–noviembre	6

Fuente: elaboración con normales SMN-CONAGUA 1991–2020 y criterio de Gaussen (Bagnouls y Gaussen, 1957).

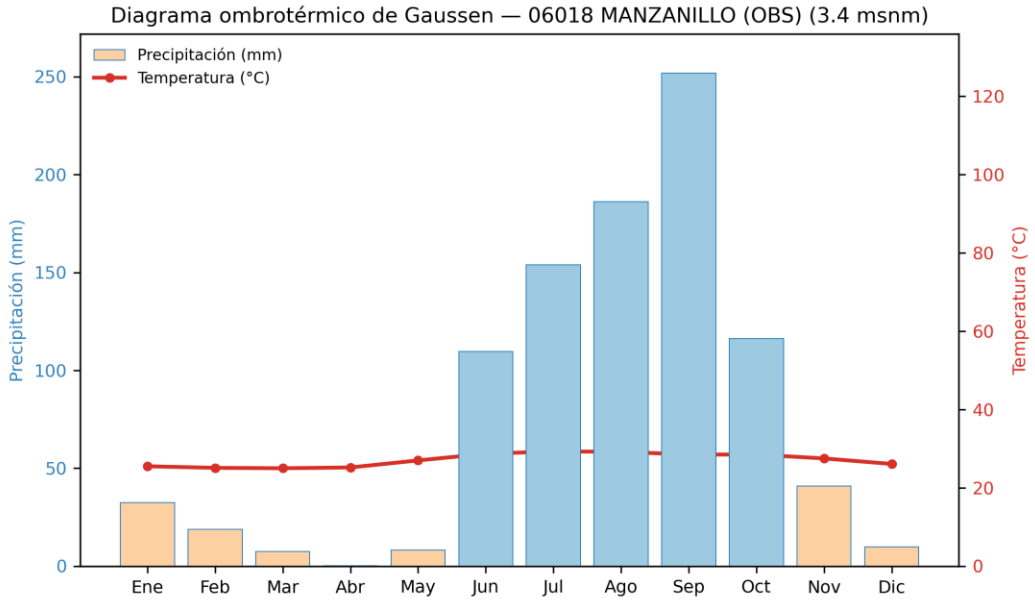


Figura 6. Diagrama ombrotérmico de Gaussen — estación 06018 Manzanillo (OBS), 3.4 m s. n. m. Siete meses secos y cinco húmedos.

Fuente: elaboración propia con base en las normales climatológicas 1991–2020 del SMN-CONAGUA.

El ombrotérmico de Manzanillo, la estación costera de referencia a 3.4 m s. n. m., dibuja siete meses secos —de noviembre a mayo— frente a cinco húmedos de junio a octubre: la barra pluvial solo remonta la curva térmica durante el pulso estival. Con 935.4 mm anuales y una media de 27.1 °C, esta estación resume el régimen que rige el piso costero donde se asienta el Área del Proyecto.

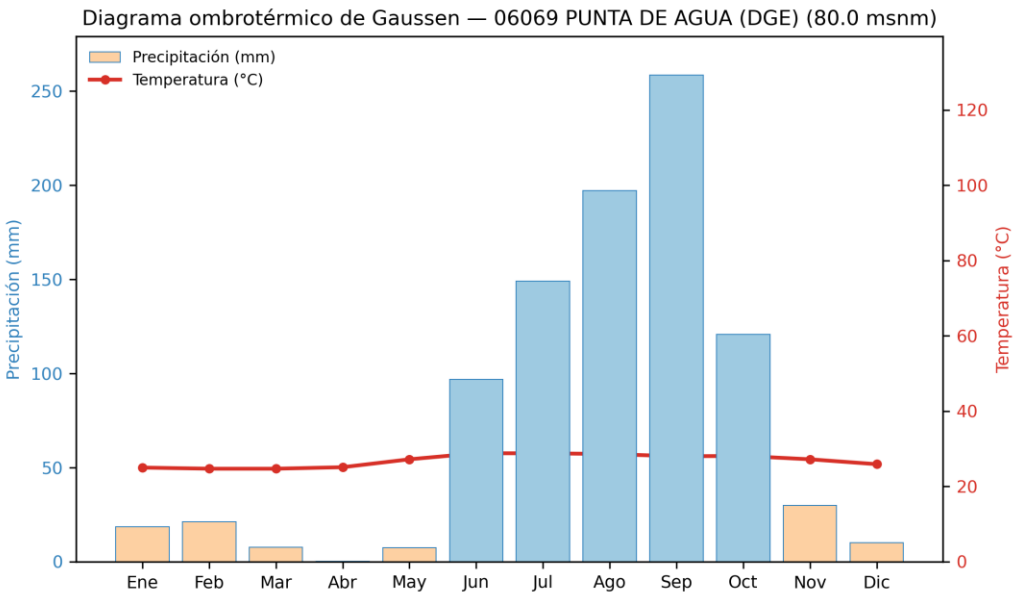


Figura 7. Diagrama ombrotérmico de Gaussen — estación 06069 Punta de Agua (DGE), 80 m s. n. m.

Fuente: la misma.

Punta de Agua, a 80 m s. n. m. y a menos de 2 km del polígono, replica el patrón costero: siete meses secos y cinco húmedos, con la temporada de lluvias confinada a junio–octubre. Su lámina anual de 917.2 mm y su media de 26.8 °C son prácticamente indistinguibles de las de Manzanillo, lo que confirma la homogeneidad higrotérmica del piso litoral de la Región Ecológica.

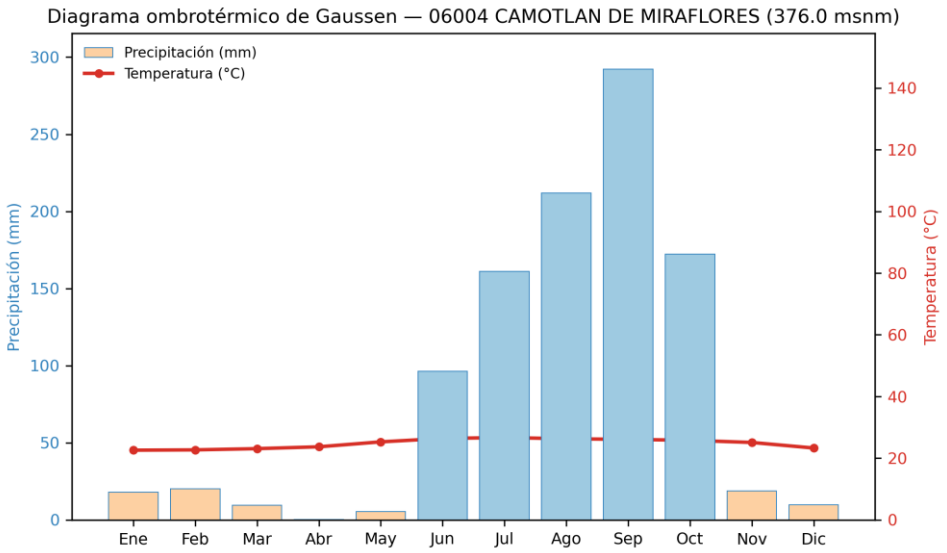


Figura 8. Diagrama ombrotérmico de Gaussen — estación 06004 Camotlán de Miraflores, 376 m s. n. m. Máximo pluvial de 292.1 mm en septiembre, el más alto de las cuatro estaciones costeras, por su posición de barlovento.

Fuente: la misma.

Camotlán de Miraflores, a 376 m s. n. m. sobre la vertiente de barlovento, conserva los siete meses secos del patrón costero pero eleva la lámina húmeda: su máximo de septiembre, 292.1 mm, es el más alto de las cuatro estaciones costeras y empuja el total anual hasta 1,015.9 mm. En esta estación el ascenso orográfico ya se percibe, aunque todavía sin alterar la duración del estío.

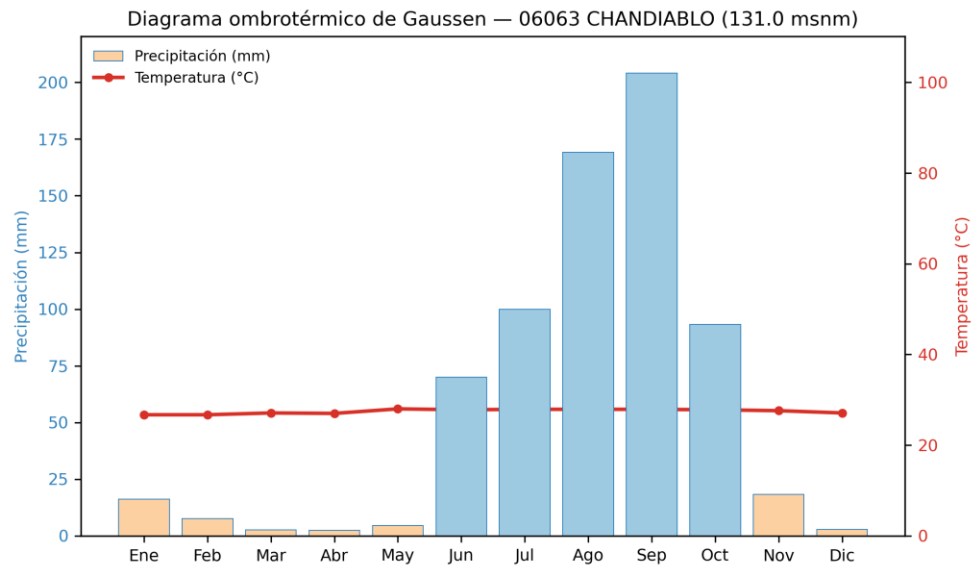


Figura 9. Diagrama ombrotérmico de Gaussen — estación 06063 Chandiablo, 131 m s. n. m. El periodo seco más acentuado de todas, congruente con su condición de abrigo orográfico.

Fuente: la misma.

Chandiablo, a 131 m s. n. m. y en posición de abrigo orográfico, exhibe el estío más severo del conjunto: con apenas 690.7 mm anuales —la lámina más baja de las cinco estaciones— y la media más cálida, 27.5 °C, concentra en junio–octubre el 92.1 % de su lluvia, la fracción más alta registrada. Su ombrotérmico marca el extremo seco del gradiente dentro del dominio costero de la Región Ecológica.

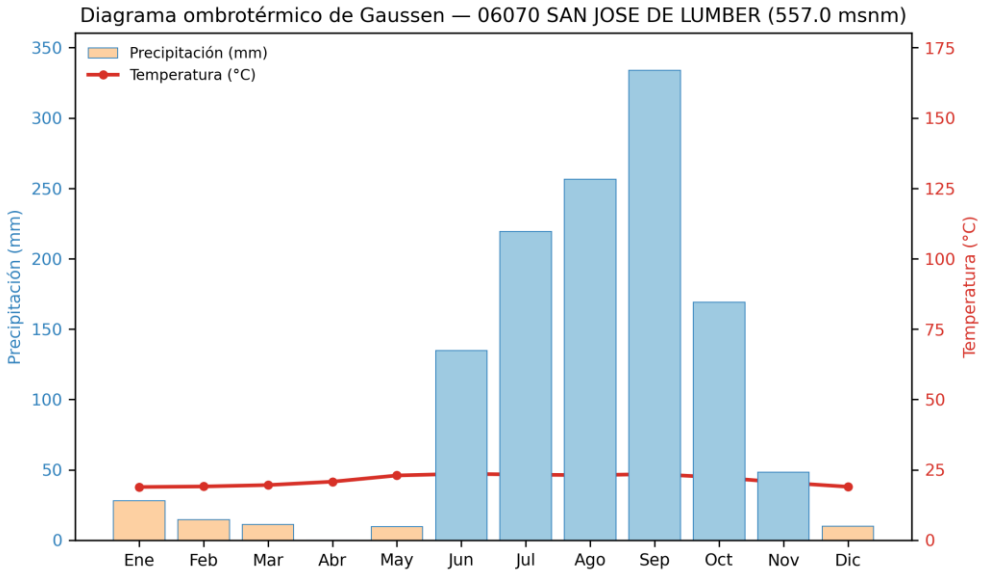


Figura 10. Diagrama ombrotérmico de Gaussen — estación 06070 San José de Lumber, 557 m s. n. m. Única estación con seis meses secos, en la transición hacia el clima serrano.

Fuente: la misma.

Las cuatro estaciones costeras exhiben un patrón ombrotérmico idéntico en estructura: una temporada seca prolongada de **siete meses** —de noviembre a mayo— y una temporada húmeda de **cinco meses** —de junio a octubre—. En ninguna de ellas la curva de temperatura desciende por debajo de la de precipitación durante la temporada seca, lo que confirma la severidad del estrés hídrico estacional. La estación serrana de San José de Lumber es la única que reduce el período seco a seis meses, señal de que a los 557 m de altitud comienza la transición hacia un régimen más húmedo, ya fuera del dominio climático de la Región Ecológica.

En conjunto, el régimen ombrotérmico corresponde de manera inequívoca a un **clima tropical estacionalmente seco**, marco bioclimático que explica el predominio de la selva baja caducifolia y la pérdida foliar sincrónica de su estrato arbóreo durante la temporada seca. La consecuencia operativa es doble: la temporada seca es la ventana natural para las actividades de desmonte, por minimizar la afectación a la fauna reproductiva; y la temporada de lluvias es la ventana obligada para las obras de conservación y la reforestación.

Índices climáticos derivados

Para precisar el grado de aridez y la concentración estacional de la lluvia se calcularon tres índices de uso estandarizado. El **índice de aridez de De Martonne (1926)**:

$I_m = P / (T + 10)$

el **factor de lluvia de Lang (1920)**:

$I_L = P / T$

y el **índice de concentración de la precipitación de Oliver (1980)**:

$PCI = 100 \cdot \Sigma p_i^2 / (\Sigma p_i)^2$

donde *P* y *T* son la precipitación anual, en milímetros, y la temperatura media anual, en grados Celsius, y p_i la precipitación del mes *i*.

Tabla 11. Índices climáticos derivados por estación (Normales 1991–2020).

Estación	P (mm)	T (°C)	P/T	I_m	Clasificación De Martonne	I_L	Clasificación Lang	PCI	Concentración
06018 Manzanillo (OBS)	935.4	27.1	34.5	25.21	Subhúmedo	34.52	Árido, zona de sabana	17.20	Marcada
06069 Punta de Agua (DGE)	917.2	26.8	34.2	24.92	Subhúmedo	34.22	Árido, zona de sabana	18.27	Marcada
06004 Camotlán de Miraflores	1,015.9	24.8	41.0	29.19	Subhúmedo	40.96	Húmedo de estepas y sabanas	19.04	Marcada
06063 Chandiablo	690.7	27.5	25.1	18.42	Semiárido mediterráneo	25.12	Árido, zona de sabana	19.81	Marcada
06070 San José de Lumber	1,235.4	21.4	57.7	39.34	Subhúmedo	57.73	Húmedo de estepas y sabanas	18.07	Marcada

Fuente: cálculo propio con normales SMN-CONAGUA 1991–2020. Umbrales — De Martonne: 10–20 semiárido o mediterráneo, 20–30 subhúmedo, 30–60 húmedo. Lang: 20–40 zona árida de sabana, 40–60 zona húmeda de sabanas y bosques ralos. PCI: 11–15 moderada, 16–20 marcada, superior a 20 fuerte irregularidad.

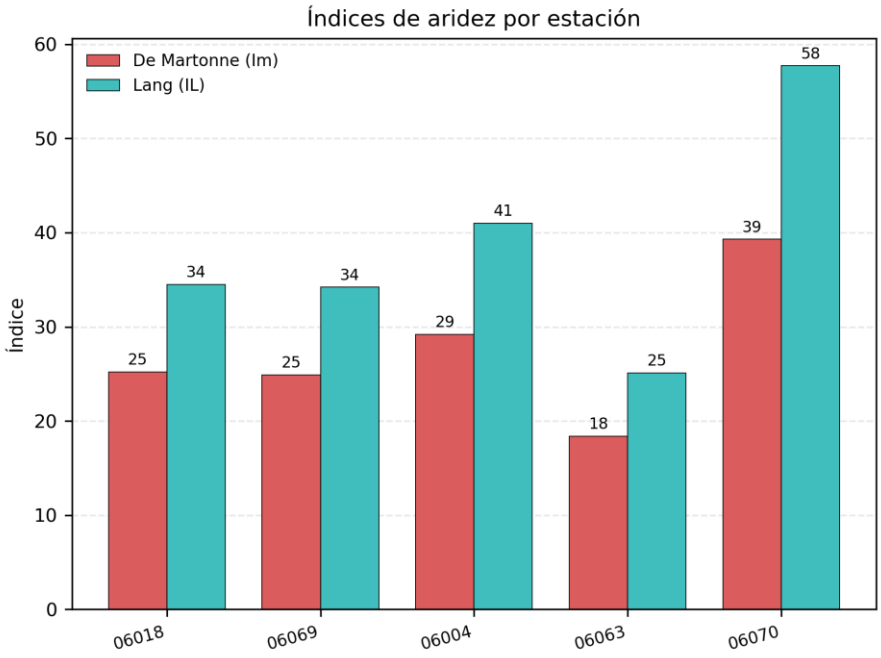


Figura 11. Índices de aridez de De Martonne y de Lang por estación.

Fuente: elaboración propia con base en las normales climatológicas SMN-CONAGUA 1991–2020.

Los tres índices convergen en caracterizar el entorno de la Región Ecológica como un ambiente **subhúmedo seco con marcada estacionalidad**, plenamente consistente con la asignación Aw0(w) de la carta de INEGI. Las **cuatro estaciones costeras** presentan cocientes P/T de 25.1 a 41.0, todos **inferiores al umbral de 43.2** que separa el subtipo Aw0 de los subtipos más húmedos: la corroboración cuantitativa de la clase cartográfica es completa. La estación serrana 06070, con un cociente P/T de 57.7, queda por encima de ese umbral; pero se sitúa a 11.8 km del polígono y a 557 m s. n. m., fuera del dominio de la unidad climática de la Región Ecológica, y su valor documenta precisamente la magnitud del gradiente orográfico, no la condición de la cuenca.

El índice de Oliver, con valores de 17.2 a 19.8 en todas las estaciones, indica una **concentración estacional marcada** de la precipitación. Combinado con la extrema concentración estival ya documentada, configura un régimen de alta agresividad pluvial: es la lluvia, y no el viento, el agente erosivo dominante de la Región Ecológica, y es en cinco meses del año cuando se juega la totalidad de su balance hídrico.

III.2.1.2 Riesgos y fenómenos meteorológicos

Por su posición costera en el Pacífico tropical mexicano, la Región Ecológica está expuesta a fenómenos naturales cuya peligrosidad evalúa la cartografía oficial del Atlas Nacional de Riesgos. Todas las capas presentan **clase única** en la superficie de la Región Ecológica, por lo que su representación se resuelve por mapa y no por gráfica de distribución.

Tabla 12. Grado de riesgo por fenómeno natural en la Región Ecológica.

Fenómeno	Grado en la RE	Superficie (ha)	% de la RE	Fuente
Ciclones tropicales	Medio	5,992.43	100.00	CENAPRED
Sismicidad (regionalización sísmica)	Muy alto	5,992.43	100.00	Comisión Federal de Electricidad
Vulnerabilidad a inundación	Media	5,992.43	100.00	CENAPRED

Fenómeno	Grado en la RE	Superficie (ha)	% de la RE	Fuente
Tormentas eléctricas	Bajo	5,992.43	100.00	CENAPRED
Granizo	Muy bajo	5,992.43	100.00	CENAPRED
Sequía	Muy bajo	5,992.43	100.00	CENAPRED

Fuente: CENAPRED, Atlas Nacional de Riesgos; Comisión Federal de Electricidad, Manual de Diseño de Obras Civiles — Diseño por Sismo. Superficies normalizadas a la superficie canónica de la RE. Los mismos grados aplican al Área de Influencia y al Área del Proyecto, que quedan íntegramente contenidos en la clase única de cada capa.

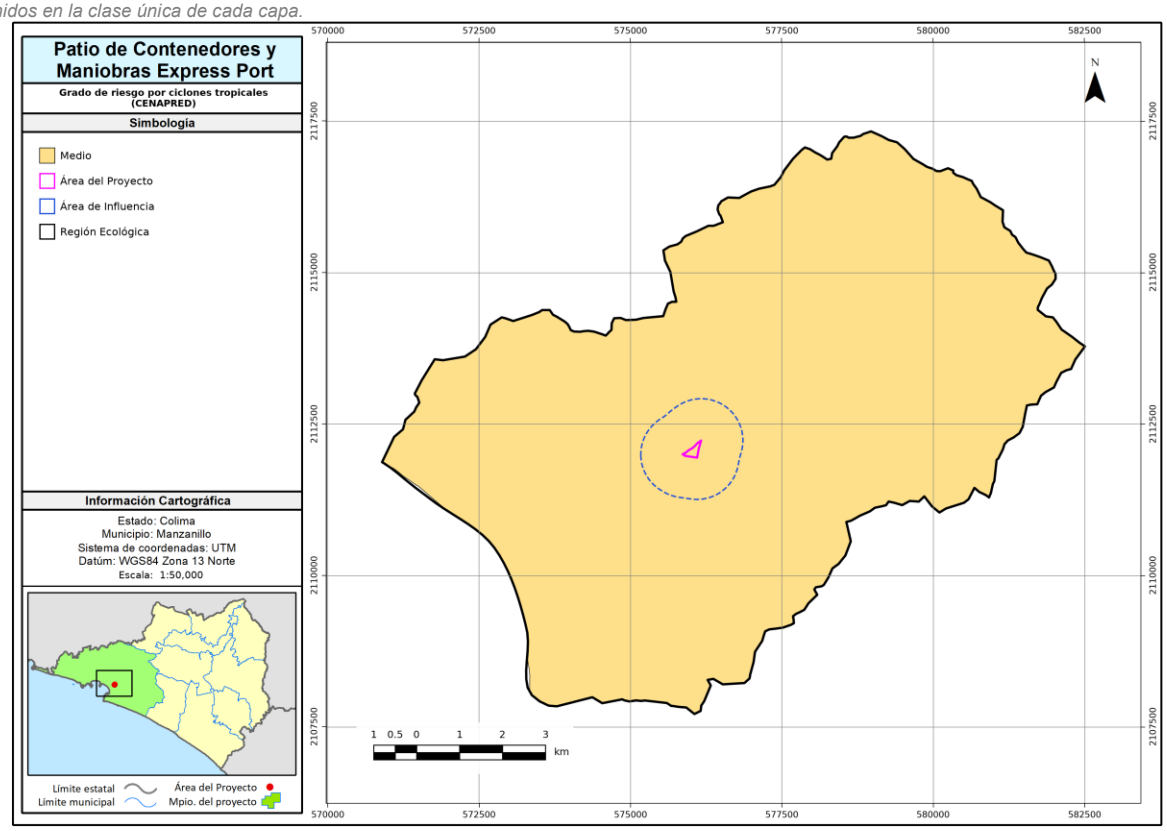


Figura 12. Grado de riesgo por ciclones tropicales en la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED).

El mapa de peligro por ciclones tropicales asigna el grado medio a la totalidad de la Región Ecológica, en clase única sobre las 5,992.43 ha. Es la amenaza hidrometeorológica de referencia de la costa de Colima: define, junto con la concentración estival de la lluvia, el escenario de precipitaciones intensas de origen ciclónico frente al que deberá dimensionarse el drenaje pluvial del proyecto.

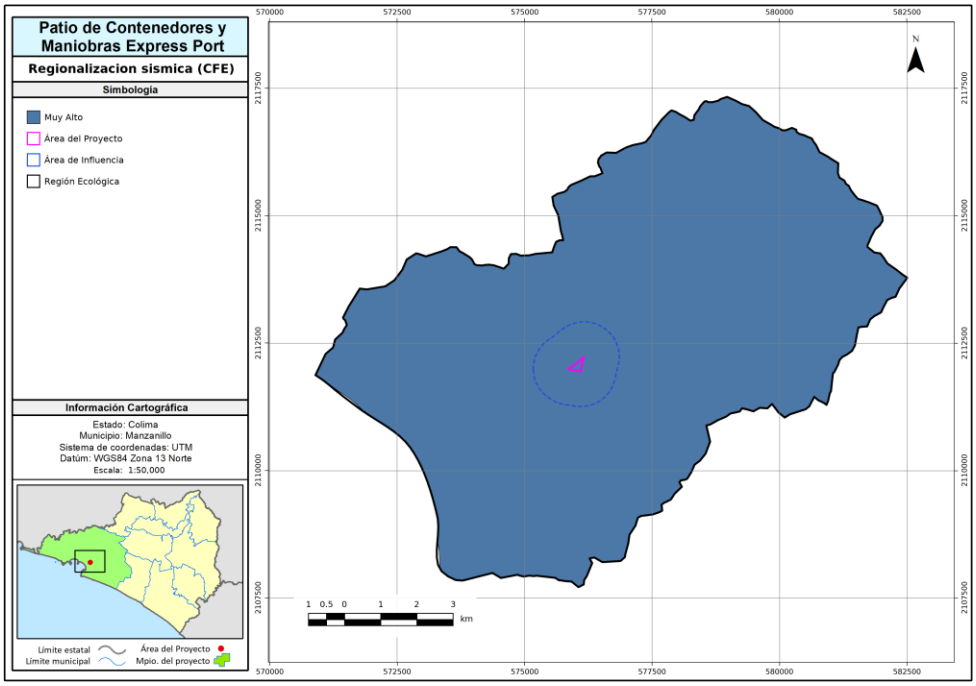


Figura 13. Regionalización sísmica de la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en la regionalización sísmica de la Comisión Federal de Electricidad.

La regionalización sísmica clasifica la Región Ecológica en el grado muy alto, el máximo de la escala nacional, sobre el 100 % de su superficie. Su origen es tectónico —el contacto de las placas de Rivera, Cocos y Norteamericana frente a la costa— y constituye, con diferencia, el peligro de mayor grado del cuadro: una restricción de diseño estructural ajena al proyecto pero ineludible en su memoria de cálculo.

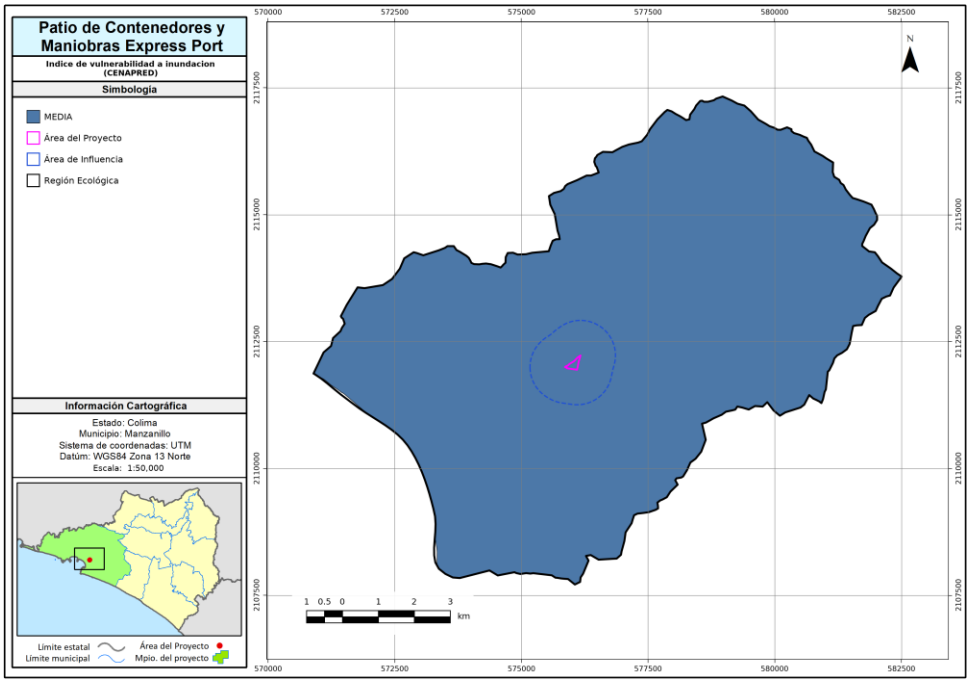


Figura 14. Índice de vulnerabilidad a inundación en la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED).

La vulnerabilidad a inundación se cartografía en grado medio para el conjunto de la Región Ecológica. Sobre una llanura costera de pendiente reducida y drenaje intermitente, esa clase media adquiere sentido físico: los

pulsos ciclónicos estivales descargan sobre un relieve plano que evacúa el agua con lentitud. El dato refuerza la exigencia de un manejo pluvial cuidadoso en el patio de maniobras, emplazado precisamente sobre ese piso llano.

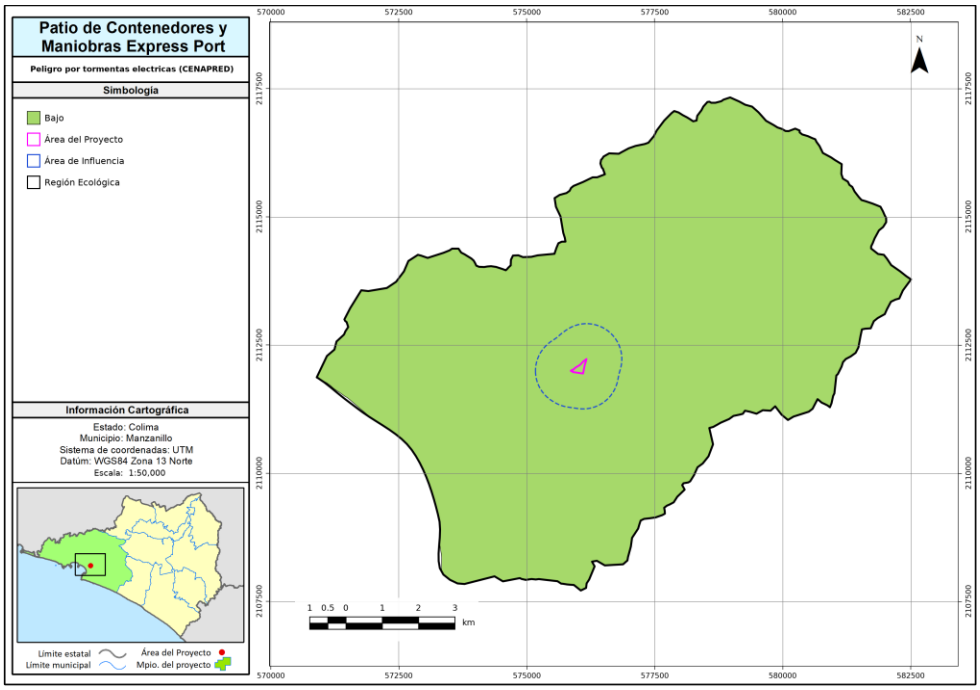


Figura 15. Peligro por tormentas eléctricas en la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED).

El peligro por tormentas eléctricas es bajo en toda la Región Ecológica. A diferencia de las dos amenazas anteriores, no condiciona el diseño del proyecto: su grado, uno de los menores del cuadro, indica una incidencia de descargas atmosféricas poco frecuente en el litoral de Manzanillo. La representación se resuelve por mapa porque la clase es única sobre las 5,992.43 ha.

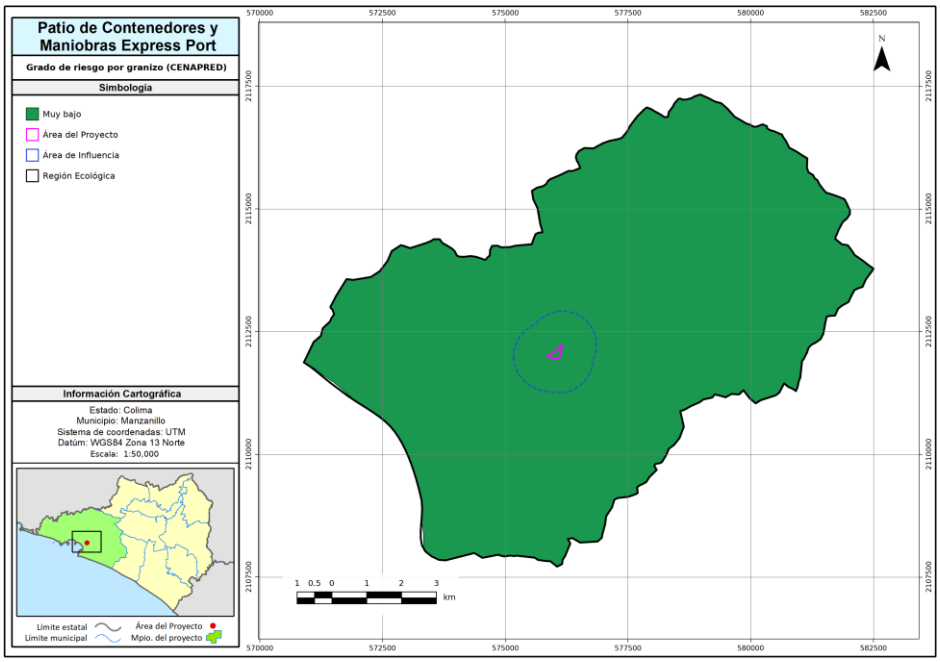


Figura 16. Grado de riesgo por granizo en la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED).

El grado de riesgo por granizo es muy bajo en la totalidad de la Región Ecológica, el mínimo de la escala. Es coherente con un clima cálido de piso costero, donde las condiciones térmicas para la formación de granizo rara vez se presentan. Como las restantes capas de peligro de clase única, no representa una amenaza de primer orden para el proyecto y su expresión se resuelve por mapa.

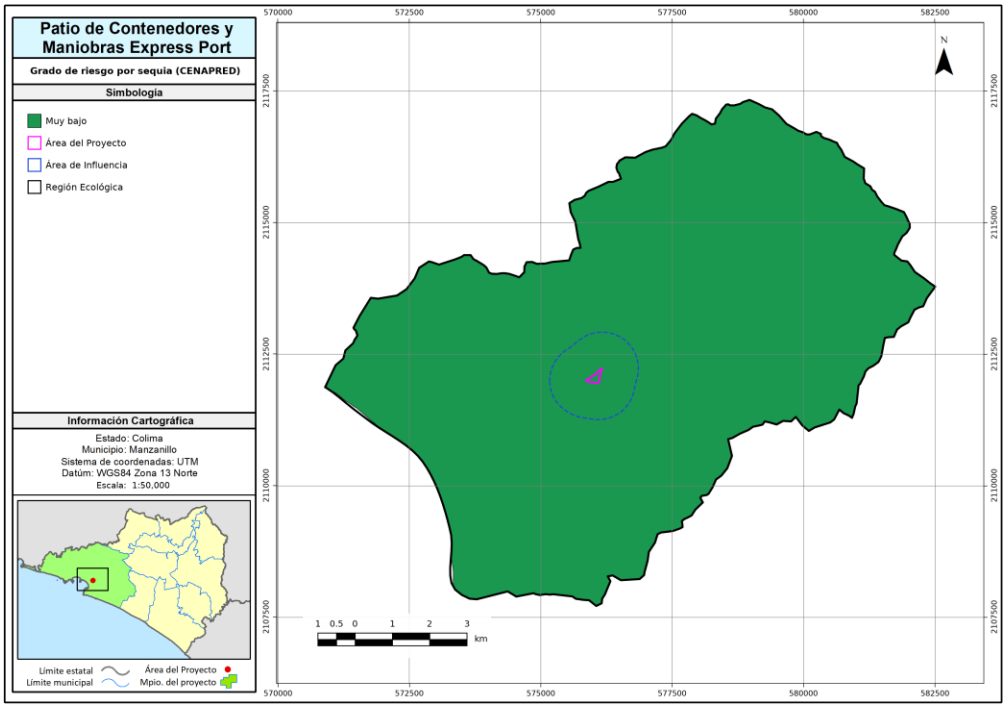


Figura 17. Grado de riesgo por sequía en la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED).

El perfil de peligro de la Región Ecológica está dominado por dos amenazas de origen distinto. La primera es **sísmica**, y es la de mayor grado: la costa de Colima se sitúa sobre el contacto de las placas de Rivera, Cocos y Norteamericana, y la regionalización de la Comisión Federal de Electricidad la clasifica en el grado **muy alto**, el máximo de la escala nacional. Esta condición no es atribuible al proyecto ni modificable por él, pero constituye una restricción de diseño estructural de primer orden, cuyo tratamiento corresponde a la memoria de cálculo estructural de la obra.

La segunda es **hidrometeorológica**. El grado medio de riesgo por ciclones tropicales, combinado con la vulnerabilidad media a inundación y con la concentración estival de la lluvia ya documentada, define el escenario de diseño hidráulico del proyecto: precipitaciones intensas de origen ciclónico, concentradas de junio a octubre, sobre una llanura costera de pendiente reducida. Los peligros por granizo, tormentas eléctricas y sequía extraordinaria son bajos o muy bajos y no representan una amenaza de primer orden.

Conviene precisar el sentido del grado **muy bajo por sequía**. El clima presenta una temporada seca de siete meses, pero ésa es la estacionalidad normal del régimen Aw0(w) y no una condición de sequía meteorológica anómala recurrente. El Atlas recoge esa distinción al asignar un peligro muy bajo por sequía de carácter extraordinario. No hay contradicción entre un clima estacionalmente seco y un riesgo bajo de sequía.

III.2.1.3 Geología

Tabla 13. Unidades geológicas de la Región Ecológica.

Unidad geológica	Superficie (ha)	% de la RE
Granito–Granodiorita	3,231.72	53.93
Aluvial	1,308.75	21.84

Unidad geológica	Superficie (ha)	% de la RE
Litoral	778.42	12.99
Diorita	240.30	4.01
Andesita–Caliza	178.57	2.98
Andesita	110.26	1.84
No aplicable (cuerpos de agua y zonas urbanas)	100.67	1.68
Toba andesítica–Limolita	43.74	0.73
Total	**5,992.43**	**100.00**

Fuente: Servicio Geológico Mexicano, carta geológico-minera. Superficies normalizadas a la superficie canónica de la RE.

A escala de la Región Ecológica, ocho unidades litológicas comparten el territorio, pero una sola —el granito-granodiorita— reúne más de la mitad de la superficie, con el 53.93 %. Los depósitos aluviales (21.84 %) y litorales (12.99 %) le siguen en extensión, y las cinco unidades restantes, junto con el 1.68 % de cuerpos de agua y zonas urbanas sin adscripción litológica, ocupan porciones menores. El predominio del macizo cristalino sobre los depósitos no consolidados anticipa la partición física de la cuenca.

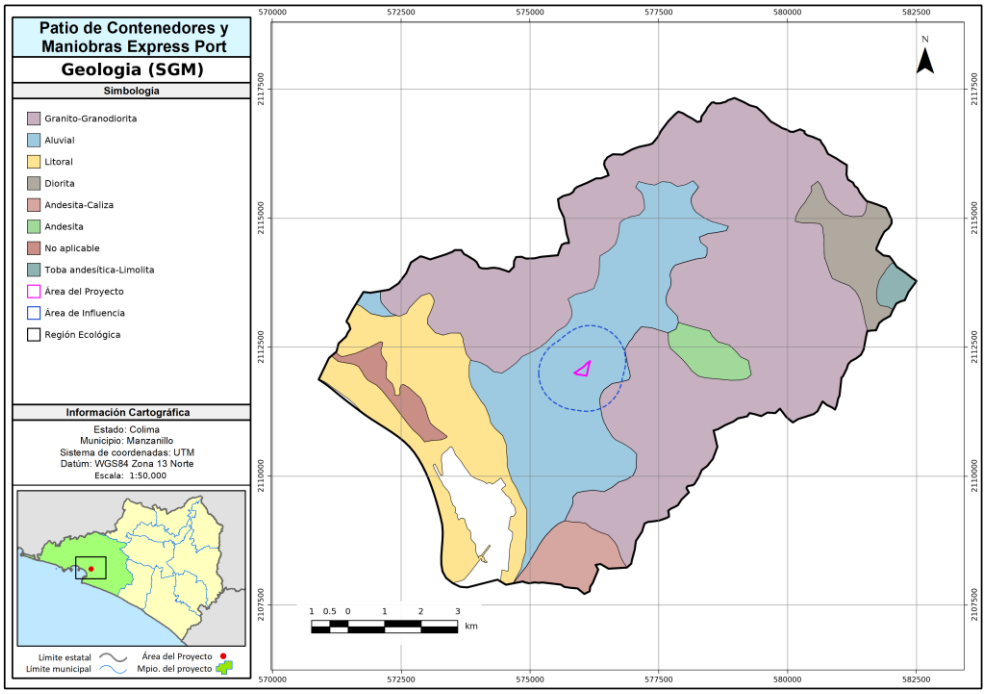


Figura 18. Unidades geológicas de la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en la carta geológico-minera del Servicio Geológico Mexicano.

El mapa geológico traduce esa composición a una geografía nítida: el macizo de granito-granodiorita ocupa en bloque el sector serrano del norte, mientras que los depósitos aluviales y litorales tapizan la llanura costera del sur, en contacto con el sistema lagunar. Es la frontera entre ambos dominios, y no un mosaico disperso, lo que organiza el relieve, el drenaje y los suelos de la Región Ecológica.

Tabla 14. Unidades geológicas en las tres escalas.

Unidad geológica	RE (ha)	RE (%)	AI (ha)	AI (%)	AP (ha)	AP (%)
Granito–Granodiorita	3,231.72	53.93	11.50	5.31	—	—
Aluvial	1,308.75	21.84	205.12	94.69	3.4097	100.00
Litoral	778.42	12.99	—	—	—	—

Unidad geológica	RE (ha)	RE (%)	AI (ha)	AI (%)	AP (ha)	AP (%)
Diorita	240.30	4.01	—	—	—	—
Andesita–Caliza	178.57	2.98	—	—	—	—
Andesita	110.26	1.84	—	—	—	—
No aplicable	100.67	1.68	—	—	—	—
Toba andesítica–Limolita	43.74	0.73	—	—	—	—
Total	**5,992.43**	**100.00**	**216.62**	**100.00**	**3.4097**	**100.00**

[[REV:

Fuente: la misma de la Tabla 13 (Servicio Geológico Mexicano, carta geológico-minera). Superficies de la RE normalizadas a la superficie canónica.]]*

La Región Ecológica presenta una estructura geológica **bipartita**, y esta dualidad organiza todo el resto de su caracterización física. Más de la mitad de la superficie —el 53.93 %— corresponde a un macizo intrusivo de **granito y granodiorita**, roca cristalina, resistente y de baja permeabilidad primaria, que constituye el basamento de la Sierra Alta Compleja del sector norte. El segundo bloque, que suma el 34.83 % entre depósitos **aluviales** y **litorales**, ocupa la llanura costera del sur y está formado por materiales no consolidados, de granulometría variable y alta permeabilidad, depositados por los escurrimientos de la propia sierra y por la dinámica marina del sistema lagunar.

Las unidades intermedias —diorita, andesita, andesita-caliza y toba andesítica-limolita— suman en conjunto el 9.56 % y aparecen como cuerpos menores dentro del dominio serrano; su presencia explica la heterogeneidad litológica que ya había insinuado la progresión de las razones de bifurcación de la red de drenaje.

El **Área del Proyecto se asienta íntegramente sobre depósitos aluviales** (100.00 % de sus 3.4097 ha), y el Área de Influencia lo hace en un 94.69 %. Este hecho tiene tres consecuencias directas. Primero, el sustrato es de alta permeabilidad, lo que sitúa al predio en una zona de recarga del acuífero y hace de la impermeabilización el impacto abiótico más relevante del proyecto. Segundo, es un material no consolidado, sin la resistencia de la roca cristalina, lo que exige atención al control de la erosión durante la etapa de preparación del sitio. Tercero, la ausencia de roca aflorante o de macizo rocoso simplifica la excavación y elimina la necesidad de voladuras, suprimiendo de raíz una fuente de impacto por vibración y ruido.

III.2.1.4 Fisiografía y sistema de topoformas

Tabla 15. Provincia y subprovincia fisiográfica de la Región Ecológica.

Nivel	Unidad	Clave	Superficie (ha)	% de la RE
Provincia	Sierra Madre del Sur	—	5,992.43	100.00
Subprovincia	Sierras de la Costa de Jalisco y Colima	65	5,860.00	97.79
Subprovincia	Sin asignación (cuerpo de agua perenne del sistema lagunar)	H2O	132.43	2.21
Total			**5,992.43**	**100.00**

Fuente: INEGI, carta fisiográfica escala 1:1,000,000; atributos `NOMBRE`, `CLAVE` y `FC` de la capa fisiográfica recortada a la Región Ecológica. La capa recortada declara la subprovincia; la adscripción de la subprovincia 65 a la provincia Sierra Madre del Sur corresponde al esquema fisiográfico de INEGI, en el que dicha provincia se divide, en el estado de Colima, en las subprovincias Sierras de la Costa de Jalisco y Colima y Cordillera Costera del Sur. Superficies normalizadas a la superficie canónica de la RE.

La Región Ecológica pertenece en su totalidad a la provincia Sierra Madre del Sur y, dentro de ella, a la subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima, que cubre el 97.79 % de la superficie. El 2.21 % restante —las 132.43 ha del cuerpo de agua perenne del sistema lagunar— queda sin asignación fisiográfica porque la carta no clasifica las láminas de agua. Una sola subprovincia enmarca, pues, la unidad completa.

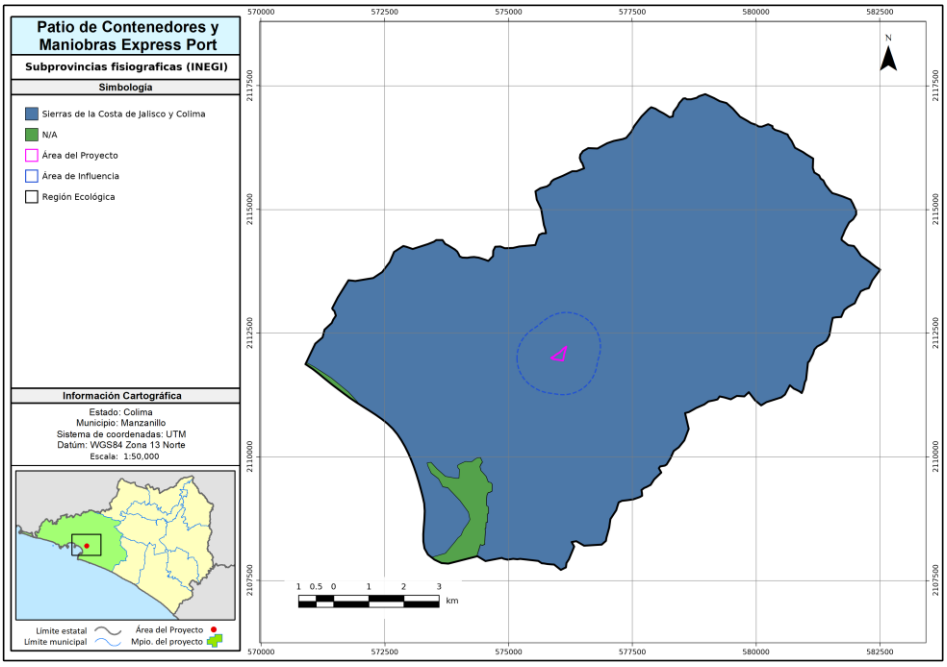


Figura 19. Subprovincia fisiográfica de la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en la carta fisiográfica de INEGI.

El plano de subprovincias muestra una sola clase continua sobre casi toda la Región Ecológica, sin fragmentación interna: la única discontinuidad es el enclave lagunar sin adscripción, en el extremo costero. Esta uniformidad fisiográfica contrasta con la heterogeneidad litológica del sustrato y confirma que, al nivel de subprovincia, la cuenca constituye una unidad de paisaje homogénea de la Sierra Madre del Sur.

Tabla 16. Sistema de topoformas en las tres escalas.

Topoforma	RE (ha)	RE (%)	AI (ha)	AI (%)	AP (ha)	AP (%)
Sierra Alta Compleja	3,579.28	59.73	—	—	2.60	76.38
Llanura Costera con Lagunas Costeras	2,280.72	38.06	—	—	0.81	23.62
Sin asignación	132.43	2.21	—	—	—	—
Total	**5,992.43**	**100.00**			**3.4097**	**100.00**

Fuente: INEGI, carta fisiográfica. No se dispone de topoformas al nivel del Área de Influencia; esta escala se remite a la descripción de la RE.

El sistema de topoformas desagrega la subprovincia en dos formas contrastadas: la Sierra Alta Compleja, con el 59.73 % de la Región Ecológica, y la Llanura Costera con Lagunas Costeras, con el 38.06 %. En el Área del Proyecto la carta reparte el predio entre ambas —el 76.38 % a la sierra y el 23.62 % a la llanura—, una asignación que el modelo de elevación de detalle matiza más adelante. La escala del Área de Influencia no se resuelve a este nivel.

La Región Ecológica pertenece íntegramente a la subprovincia **Sierras de la Costa de Jalisco y Colima**, dentro de la provincia Sierra Madre del Sur. El 2.21 % sin asignación corresponde a los cuerpos de agua del sistema lagunar, que la carta fisiográfica no clasifica.

El sistema de topoformas reproduce con exactitud la dualidad geológica: la **Sierra Alta Compleja**, sobre el macizo granítico, ocupa el 59.73 % de la superficie; la **Llanura Costera con Lagunas Costeras**, sobre los depósitos aluviales y litorales, el 38.06 %. La correspondencia entre litología y forma del relieve es prácticamente unívoca, lo que confirma que el modelado geomorfológico de la cuenca es un producto directo de su sustrato.

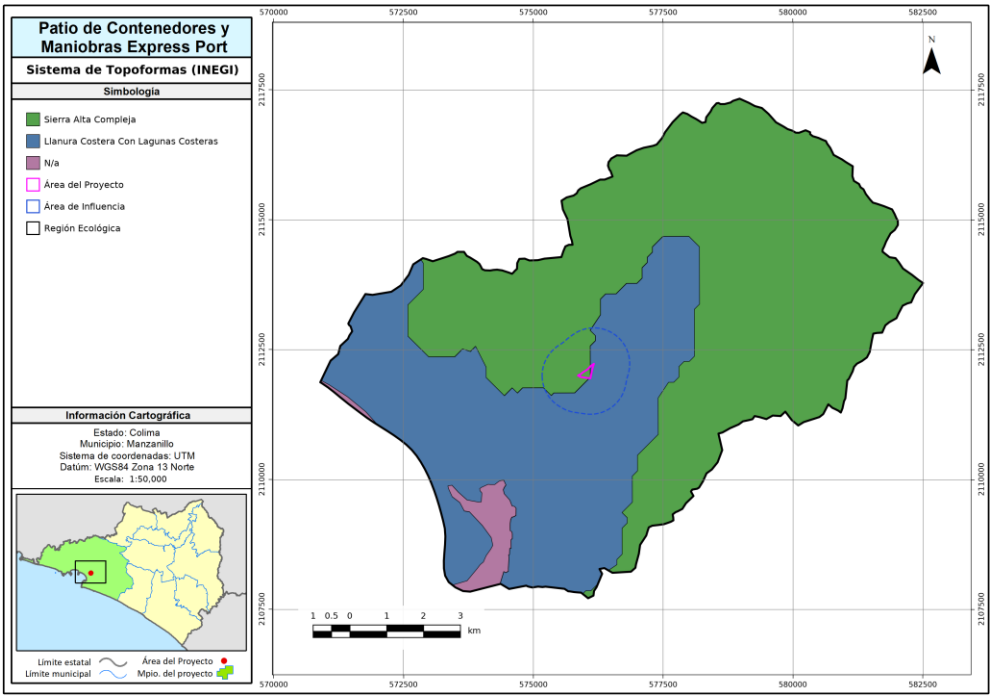


Figura 20. Sistema de topoformas de la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en la carta fisiográfica de INEGI.

La asignación de las topoformas dentro del Área del Proyecto merece una precisión. La carta fisiográfica de INEGI, a escala 1:1,000,000, adjudica un 76.38 % del predio a la Sierra Alta Compleja; sin embargo, el modelo digital de elevación de detalle sitúa el predio entre las cotas **29.8 y 34.7 m s. n. m.**, con una pendiente media de **2.39 %** y un relieve total de 4.9 m. La discrepancia es un artefacto de la escala cartográfica: un polígono de 3.4 ha no puede resolverse con una carta cuya unidad mínima cartografiable ronda las decenas de kilómetros cuadrados. **La condición real del terreno es la de llanura costera**, y así se le trata en el análisis topográfico que sigue y en todos los cálculos del capítulo siguiente. Este señalamiento no corrige la carta de INEGI, que se reporta tal como es; establece cuál de las dos fuentes describe la realidad del predio a la escala en que se evalúa el proyecto.

III.2.1.5 Topografía: elevación, pendiente y exposición

El relieve se caracterizó a partir del modelo digital de elevación. En la Región Ecológica se empleó el Continuo de Elevaciones Mexicano de INEGI, con celda de 14.9 m; en el Área de Influencia y en el Área del Proyecto, el modelo de detalle del proyecto, con celda de 5.0 m. **La superficie de cada clase se obtuvo por conteo de píxeles multiplicado por el área del píxel**, no por estimación.

Elevación

Tabla 17. Parámetros de elevación por escala.

Escala	Elevación mínima (m)	Elevación media (m)	Elevación máxima (m)	Relieve (m)	Integral hipsométrica	Celda del modelo (m)
RE	−2.0	162.0	916.0	918.0	0.179	14.9
AI	22.3	34.5	84.9	62.7	0.194	5.0
AP	29.8	31.9	34.7	4.9	0.417	5.0

Fuente: elaboración propia con base en el Continuo de Elevaciones Mexicano de INEGI (RE, celda 14.9 m) y en el modelo digital de elevación de detalle del proyecto (AI y AP, celda 5.0 m).

La tabla ordena la elevación por las tres escalas anidadas y revela un descenso monotónico del relieve conforme se afina el análisis: 918 m en la Región Ecológica, 62.7 m en el Área de Influencia y apenas 4.9 m en el Área del Proyecto. Las elevaciones medias acompañan esa progresión —162.0, 34.5 y 31.9 m—, lo que sitúa a cada escala menor sobre un fragmento cada vez más bajo y plano de la cuenca que la contiene.

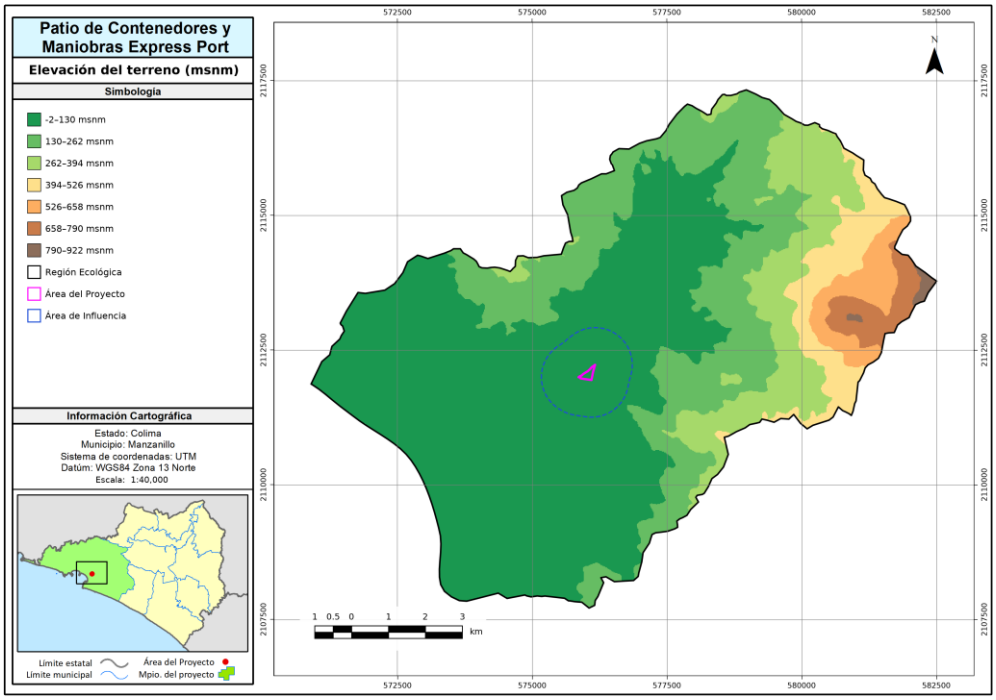


Figura 21. Elevación de la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en el Continuo de Elevaciones Mexicano de INEGI.

El gradiente altitudinal de la Región Ecológica supera los 900 m, desde la cota −2 m en las depresiones del sistema lagunar hasta los 916 m de las cumbres serranas. La elevación media de 162 m, muy por debajo del punto medio del rango, es la expresión numérica de la misma senectud geomorfológica que denuncia la integral hipsométrica.

El contraste entre escalas es revelador. El Área del Proyecto tiene un relieve total de **4.9 m** —dos órdenes de magnitud por debajo del de la cuenca— y una integral hipsométrica de 0.417 que, en una superficie tan pequeña, no describe un estadio evolutivo sino simplemente una superficie suavemente convexa. **El predio es topográficamente plano.**

Pendiente

Tabla 18. Distribución de la pendiente por rangos (Carmona, 1985), en las tres escalas.

Rango de pendiente	RE (ha)	RE (%)	AI (ha)	AI (%)	AP (ha)	AP (%)
0–2 %	629.70	10.51	68.31	31.88	1.8296	53.66
2–5 %	1,145.98	19.12	90.95	42.44	1.3419	39.36
5–10 %	560.34	9.35	34.27	15.99	0.1815	5.32
10–15 %	732.61	12.23	7.78	3.63	0.0567	1.66
15–25 %	1,225.97	20.46	5.67	2.64	0.0000	0.00
25–50 %	1,573.16	26.25	5.95	2.78	0.0000	0.00
50–75 %	122.57	2.05	1.21	0.56	0.0000	0.00
> 75 %	2.11	0.04	0.15	0.07	0.0000	0.00
Total	**5,992.43**	**100.00**	**216.62**	**100.00**	**3.4097**	**100.00**
Pendiente media	*17.31 %*		*5.15 %*		*2.39 %*	

Fuente: elaboración propia con base en el modelo digital de elevación (Continuo de Elevaciones Mexicano de INEGI y modelo de detalle del proyecto). Superficies por conteo de píxeles. Rangos de Carmona (1985).

La distribución por rangos de Carmona reparte la Región Ecológica entre las ocho clases de pendiente, y las dos más inclinadas —el 15–25 % con el 20.46 % y el 25–50 % con el 26.25 %— son a la vez las de mayor extensión: casi la mitad de la cuenca supera el 15 % de inclinación. En el extremo opuesto, la columna del

Área del Proyecto registra 0.00 ha en todas las clases por encima del 15 %, la primera señal cuantitativa de que el predio ocupa el sector más tendido del territorio.

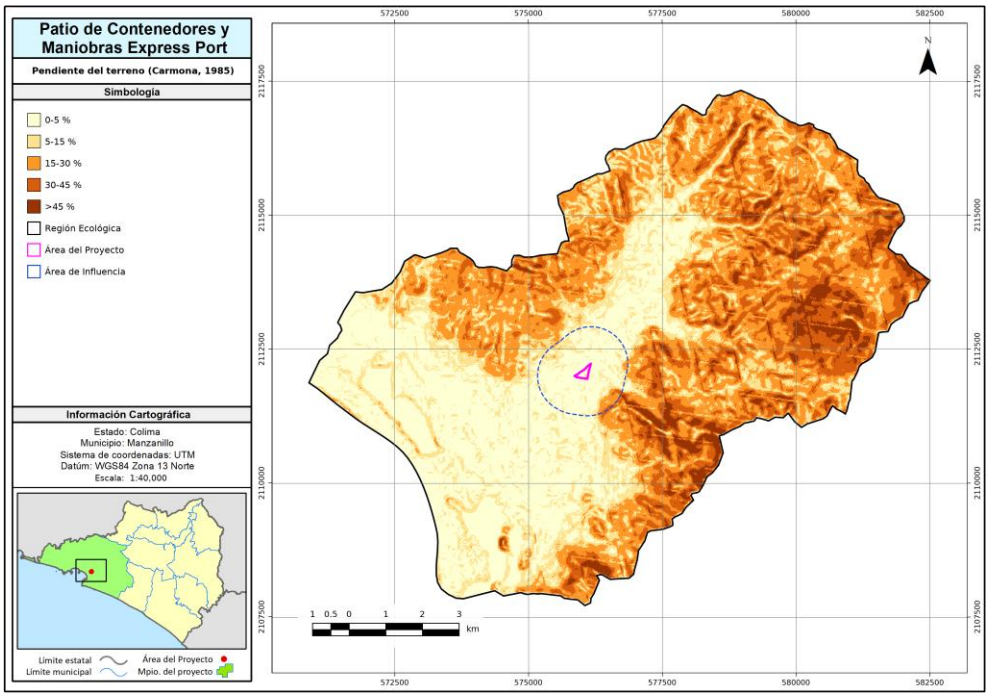


Figura 22. Distribución de la pendiente en la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en el modelo digital de elevación.

La Región Ecológica es, en conjunto, un territorio **inclinado**: el 48.80 % de su superficie supera el 15 % de pendiente, y más de la cuarta parte —el 26.25 %— se encuentra entre el 25 y el 50 %. La pendiente media de 17.31 % corresponde a la dominancia del dominio serrano.

La lectura por escalas invierte por completo ese cuadro. En el Área de Influencia, el 74.32 % de la superficie tiene pendientes inferiores al 5 % y solo el 9.68 % supera el 10 %. En el **Área del Proyecto, el 93.02 % del terreno tiene pendiente inferior al 5 %**, ningún píxel supera el 15 %, y la pendiente media es de **2.39 %**. El predio se localiza, por tanto, en el sector topográficamente más benigno de toda la Región Ecológica.

Esta circunstancia tiene un peso considerable en la evaluación del proyecto, porque la pendiente es el factor que gobierna la erosión hídrica: el factor topográfico LS de la ecuación universal de pérdida de suelo crece de manera no lineal con ella. Una obra emplazada sobre un terreno de pendiente casi nula genera, para la misma superficie removida, una fracción de la pérdida de suelo que produciría en las laderas serranas que dominan la cuenca. **La ubicación del proyecto es, desde el punto de vista de la conservación del suelo, la más favorable disponible dentro de su Región Ecológica.** Ello no elimina el impacto —la remoción de la cubierta vegetal lo genera igualmente—, pero acota su magnitud y explica por qué las medidas de conservación previstas resultan suficientes para compensarlo, como se demuestra en el capítulo siguiente.

Exposición

Tabla 19. Exposición del terreno en las tres escalas.

Orientación	RE (ha)	RE (%)	AI (ha)	AI (%)	AP (ha)	AP (%)
Plano	629.70	10.51	68.31	31.88	1.8296	53.66
Norte	573.01	9.56	11.17	5.21	0.0284	0.83
Noreste	305.54	5.10	6.62	3.09	0.0079	0.23
Este	338.15	5.64	8.13	3.80	0.1418	4.16
Sureste	508.32	8.48	17.81	8.31	0.2461	7.22
Sur	717.20	11.97	32.40	15.12	0.3607	10.58

Orientación	RE (ha)	RE (%)	AI (ha)	AI (%)	AP (ha)	AP (%)
Suroeste	980.05	16.35	27.76	12.95	0.4140	12.14
Oeste	1,122.47	18.73	23.81	11.11	0.2529	7.42
Noroeste	817.99	13.65	18.27	8.53	0.1283	3.76
Total	**5,992.43**	**100.00**	**216.62**	**100.00**	**3.4097**	**100.00**

Fuente: elaboración propia con base en el modelo digital de elevación. Superficies por conteo de píxeles.

La exposición del terreno se reparte en la Región Ecológica sin una dominancia rotunda: la clase Plano reúne el 10.51 % —los mismos sectores de pendiente casi nula—, y entre las orientadas destaca el Oeste con el 18.73 %, seguido del Suroeste con el 16.35 %, mientras el Noreste es la menos representada, con el 5.10 %. En el Área del Proyecto, en cambio, más de la mitad del terreno —el 53.66 %— es plano, de modo que la orientación pierde allí todo significado ecológico.

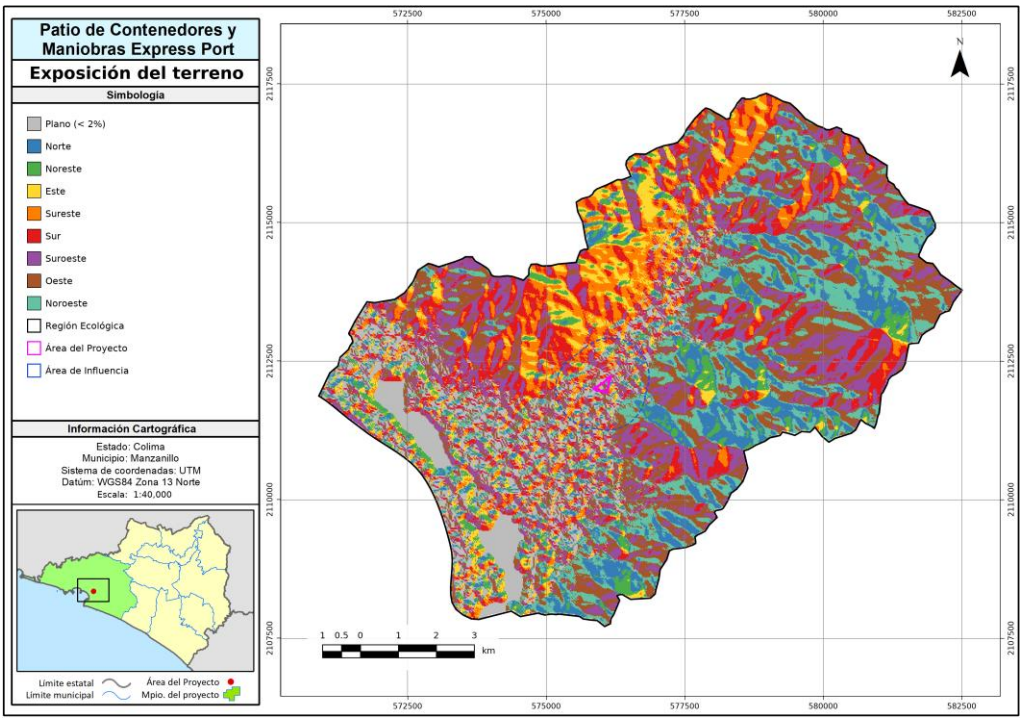


Figura 23. Exposición del terreno en la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en el modelo digital de elevación.

Las laderas de la Región Ecológica se orientan preferentemente al **oeste y suroeste** —el 35.08 % de la superficie entre ambas—, seguidas por el noroeste y el sur. La asimetría es consistente con la disposición de la sierra respecto de la línea de costa y con el drenaje general hacia el sur-suroeste, en dirección al sistema lagunar.

Las exposiciones al sur y al oeste reciben mayor radiación solar directa durante las horas de la tarde, lo que se traduce en una evapotranspiración más alta, un déficit hídrico edáfico más severo durante la temporada seca y, en consecuencia, una selva baja caducifolia de menor porte y con períodos de defoliación más prolongados. Que más de la mitad de las laderas de la cuenca miren al cuadrante sur-oeste explica, en buena medida, el predominio de esta formación sobre las selvas medianas, que se refugian en las exposiciones norte y este.

En el Área del Proyecto el **53.66 % del terreno es plano**, y las orientaciones restantes se reparten sin dominancia clara entre el sur, el suroeste y el sureste. La exposición carece aquí de significado ecológico, dada la nula amplitud del relieve.

III.2.1.6 Edafología

Tabla 20. Unidades de suelo en las tres escalas (grupos de referencia WRB).

Grupo de referencia	RE (ha)	RE (%)	AI (ha)	AI (%)	AP (ha)	AP (%)
Regosol	3,695.53	61.67	8.27	3.82	—	—
Phaeozem	1,327.92	22.16	208.35	96.18	3.4097	100.00
Solonchak	328.39	5.48	—	—	—	—
Fluvisol	11.39	0.19	—	—	—	—
Cuerpo de agua (no es unidad de suelo)	255.28	4.26	—	—	—	—
Localidad, zona urbana (no es unidad de suelo)	373.93	6.24	—	—	—	—
Total	**5,992.43**	**100.00**	**216.62**	**100.00**	**3.4097**	**100.00**

Fuente: INEGI, Conjunto de datos edafológicos escala 1:250,000, Serie II. Nomenclatura WRB (IUSS Grupo de Trabajo, 2007). Superficies normalizadas a la superficie canónica de cada escala. Nótese que «Cuerpo de agua» y «Localidad» son categorías de la carta que no corresponden a unidades edáficas; la Región Ecológica contiene, en rigor, ***cuatro*** *grupos de referencia.*

> **Nota metodológica.** El atributo `Area` de la carta edafológica Serie II declara la superficie

> del polígono **nacional completo**, no la de su porción dentro de la Región Ecológica; su suma

> dentro del recorte asciende a 68.7 millones de hectáreas contra las 5,992.43 ha reales. Las

> superficies de esta tabla se obtuvieron, por tanto, de la **geometría del recorte**, y no del

> atributo. Es la excepción prevista para las capas nacionales sometidas a un proceso espacial.

La tabla condensa el argumento edafológico del capítulo en una inversión de escalas. En la Región Ecológica domina el Regosol, con el 61.67 %, sobre el macizo serrano; pero ese suelo somero está por completo ausente del predio. El Phaeozem, que apenas cubre el 22.16 % de la cuenca, ocupa en cambio el 96.18 % del Área de Influencia y el 100.00 % del Área del Proyecto. El predio se asienta, por tanto, sobre el suelo más fértil y profundo del conjunto.

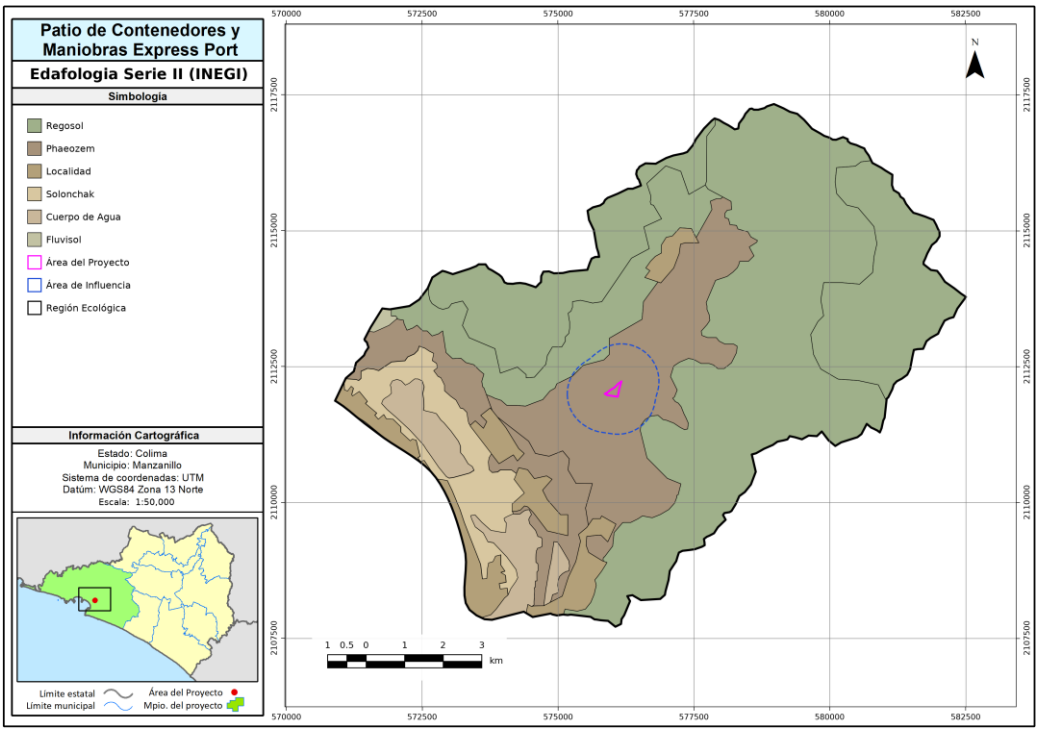


Figura 24. Unidades de suelo de la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en la carta edafológica Serie II de INEGI.

El mapa edafológico de la Región Ecológica reproduce la partición del sustrato: el Regosol tapiza el dominio serrano del norte sobre el granito, el Phaeozem se extiende por la llanura y el piedemonte del sur, y el Solonchak dibuja un cinturón estrecho en torno al sistema lagunar, donde la sal freática lo confina. La distribución de los suelos es, así, un calco de la geología y del relieve de la cuenca.

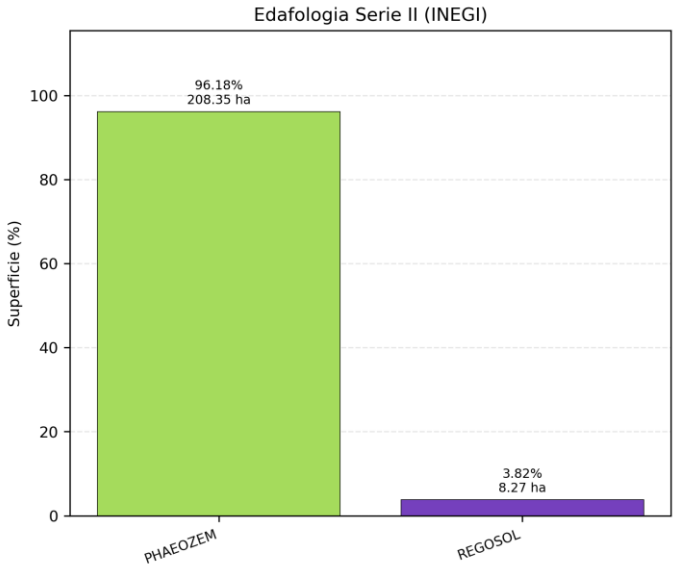


Figura 25. Unidades de suelo del Área de Influencia.

Fuente: elaboración propia con base en la misma carta.

A continuación se describe cada grupo de referencia presente, con sus características edáficas, sus limitaciones y su distribución dentro de la Región Ecológica.

Regosol (61.67 % de la RE). Suelo mineral joven, con poco o ningún desarrollo de perfil, formado sobre material no consolidado de grano fino y sin horizontes de diagnóstico significativos. Constituye la clase residual de la clave WRB —el «otros suelos»— y es frecuente en zonas de montaña, áreas erosionadas y depósitos recientes. En la Región Ecológica ocupa la práctica totalidad del dominio serrano, sobre el macizo granítico-granodiorítico. Su limitación principal es la escasa profundidad efectiva y la baja retención de humedad, condiciones que restringen el enraizamiento y que, combinadas con las pendientes superiores al 25 % que caracterizan ese sector, explican por qué la erosión hídrica laminar es el proceso de degradación dominante de la cuenca. **No está presente en el Área del Proyecto.**

Phaeozem (22.16 % de la RE; 96.18 % del AI; **100.00 % del AP**). Suelo de pastizales relativamente húmedos y de bosques, con un horizonte superficial mólico oscuro, rico en humus, y alta saturación de bases en el metro superior. Es semejante al Chernozem, aunque más lixiviado. Suelo poroso y fértil, de excelente aptitud agrícola. En la Región Ecológica se distribuye sobre los depósitos aluviales de la llanura costera y en el piedemonte de la sierra. **Es la única unidad de suelo del Área del Proyecto.** Su presencia explica dos rasgos del predio: la elevada capacidad de infiltración, congruente con el sustrato aluvial y con la posición del predio en zona de recarga del acuífero; y el contenido de materia orgánica del horizonte superficial, que hace del **rescate y reutilización de la capa de suelo fértil** una medida de mitigación con sustento edafológico, y no un mero formalismo.

Solonchak (5.48 % de la RE). Suelo con un horizonte sálico —alta conductividad eléctrica por sales más solubles que el yeso— dentro de los primeros 50 cm. Es típico de zonas áridas y de depresiones con agua freática salina y evaporación intensa. En la Región Ecológica se restringe al perímetro del sistema lagunar Cuyutlán–Tapeixtles, donde la intrusión marina y la evaporación concentran las sales. Su limitación es la salinidad, que excluye la mayor parte de los cultivos y determina una vegetación halófila especializada, asociada al manglar. **No está presente en el Área del Proyecto ni en el Área de Influencia.**

Fluvisol (0.19 % de la RE). Suelo azonal genéticamente joven, desarrollado sobre depósitos aluviales, lacustres o marinos recientes, con evidencia de estratificación y rasgos redoximórficos. Es propio de planicies de inundación y deltas, con frecuencia inundables, y suele ser fértil. En la Región Ecológica ocupa una franja mínima —11.39 ha— asociada a los cauces de mayor orden. Su limitación es el riesgo de inundación periódica. **No está presente en el Área del Proyecto.**

III.2.1.7 Erosión del suelo

Tabla 21. Erosión del suelo en las tres escalas (cartografía INEGI 1:250,000).

Clase de erosión	RE (ha)	RE (%)	AI (ha)	AI (%)	AP (ha)	AP (%)
Sin erosión apreciable (sin clasificar)	5,580.75	93.13	216.62	100.00	3.4097	100.00
Hídrica laminar leve (HL1)	411.68	6.87	—	—	—	—
Total	**5,992.43**	**100.00**	**216.62**	**100.00**	**3.4097**	**100.00**

Fuente: INEGI, Erosión del Suelo, escala 1:250,000, Serie I. Superficies normalizadas a la superficie canónica de cada escala.

La cartografía de erosión reconoce una sola clase activa en la Región Ecológica —la hídrica laminar leve (HL1)—, limitada al 6.87 % de la superficie; el 93.13 % restante figura sin erosión apreciable. Más relevante para el proyecto es que tanto el Área de Influencia como el Área del Proyecto aparecen al 100.00 % sin clase erosiva cartografiada: la afectación potencial del predio parte de una condición basal de estabilidad reconocida por la fuente oficial.

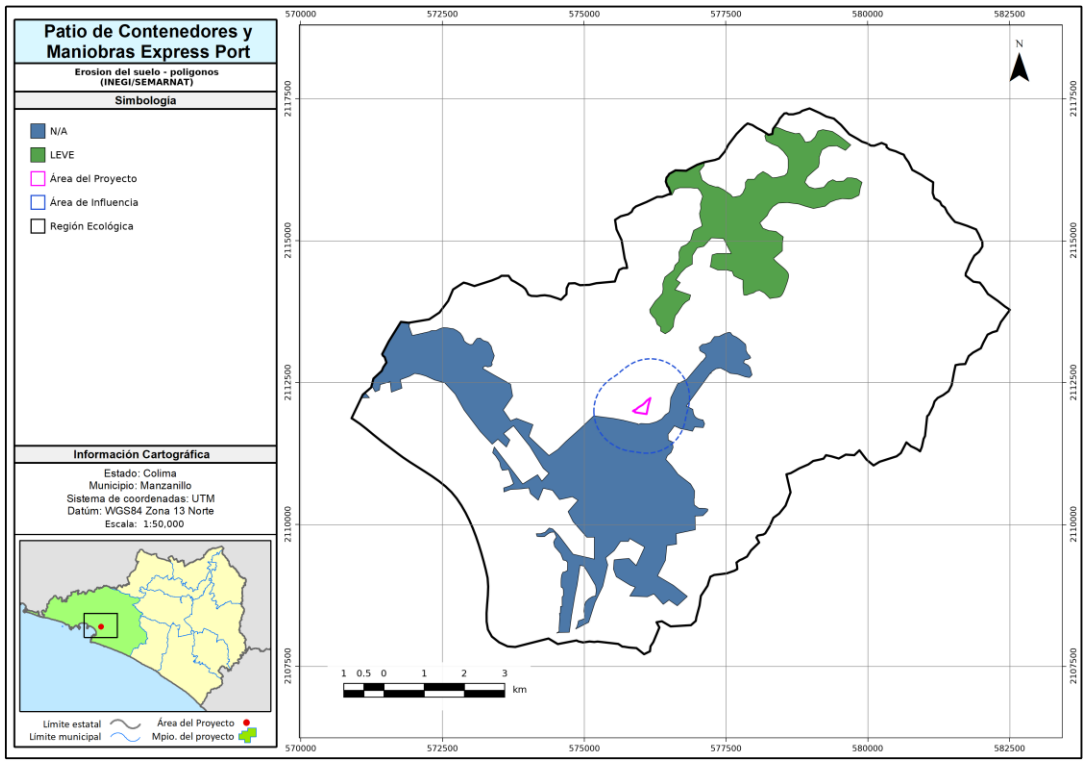


Figura 26. Erosión del suelo en la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en la carta de erosión del suelo de INEGI.

La única clase erosiva cartografiada en la Región Ecológica es la **hídrica laminar leve**, que ocupa el 6.87 % de la superficie. Sus dos componentes se definen así:

- **Tipo hídrico.** Pérdida de la capa superficial del suelo por la acción directa del agua de escorrentía.

- **Forma laminar (HL).** Remoción gradual y uniforme de capas delgadas de suelo, generalmente paralela a la superficie del terreno.

- **Grado leve (1).** Pérdida de suelo poco apreciable, manifestada como encostramiento, capas delgadas de partículas removidas o montículos incipientes.

El 93.13 % restante figura como **sin clasificar**, categoría que en la carta de INEGI corresponde a superficies sin evidencia interpretable de procesos erosivos a la escala 1:250,000, e incluye los cuerpos de agua y las zonas urbanas. Ni el Área de Influencia ni el Área del Proyecto registran clase erosiva alguna.

Debe subrayarse que esta capa **no mide la tasa de pérdida de suelo**: es una interpretación cualitativa de la evidencia visible de erosión a escala regional. La cuantificación de la erosión hídrica y eólica del predio, por escenario, se desarrolla en el capítulo siguiente con los modelos correspondientes. Lo que la carta sí establece es que el Área del Proyecto **no se encuentra sobre un terreno con erosión activa cartografiada**, y que la afectación potencial parte de una condición basal de estabilidad.

III.2.1.8 Degradación del suelo

La degradación del suelo se evalúa con la metodología **ASSOD** (Van Lynden y Oldeman, 1997), aplicada en México por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Colegio de Postgraduados. A diferencia de la carta de erosión, esta capa clasifica la degradación **causada por el hombre** por tipo, grado y tasa.

Tabla 22. Tipos de degradación del suelo (claves ASSOD) en las tres escalas.

Clave	Tipo de degradación	RE (ha)	RE (%)	AI (ha)	AI (%)	AP (ha)	AP (%)
Hs	Erosión hídrica con pérdida del suelo superficial (laminar)	2,292.10	38.25	102.85	47.48	1.7049	50.00
Qd	Degradación química: declinación de la fertilidad	1,093.62	18.25	59.53	27.48	1.0229	30.00
Fu	Degradación física: pérdida de la función productiva	338.57	5.65	3.64	1.68	—	—
Hc	Erosión hídrica con deformación del terreno (cárcavas)	162.39	2.71	18.02	8.32	0.3410	10.00
	Total degradado	**3,887.28**	**64.87**	**184.04**	**84.96**	**3.0688**	**90.00**
SN/SH	**Terrenos estables**	2,105.15	35.13	32.58	15.04	0.3410	10.00
	Total	**5,992.43**	**100.00**	**216.62**	**100.00**	**3.4097**	**100.00**

Fuente: SEMARNAT–Colegio de Postgraduados (2001–2002), Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000; metodología ASSOD. Superficies normalizadas a la superficie canónica de cada escala. El subtotal degradado se toma del porcentaje calculado (64.87 %); la suma de los cuatro renglones arroja 64.86 % por redondeo de cada clase a dos decimales.

Tabla 23. Grado y tasa de la degradación del suelo en las tres escalas.

Grado	RE (ha)	RE (%)	AI (ha)	AI (%)	AP (ha)	AP (%)
Grado 1 — Ligero	3,386.32	56.51	162.38	74.96	2.7278	80.00
Grado 2 — Moderado	162.39	2.71	18.02	8.32	0.3410	10.00
Grado 4 — Extremo	338.57	5.65	3.64	1.68	—	—
Total degradado	**3,887.28**	**64.87**	**184.04**	**84.96**	**3.0688**	**90.00**
Tasa + (degradación en incremento)	3,887.28	64.87	184.04	84.96	3.0688	90.00

Fuente: la misma.

El grado y la tasa afinan el diagnóstico. La degradación de la Región Ecológica es predominantemente ligera —el grado 1 abarca el 56.51 % de la superficie— y solo el 5.65 % alcanza el grado extremo, ausente por completo del Área del Proyecto. Pero el rasgo decisivo está en la última fila: la totalidad de la superficie degradada, en las tres escalas (el 64.87 % de la RE, el 84.96 % del AI y el 90.00 % del AP), presenta tasa en incremento. La degradación no está estabilizada: avanza.

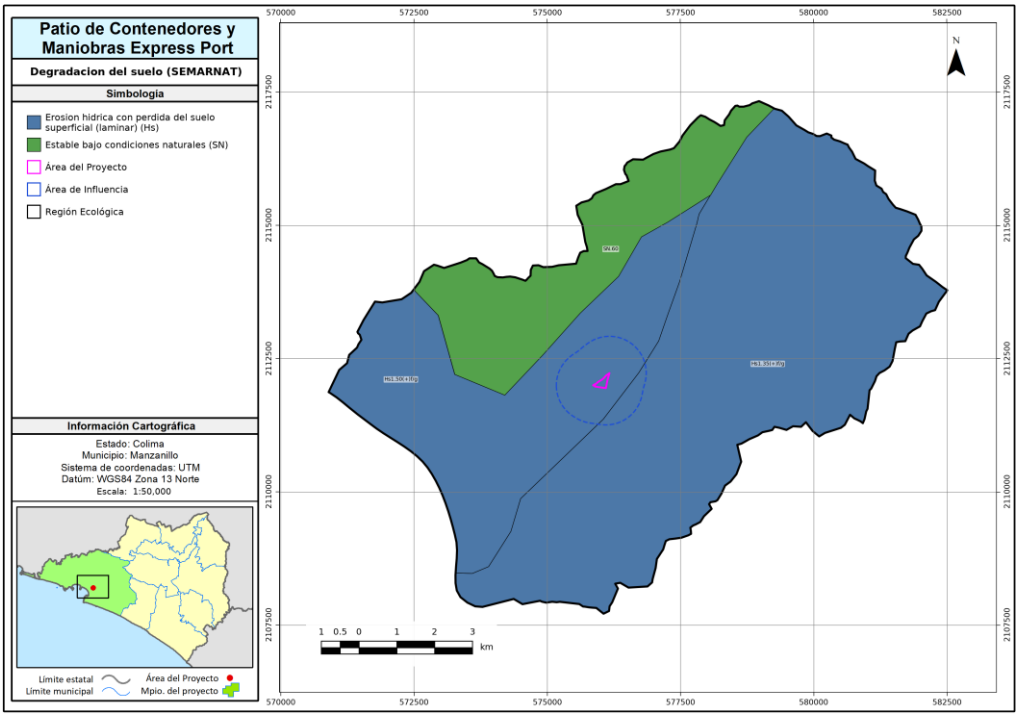


Figura 27. Degradación del suelo en la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en la carta de degradación de suelos de SEMARNAT–Colegio de Postgraduados.

El mapa de degradación de la Región Ecológica localiza los procesos: la erosión hídrica laminar (Hs) se concentra en las laderas serranas de Regosol, la declinación de fertilidad (Qd) en los sectores de uso agrícola de la llanura, y la pérdida de la función productiva (Fu) coincide con la mancha urbano-portuaria de Manzanillo. Solo el sector estable, poco más de un tercio de la cuenca, escapa a esta trama de deterioro.

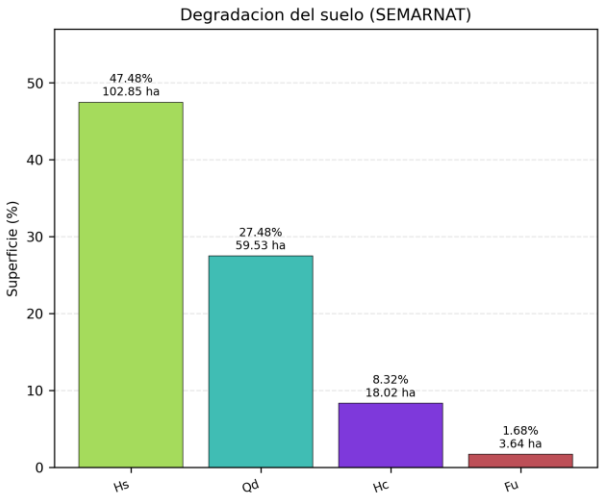


Figura 28. Degradación del suelo en el Área de Influencia.

A la escala del Área de Influencia el cuadro se agrava: el 84.96 % de sus 216.62 ha está degradado, muy por encima del 64.87 % de la Región Ecológica. El mapa muestra un entorno inmediato dominado por la erosión hídrica laminar y la declinación de fertilidad, con apenas un 15.04 % de terreno estable. El predio no se inserta, por tanto, en un remanente conservado, sino en uno de los sectores más intervenidos de la cuenca.

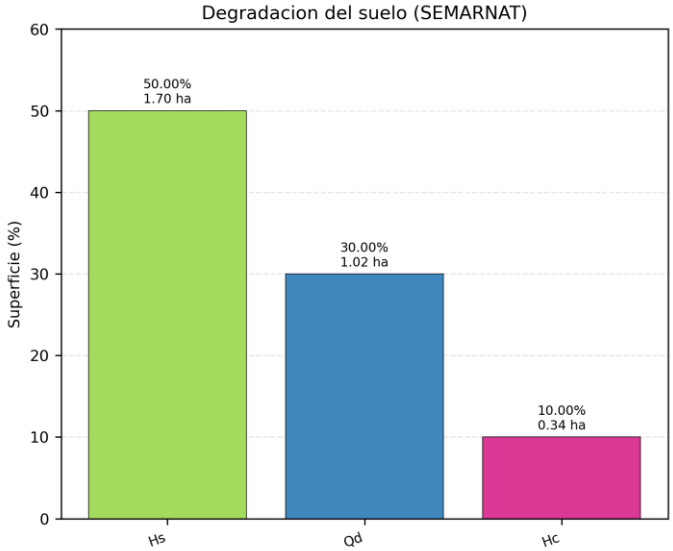


Figura 29. Degradación del suelo en el Área del Proyecto.

Fuente: la misma.

Las cuatro claves presentes se definen como sigue:

- **Hs — Erosión hídrica con pérdida del suelo superficial.** Disminución del espesor del horizonte A por remoción uniforme del material del suelo por la escorrentía. Se asocia a un manejo inapropiado de tierras forestales, agrícolas y ganaderas que deja cobertura insuficiente y favorece escurrimientos superficiales excesivos.

- **Qd — Degradación química, declinación de la fertilidad.** Decrecimiento neto de nutrimentos y materia orgánica disponibles en el suelo, con la consiguiente disminución de la productividad. Resulta de un balance negativo entre las salidas —cosechas, quemas, lixiviación— y las entradas —fertilización, estercolamiento, conservación de residuos—.

- **Fu — Degradación física, pérdida de la función productiva.** Suelos eliminados de su función productiva por destinarse a actividades no biológicas: urbanización, actividad industrial, infraestructura, minería y canteras. No genera efectos degradativos secundarios.

- **Hc — Erosión hídrica con deformación del terreno.** Remoción irregular del material del suelo por erosión o movimiento de masas, con formación visible de canales y cárcavas. Se asocia a manejo inapropiado de tierras o a actividades de construcción que generan escurrimientos excesivos sin obstáculos.

Este es el hallazgo más importante del componente edáfico, y conviene enunciarlo sin rodeos: **la Región Ecológica presenta degradación antrópica del suelo en el 64.87 % de su superficie, y esa degradación se encuentra en incremento en la totalidad de la superficie afectada.** El proceso dominante es la erosión hídrica laminar (38.25 %), seguida de la pérdida de fertilidad (18.25 %). Solo el 35.14 % de la cuenca conserva terrenos estables.

La condición se agrava conforme se desciende de escala: el Área de Influencia registra un **84.96 %** de superficie degradada, y el Área del Proyecto un **90.00 %**. Es decir, **el predio del proyecto no es un remanente conservado dentro de una región deteriorada, sino uno de los sectores más intervenidos**

de ella. El 5.65 % de la Región Ecológica clasificado con grado extremo bajo la clave Fu corresponde, precisamente, a la mancha urbana y portuaria de Manzanillo: es suelo ya retirado de su función productiva.

Reconocer esto no debilita el proyecto; lo sitúa. La afectación que la obra producirá recae sobre un suelo cuya degradación ya está en curso y en incremento por causas ajenas al proyecto —presión urbana, cambio de uso de suelo, pérdida de cobertura—. Y establece el criterio de suficiencia de las medidas: la reforestación del predio de compensación, las obras de conservación de suelo y agua y el rescate del horizonte fértil no se evalúan contra un escenario de conservación idealizado, sino contra la trayectoria real de degradación de la Región Ecológica. Ese balance se cuantifica en el capítulo siguiente.

III.2.1.9 Hidrología superficial

La Región Ecológica se inscribe íntegramente en la **subcuenca Laguna de Cuyutlán**, y drena, a través de la microcuenca Jalipa, hacia el sistema lagunar costero.

Tabla 24. Jerarquía hidrológica de la Región Ecológica.

Nivel	Clave	Nombre	Superficie de la RE (ha)	% de la RE
Región hidrológica	15	Costa de Jalisco	5,992.43	100.00
Cuenca	058	—	5,992.43	100.00
Subcuenca	13	Laguna de Cuyutlán	5,992.43	100.00
Microcuenca	008	Jalipa	5,992.43	100.00

Fuente: INEGI, Red Hidrográfica escala 1:50,000, edición 2.0.

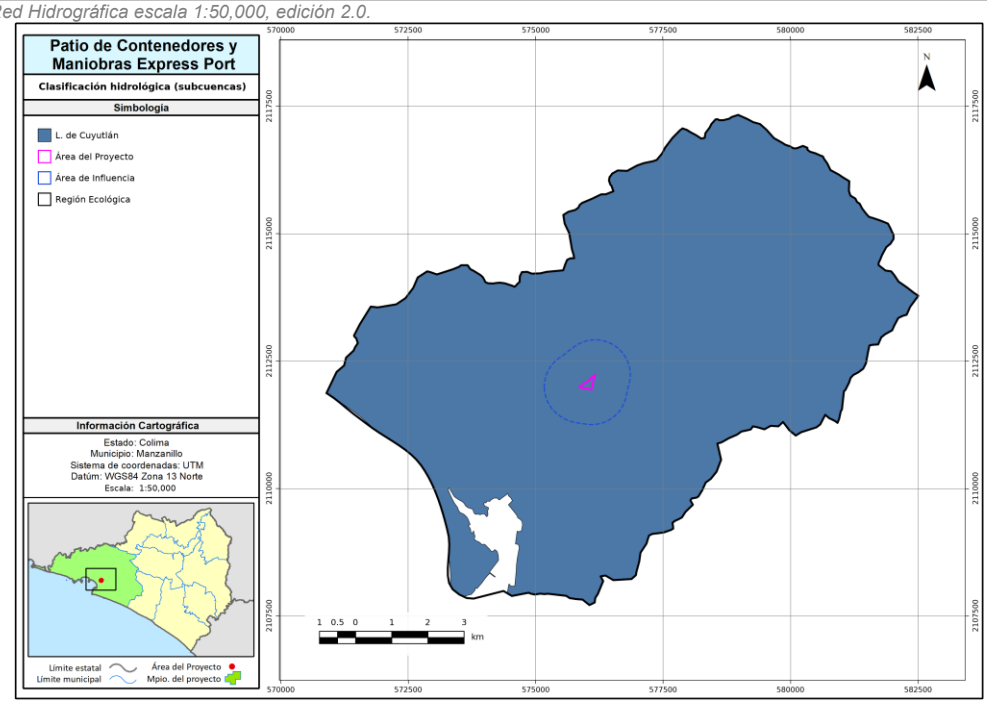


Figura 30. Subcuenca de la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en la Red Hidrográfica 2.0 de INEGI.

El plano de subcuencas confirma que la Región Ecológica coincide íntegramente con la subcuenca Laguna de Cuyutlán: la microcuenca Jalipa (008) queda contenida en ella al 100 %, y su punto de cierre es el sistema lagunar costero. La delimitación hidrográfica adoptada para la Región Ecológica se apoya, por tanto, en una unidad de drenaje real y cerrada, no en una frontera convencional.

Tabla 25. Condición de los cauces de la Región Ecológica.

Condición	Longitud (km)	% de la red
Corriente intermitente	112.855	96.0
Línea central de cuerpo de agua	4.737	4.0

Condición	Longitud (km)	% de la red
Total	**117.592**	**100.0**
Corriente perenne	*0.000*	*0.0*

Fuente: INEGI, Red Hidrográfica 2.0.

La condición de los cauces es determinante: de los 117.592 km de red, 112.855 km —el 96.0 %— son corrientes intermitentes y no existe un solo kilómetro de corriente perenne. El 4.0 % restante corresponde a las líneas centrales de los cuerpos de agua lagunares, que no son un cauce que fluya. La red fluvial de la Región Ecológica solo conduce agua, por tanto, durante los cinco meses húmedos y permanece seca el resto del año.

Tabla 26. Elementos hidrográficos nombrados dentro de la Región Ecológica.

Elemento	Tipo	Condición
Arroyo Rancho Viejo	Corriente	Intermitente
Arroyo Seco	Corriente	Intermitente
Laguna Las Garzas	Cuerpo de agua	Perenne
Laguna Tapeixtles	Cuerpo de agua	Perenne

Fuente: INEGI, Red Hidrográfica 2.0, capa de nombres geográficos.

Solo cuatro elementos hidrográficos de la Región Ecológica llevan nombre, y su reparto es revelador: las dos corrientes —los arroyos Rancho Viejo y Seco— son intermitentes, mientras que los dos únicos elementos perennes son cuerpos de agua, las lagunas Las Garzas y Tapeixtles. El agua permanente de la cuenca es, pues, lagunar y no fluvial, y su propia toponimia —«Arroyo Seco»— describe con exactitud el régimen.

Tabla 27. Cuerpos de agua de la Región Ecológica.

Clase	Superficie (ha)	% de la RE
Cuerpo de agua perenne	272.56	4.55

Fuente: INEGI, Red Hidrográfica 2.0. El porcentaje se calcula respecto de la superficie canónica de la RE (5,992.43 ha).

Los cuerpos de agua perennes suman 272.56 ha, el 4.55 % de la Región Ecológica. Esta lámina —las lagunas del sistema Cuyutlán–Tapeixtles— constituye el nivel base hacia el que drena toda la cuenca y el receptor final de su carga sedimentaria. Su condición de único ambiente acuático permanente hace de ella, junto con el manglar que la bordea, el elemento hidrológico más sensible del territorio y el destino último de cualquier sedimento movilizado aguas arriba.

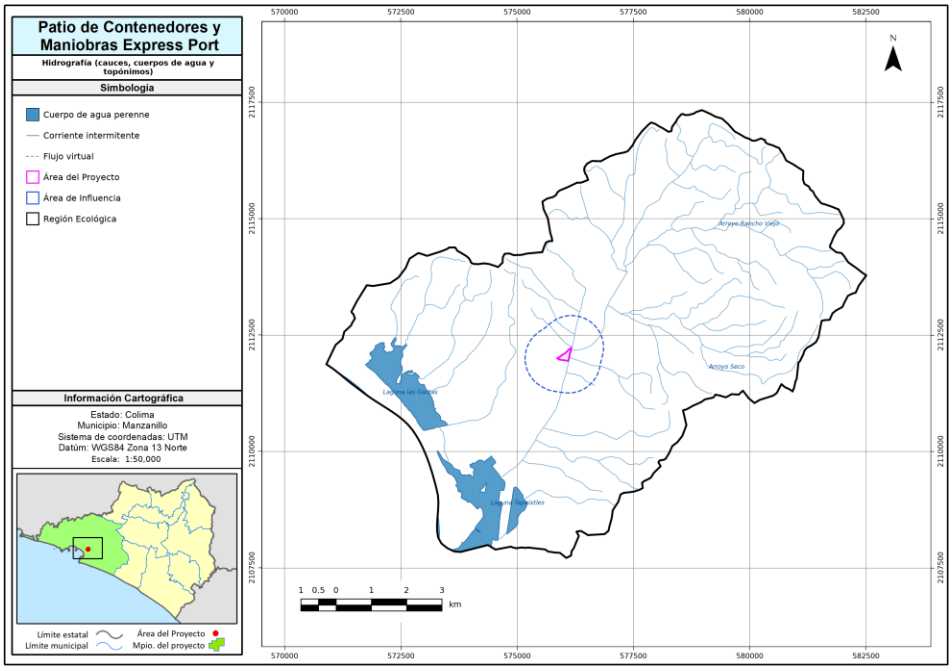


Figura 31. Red hidrográfica de la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en la Red Hidrográfica 2.0 de INEGI.

El mapa de la red hidrográfica muestra un drenaje dendrítico de cauces intermitentes que desciende desde la sierra del norte y converge hacia las lagunas del sur. Sobre él se aprecia que el Área del Proyecto no intercepta ningún cauce de la red de INEGI: el predio se sitúa en un interfluvio de la llanura costera, hecho que se cuantifica en el apartado III.9.

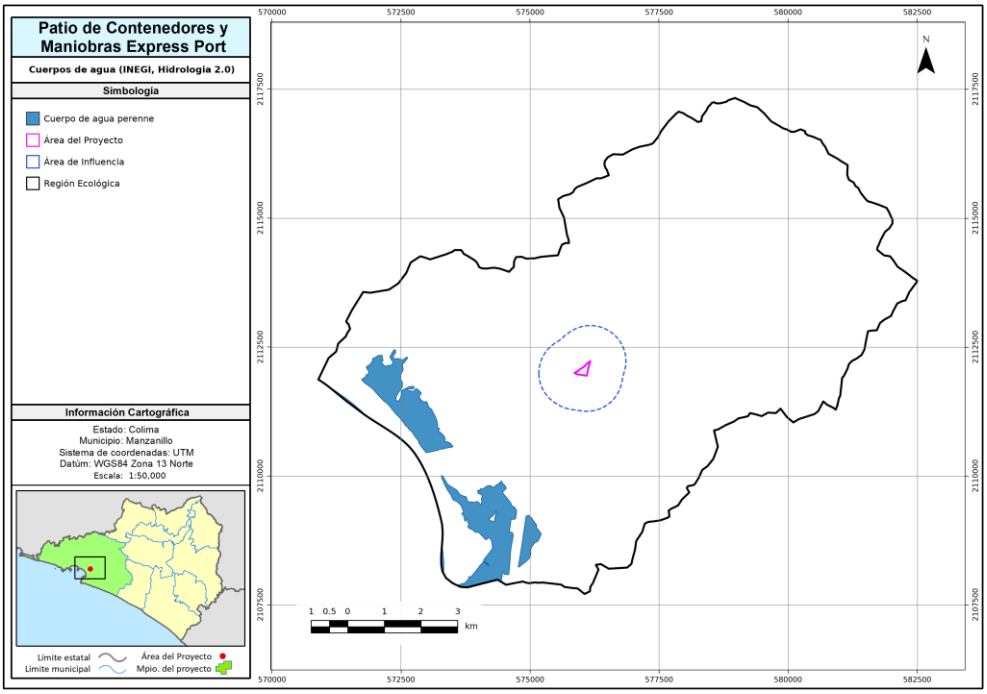


Figura 32. Cuerpos de agua de la Región Ecológica.

El dato hidrológico decisivo de la Región Ecológica es que **el 96 % de la longitud de su red está constituida por corrientes intermitentes, y ninguna corriente perenne recorre la cuenca.** El 4 % restante corresponde a las líneas centrales de los cuerpos de agua del sistema lagunar. La red funciona, por tanto, únicamente durante los cinco meses de la temporada húmeda, y permanece seca de noviembre a mayo. Los únicos elementos hidrográficos permanentes son las lagunas Las Garzas y Tapeixtles, que suman 272.56 ha —el 4.55 % de la superficie de la Región Ecológica— y constituyen el nivel base de todo el sistema.

Dos arroyos nombrados recorren la cuenca: el **Arroyo Rancho Viejo** y el **Arroyo Seco**, ambos intermitentes. Su toponimia describe con exactitud su régimen.

En el Área de Influencia la red suma **4.951 km**, íntegramente intermitentes, con una densidad de drenaje de 2.285 km·km⁻², superior a la de la Región Ecológica. El **Área del Proyecto no intercepta ningún cauce** de la Red Hidrográfica de INEGI, hecho que se documenta y cuantifica en el apartado III.9.

La consecuencia para el proyecto es directa. La ausencia de corrientes perennes y de cauces dentro del predio elimina el riesgo de afectación directa a un cuerpo de agua superficial. El vector de impacto sobre la hidrología no es la ocupación de un cauce, sino la **alteración del régimen de infiltración y escurrimiento** que la impermeabilización del patio de maniobras produce sobre un sustrato aluvial de alta permeabilidad. Ese es el impacto que las obras de conservación de suelo y agua y el mejoramiento de la infiltración en el polígono de mitigación están diseñados para compensar.

III.2.1.10 Hidrología subterránea

Tabla 28. Acuíferos de la Región Ecológica.

Acuífero	Clave	RE (ha)	RE (%)	AI (%)	AP (%)
Jalipa–Tapeixtles	0608	4,858.06	81.07	100.00	100.00
Santiago–Salagua	0609	784.41	13.09	—	—

Acuífero	Clave	RE (ha)	RE (%)	AI (%)	AP (%)
El Colomo	0607	349.96	5.84	—	—
Total		**5,992.43**	**100.00**	**100.00**	**100.00**

Fuente: CONAGUA, Acuíferos de México. Superficies normalizadas a la superficie canónica de la RE.

La Región Ecológica se reparte entre tres acuíferos que en conjunto suman las 5,992.43 ha canónicas. El Jalipa–Tapeixtles es el dominante, con el 81.07 % de la superficie; los acuíferos Santiago–Salagua (13.09 %) y El Colomo (5.84 %) cubren el resto de la cuenca. Estos dos últimos, aunque presentes en la Región Ecológica, resultan inmateriales para la evaluación del proyecto, pues ninguno subyace a su entorno inmediato, como precisa el análisis que sigue.

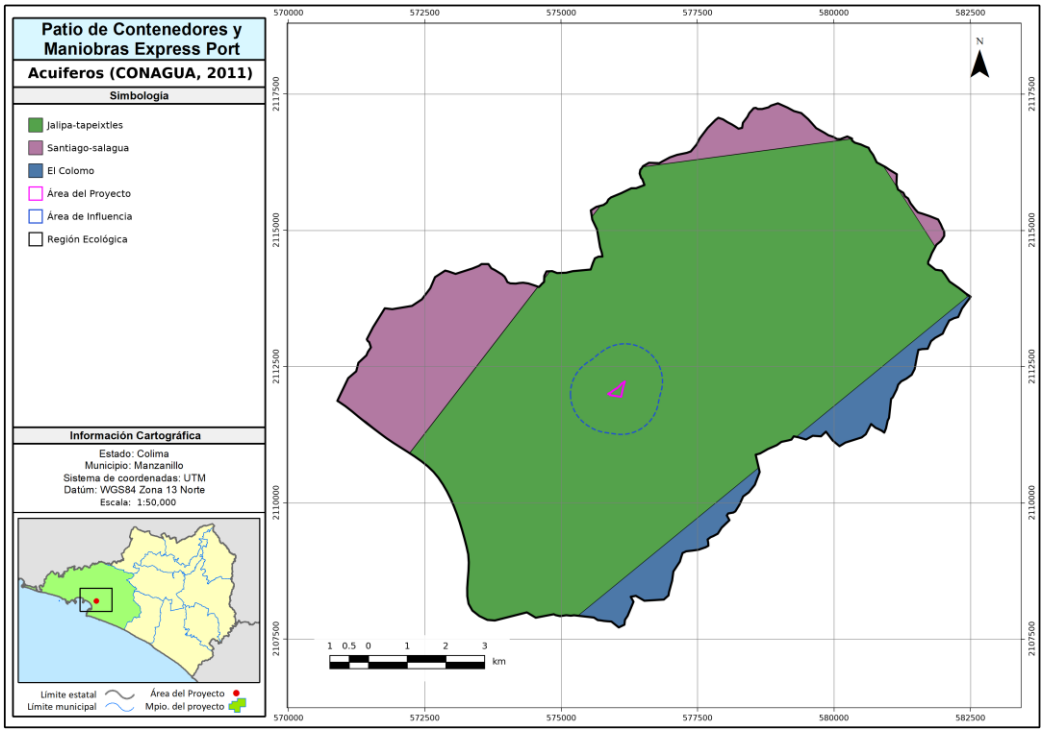


Figura 33. Acuíferos de la Región Ecológica.

Fuente: elaboración propia con base en la capa de acuíferos de CONAGUA.

[[REV: La Región Ecológica se reparte entre tres acuíferos, pero no pesan por igual en la evaluación del proyecto. El **Jalipa–Tapeixtles** abarca el 81.07 % de la cuenca y, sobre todo, la **totalidad del Área de Influencia y del Área del Proyecto** —100.00 % en ambas escalas—, mientras que los acuíferos **Santiago–Salagua** (13.09 % de la Región Ecológica) y **El Colomo** (5.84 %) se reparten el sector restante de la cuenca y no subyacen ni al predio ni a su entorno inmediato. El Jalipa–Tapeixtles es, por tanto, el **único acuífero receptor** del proyecto: la unidad de agua subterránea sobre la que la impermeabilización del predio puede incidir y contra cuyo balance ha de medirse esa incidencia.]]

La disponibilidad media anual de agua subterránea se determina conforme a la **NOM-011-CONAGUA-2015** mediante la expresión

$$DMA = R - DNC - VEAS$$

donde *DMA* es la disponibilidad media anual de agua del subsuelo; *R*, la recarga total media anual; *DNC*, la descarga natural comprometida; y *VEAS*, el volumen de extracción de aguas subterráneas. Las cifras se toman del **Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos**, publicado en el **Diario Oficial de la Federación el 9 de noviembre de 2023**, que es la actualización vigente. Su fecha de corte del Registro Público de Derechos de Agua es el 30 de diciembre de 2022.

Tabla 29. Disponibilidad media anual de agua subterránea de los acuíferos de la Región Ecológica (hm³·año⁻¹).

Acuífero	Clave	R	DNC	VEAS	DMA	Condición	Zona de disponibilidad
Jalipa–Tapeixtles	0608	10.8	3.0	9.158491	**−1.358491**	**Déficit** de 1,358,491 m³·año⁻¹	1
Santiago–Salagua	0609	24.6	6.1	21.618331	**−3.118330**	**Déficit** de 3,118,330 m³·año⁻¹	1
El Colomo	0607	43.0	18.0	18.662527	**+6.337473**	Disponibilidad de 6,337,473 m³·año⁻¹	3

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 9 de noviembre de 2023, «Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican». Consulta: 10 de julio de 2026.

El Acuerdo desglosa el volumen de extracción en cuatro componentes: el volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS), el de extracción en zonas de libre alumbramiento (VEALA), el que se encuentra en proceso de titulación y registro (VAPTYR) y el correspondiente a la programación hídrica (VAPRH). Para el acuífero **Jalipa–Tapeixtles**, `VEAS = 8.841180 + 0.000000 + 0.239760 + 0.077551 = 9.158491 hm³·año⁻¹`; sustituido en la expresión anterior, reproduce exactamente el déficit de **−1.358491 hm³·año⁻¹** que el propio Acuerdo publica.

Los tres acuíferos se encuentran **vedados**. Los acuíferos Jalipa–Tapeixtles y Santiago–Salagua están sujetos al «Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la zona costera del Estado de Colima», publicado en el Diario Oficial de la Federación el **20 de agosto de 1973**; se trata de una veda **de tipo II**, en la que la capacidad de los mantos solo permite extracciones para usos domésticos. El acuífero El Colomo está adicionalmente sujeto al decreto de veda publicado el **21 de septiembre de 1984**.

El resultado exige una lectura franca. El acuífero **Jalipa–Tapeixtles**, que subyace al **100 % del Área del Proyecto y del Área de Influencia** y al 81.07 % de la Región Ecológica, presenta una **disponibilidad media anual negativa**: su déficit asciende a 1,358,491 m³ anuales. No existe volumen disponible para otorgar nuevas concesiones, el acuífero está vedado, y su uso principal es el público urbano.

De aquí se siguen dos consecuencias que el proyecto debe asumir. La primera es que **el abastecimiento de agua del proyecto no puede provenir de un aprovechamiento subterráneo nuevo dentro del acuífero Jalipa–Tapeixtles**; el suministro debe resolverse por la red municipal o por otra fuente legalmente disponible. La segunda, de mayor relevancia ambiental, es que **la superficie del Área del Proyecto se localiza sobre depósitos aluviales de alta permeabilidad que constituyen zona de recarga de un acuífero en déficit**. La impermeabilización del patio de maniobras reduce esa recarga. Este es, con diferencia, el impacto abiótico más significativo del proyecto, y su valoración y compensación —mediante el mejoramiento de la infiltración en el polígono de mitigación y las obras de conservación de suelo y agua— constituye el eje del capítulo siguiente. Un estudio que omitiera el déficit del acuífero receptor no sería creíble; uno que lo reconozca y demuestre que el balance de recarga se compensa, sí lo es.

III.2.1.11 Calidad del aire

La Región Ecológica **no cuenta con estación de monitoreo de la calidad del aire integrada al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático**, ni la hay en el resto del estado de Colima. La caracterización se sustenta, por tanto, en las dos fuentes oficiales disponibles: la red de monitoreo atmosférico que la Comisión Federal de Electricidad opera en el municipio de Manzanillo, y el inventario de emisiones del Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Colima.

Tabla 30. Estaciones de monitoreo atmosférico de la Comisión Federal de Electricidad en Manzanillo.

Estación	Ubicación	X (m)	Y (m)	¿Dentro de la RE?	Distancia a la RE (km)	Distancia al AP (km)
1	Centro de Manzanillo	571,833	2,106,558	No	2.13	6.77
2	Zona hotelera	568,636	2,112,419	No	2.33	7.23
3	Campos (CETMAR No. 12)	572,757	2,104,087	No	3.87	8.49

Fuente: Gobierno del Estado de Colima y SEMARNAT, Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Colima 2017–2021, Tabla 15. Coordenadas UTM zona 13 Norte, datum WGS84 (EPSG:32613). Distancias calculadas contra los polígonos de la Región Ecológica y del Área del Proyecto.

Las tres estaciones miden **dióxido de nitrógeno, monóxido de nitrógeno y dióxido de azufre**, en partes por billón, y **partículas suspendidas de diámetro igual o mayor a diez micrómetros (PM_{10})**, en microgramos por metro cúbico, además de presión barométrica, radiación solar, temperatura, humedad relativa y dirección y velocidad del viento. **No miden ozono, $PM_{2.5}$, monóxido de carbono ni precipitación pluvial.**

Ninguna de las tres se localiza dentro de la Región Ecológica: la más próxima, la del centro de Manzanillo, dista 2.13 km de su límite y 6.77 km del Área del Proyecto. Están emplazadas para vigilar la pluma de la central termoeléctrica, no la microcuenca Jalipa. Sus registros describen, por tanto, el entorno urbano-portuario del que la Región Ecológica forma parte, pero no constituyen una medición de la calidad del aire dentro de ella.

Tabla 31. Contribución del municipio de Manzanillo a la emisión total del estado de Colima (inventario de emisiones, año base 2013).

Contaminante	Contribución de Manzanillo (%)
Dióxido de azufre (SO_2)	97.31
Partículas $PM_{2.5}$	47.29
Partículas PM_{10}	45.79
Óxidos de nitrógeno (NO_x)	42.62
Carbón negro	41.21

Fuente: Inventario de Emisiones del Estado de Colima, año base 2013, reproducido en el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Colima 2017–2021, Tabla 22. Resolución espacial municipal, resolución temporal anual. El párrafo de síntesis del propio programa redondea la contribución de SO_2 a 97.32 %; se conserva el valor de la tabla.

El inventario de emisiones dibuja un cuadro inequívoco: **el municipio de Manzanillo concentra casi la totalidad de la emisión estatal de dióxido de azufre —el 97.31 %— y cerca de la mitad de la de partículas y óxidos de nitrógeno.** El origen de esa carga es la generación de energía eléctrica y la actividad portuaria, junto con el autotransporte de carga que la sirve. El propio Programa lo consigna al advertir que «en los últimos años la actividad de servicios al puerto de Manzanillo, tales como los patios de almacenamiento de minerales y contenedores, ha tenido un aumento considerable».

Esta es una condición de contexto que el proyecto debe reconocer sin rodeos. El Área del Proyecto se inserta en un municipio con una carga atmosférica ya elevada y de origen principalmente industrial-portuario. Un patio de maniobras de contenedores añade emisiones de partículas por resuspensión y de gases de combustión del autotransporte. Nada de ello es despreciable, y su valoración corresponde al capítulo siguiente. Lo que sí acota el diagnóstico es la escala: la contribución dominante del municipio proviene de la generación termoeléctrica y del movimiento portuario de graneles minerales, no del manejo de contenedores.

Debe señalarse una limitación de este apartado con precisión. **La Región Ecológica carece de una medición de concentraciones de contaminantes en el aire.** El inventario de emisiones no es una concentración: es un estimado de la carga emitida, resuelto a escala municipal y con año base 2013. No hay serie de datos que permita establecer una línea base de calidad del aire para las 5,992.43 ha de la microcuenca. Si la autoridad requiriera esa línea base, únicamente puede obtenerse mediante una campaña de medición en sitio.

III.2.1.12 Niveles de ruido

No existe mapa, red de monitoreo ni estudio oficial de niveles de ruido ambiental de fondo para el municipio de Manzanillo, la Región Ecológica, el Área de Influencia ni el Área del Proyecto. La NOM-081-SEMARNAT-1994 fija los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las **fuentes fijas** y su método de medición perimetral; no publica una línea base territorial. En consecuencia, **el ruido de fondo no se caracteriza en este capítulo**: la evaluación del impacto por ruido del proyecto se sustenta, en el capítulo siguiente, sobre los límites de emisión que la propia norma establece y sobre la condición de uso de suelo del entorno inmediato, dominado por zona urbana y por el clúster logístico portuario.

III.2.2 Componente biótico

III.2.2.1 Uso de suelo y vegetación de la Región Ecológica

La cubierta vegetal de la Región Ecológica se describe con la cartografía de uso de suelo y vegetación más actualizada de INEGI. Se emplean dos fuentes complementarias: la **Serie VII**, escala 1:250,000, que es la referencia nacional para la clasificación de la vegetación; y la carta **USYVIA**, escala 1:75,000, cuyo mayor detalle permite discriminar las clases antrópicas del entorno urbano-portuario.

Tabla 32. Uso de suelo y vegetación de la Región Ecológica (INEGI, Serie VII, 1:250,000).

Clase	Superficie (ha)	% de la RE
Asentamientos humanos	1,536.78	25.65
Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	1,473.59	24.59
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	876.88	14.63
Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subcaducifolia	432.47	7.22
Vegetación secundaria arbórea de selva mediana subcaducifolia	399.01	6.66
Agricultura de temporal semipermanente y permanente	329.28	5.49
Pastizal cultivado	284.88	4.75
Cuerpo de agua	272.92	4.55
Pastizal inducido	151.96	2.54
Manglar	120.07	2.00
Desprovisto de vegetación	69.76	1.16
Vegetación secundaria arbórea de manglar	42.69	0.71
Agricultura de riego anual y permanente	2.15	0.04
Total	**5,992.43**	**100.00**

Fuente: INEGI, Conjunto de datos de uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000, Serie VII. Superficies normalizadas a la superficie canónica de la RE.

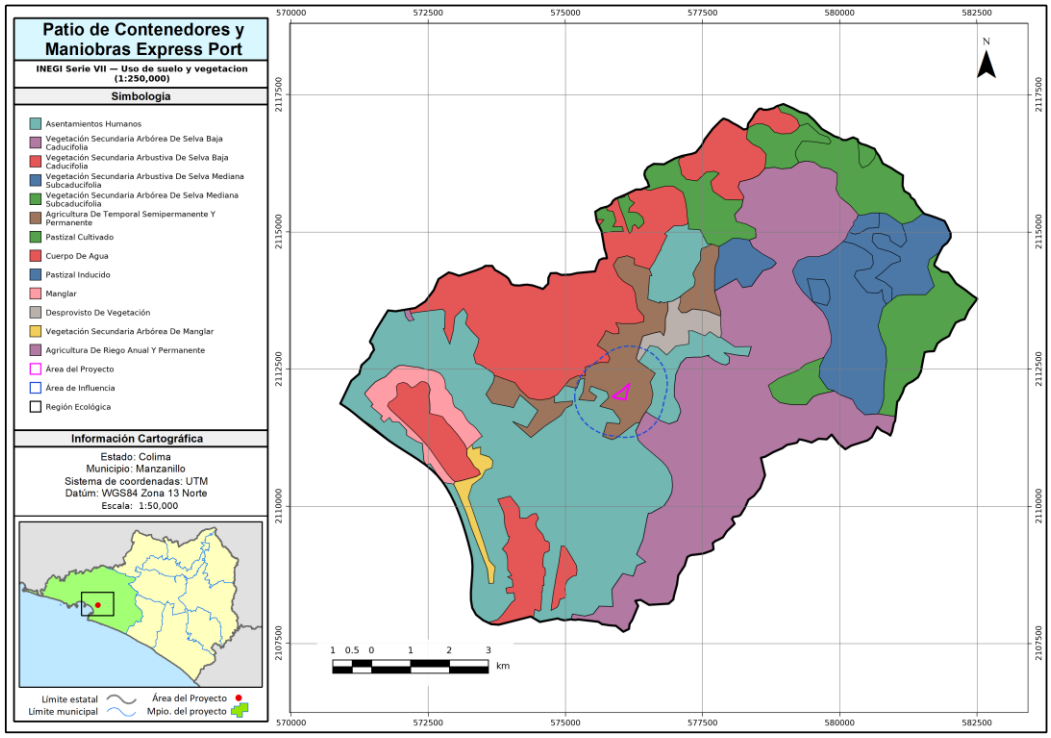


Figura 34. Uso de suelo y vegetación de la Región Ecológica (INEGI, Serie VII).

Fuente: elaboración propia con base en INEGI, Serie VII.

El mapa de la Serie VII retrata un territorio de mosaico: la superficie construida de los asentamientos humanos —la clase más extensa, con el 25.65 %— se entrelaza con los remanentes de vegetación secundaria de selva baja caducifolia, que dominan el resto de la cuenca, mientras el manglar y los cuerpos de agua se ciñen al borde lagunar. La imagen desmiente cualquier lectura de la Región Ecológica como un territorio silvestre continuo.

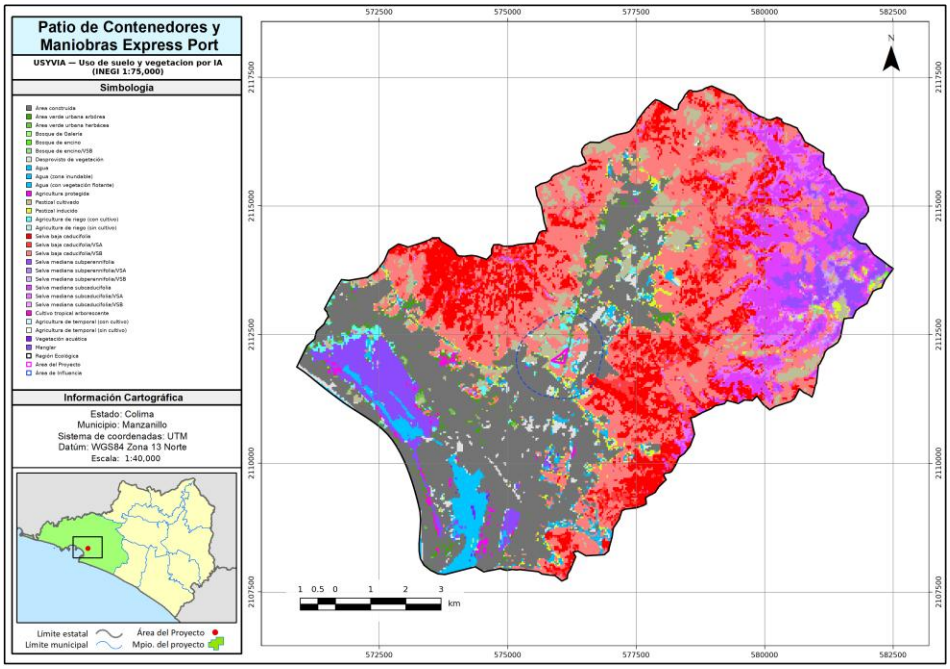


Figura 35. Uso de suelo y vegetación de la Región Ecológica (carta USYVIA, 1:75,000), con 34 clases.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI, carta USYVIA.

La lectura de la Serie VII arroja tres hechos de primer orden.

Primero: no queda vegetación primaria de selva baja caducifolia en la Región Ecológica. La selva baja caducifolia aparece exclusivamente **en estado de vegetación secundaria**, arbórea (24.59 %) o arbustiva (14.63 %), y otro tanto ocurre con la selva mediana subcaducifolia, presente solo en su condición secundaria arbustiva (7.22 %) y arbórea (6.66 %). La razón de superficie primaria sobre superficie total, por tipo de vegetación, es **cero** en ambas formaciones. La cubierta forestal de la cuenca es, en su totalidad, vegetación en recuperación tras una perturbación previa.

Segundo: la clase individual más extensa de la Región Ecológica es la superficie construida. Los asentamientos humanos ocupan 1,536.78 ha, el **25.65 %** de la cuenca —más que cualquier tipo de vegetación natural considerado por separado—. La carta USYVIA, de mayor detalle, lo confirma con un 24.85 % de área construida, y añade 81.94 ha de áreas verdes urbanas. La Región Ecológica no es un territorio silvestre con enclaves urbanos: es un territorio periurbano-portuario con remanentes de vegetación secundaria.

Tercero: los ecosistemas de mayor valor de conservación son costeros y son minoritarios. El **manglar** —ecosistema protegido por el artículo 60 TER de la Ley General de Vida Silvestre— ocupa 120.07 ha en estado primario y 42.69 ha en estado de vegetación secundaria arbórea, para un total de **162.76 ha**, equivalentes al **2.71 %** de la Región Ecológica. Se distribuye en el perímetro del sistema lagunar Cuyutlán–Tapeixtles, sobre los Solonchak, y constituye, junto con los cuerpos de agua, el elemento ambiental más sensible de la cuenca. Su incidencia respecto del Área del Proyecto se reporta en el apartado III.9.

Sumando las clases de origen antrópico —asentamientos humanos, agricultura, pastizales cultivados e inducidos y superficies desprovistas de vegetación— se obtiene un **39.63 %** de la Región Ecológica bajo uso antrópico directo. El **53.10 %** corresponde a vegetación secundaria de selva, el 2.71 % a manglar y el 4.55 % restante a cuerpos de agua. Este reparto es el sustento cuantitativo del diagnóstico ambiental del apartado III.7.

III.2.2.2 Uso de suelo y vegetación del Área de Influencia y del Área del Proyecto

Las escalas del Área de Influencia y del Área del Proyecto se describen con la **capa propia fotointerpretada y verificada en campo** para este estudio, y no con un recorte de la cartografía nacional. La razón es metodológica: a escala 1:250,000, la unidad mínima cartografiable de INEGI supera con creces la superficie del Área del Proyecto, de modo que un recorte de la carta nacional sobre un polígono de 3.4 ha no describiría el terreno, sino el polígono que lo contiene.

Tabla 33. Uso de suelo y vegetación del Área de Influencia (capa propia, verificada en campo).

Clase	Superficie (ha)	% del AI
Zona urbana	145.27	67.06
Pastizal inducido	52.40	24.19
Selva baja caducifolia	18.95	8.75
Total	**216.62**	**100.00**

Fuente: capa propia del proyecto (levantamiento fotointerpretado y verificado en campo del Área de Influencia). Superficies del atributo del shapefile.

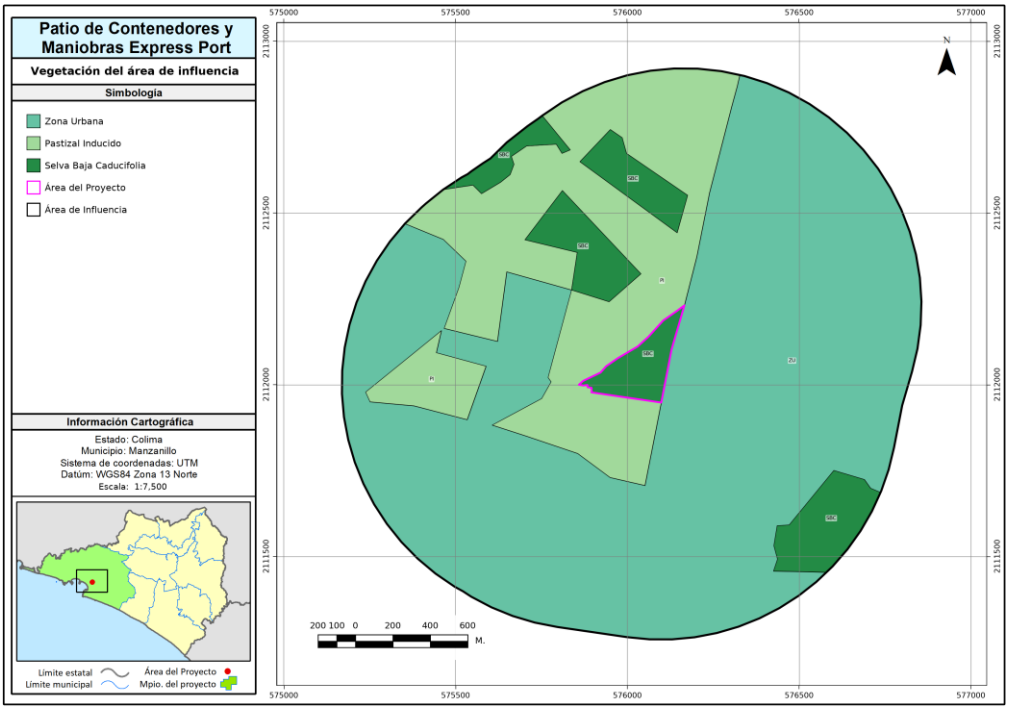


Figura 36. Uso de suelo y vegetación del Área de Influencia.

Fuente: capa propia fotointerpretada del proyecto.

El plano del Área de Influencia muestra un entorno inmediato gobernado por la zona urbana, que ocupa el 67.06 % de sus 216.62 ha. La selva baja caducifolia —el 8.75 %— aparece como un remanente acotado, envuelto por la matriz construida y por el pastizal inducido (24.19 %) en que esa misma selva se ha degradado. El predio del proyecto se recorta dentro de ese remanente forestal.

Tabla 34. Uso de suelo y vegetación del Área del Proyecto (capa propia, verificada en campo).

Clase	Superficie (ha)	% del AP
Selva baja caducifolia, en estado de vegetación secundaria	3.4097	100.00
Total	**3.4097**	**100.00**

Fuente: atributo `Area_CUSTF` del polígono del Área del Proyecto. La superficie no se calcula de la geometría.

El Área del Proyecto está **contenido en su totalidad dentro del Área de Influencia**, y la selva baja caducifolia del Área de Influencia incluye la del predio: de las 18.95 ha de esta formación, **3.4097 ha corresponden al Área del Proyecto** y las 15.54 ha restantes al remanente forestal que lo circunda.

El Área de Influencia está dominada por la **zona urbana**, que ocupa dos terceras partes de su superficie. La vegetación natural se reduce a esas 18.95 ha —el 8.75 %—, a las que se suman 52.40 ha de pastizal inducido, resultado de la degradación de esa misma selva. El Área del Proyecto representa, por tanto, el **17.99 %** del total de selva baja caducifolia que subsiste en el Área de Influencia.

Este dato debe leerse con precisión. El remanente forestal del entorno inmediato del proyecto es escaso y está rodeado de matriz urbana; la remoción de 3.4097 ha sobre 18.95 ha disponibles no es una fracción despreciable de ese remanente local. Es, justamente, el fundamento de la exigencia de compensación: las 3.55 ha del predio de compensación y las 0.79 ha del polígono de mitigación no son un trámite, sino la restitución de una superficie forestal superior a la removida.

III.2.2.3 Comparativo del Área del Proyecto verificada en campo contra la cartografía de INEGI

Tabla 35. Comparativo del uso de suelo y vegetación del Área del Proyecto: campo contra cartografía nacional.

Fuente	Escala	Unidad mínima de resolución	Clase asignada al Área del Proyecto	Superficie (ha)	% del AP
Verificación en campo (capa propia)	1:2,000	—	Selva baja caducifolia, en estado de vegetación secundaria	3.4097	100.00
INEGI, Serie VII	1:250,000	Decenas de hectáreas	Agricultura de temporal semipermanente y permanente (`TSP`)	3.4097	100.00
INEGI, carta USYVIA	1:75,000	Píxel de 30 m (0.09 ha)	Área construida (`AC`)	1.62	48.6
INEGI, carta USYVIA	1:75,000	Píxel de 30 m (0.09 ha)	Pastizal inducido (`PI`)	0.81	24.3
INEGI, carta USYVIA	1:75,000	Píxel de 30 m (0.09 ha)	Selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva (`SBC/VSB`)	0.36	10.8
INEGI, carta USYVIA	1:75,000	Píxel de 30 m (0.09 ha)	Área verde urbana herbácea y arbórea (`AVUh`, `AVUA`)	0.36	10.8
INEGI, carta USYVIA	1:75,000	Píxel de 30 m (0.09 ha)	Pastizal cultivado y agricultura de temporal (`PC`, `Tcu`)	0.18	5.4

Fuente: capa propia del proyecto (polígono del Área del Proyecto); INEGI, Serie VII (atributo `CLAVE` de la capa recortada a la Región Ecológica); INEGI, carta USYVIA (decodificación del ráster por conteo de píxeles). La superficie del Área del Proyecto se conserva en 3.4097 ha; en la carta USYVIA el conteo de píxeles cubre 3.33 ha del polígono, diferencia atribuible al tamaño de la celda.

El comparativo desnuda la dependencia de la escala: sobre las mismas 3.4097 ha, la verificación en campo (1:2,000) reconoce selva baja caducifolia secundaria en el 100 % del predio; la Serie VII (1:250,000) lo asigna íntegramente a agricultura de temporal; y la carta USYVIA (1:75,000) lo fragmenta, con el área construida como clase modal (48.6 %). Tres fuentes, tres clases distintas para un solo polígono: es la resolución, y no el terreno, lo que explica la divergencia.

Tabla 36. El mismo comparativo, a escala del Área de Influencia.

Clase	Campo — capa propia (ha)	Campo (%)	INEGI Serie VII (ha)	Serie VII (%)	INEGI USYVIA (ha)	USYVIA (%)
Zona urbana / Asentamientos humanos / Área construida	145.27	67.06	74.94	34.60	91.08	42.0
Selva baja caducifolia (todas sus condiciones)	18.95	8.75	11.80	5.45	50.58	23.4
Pastizal inducido y cultivado	52.40	24.19	—	—	39.33	18.1
Agricultura (temporal, riego, protegida)	—	—	127.49	58.85	15.84	7.3
Áreas verdes urbanas	—	—	—	—	4.14	1.9
Desprovisto de vegetación	—	—	2.38	1.10	9.99	4.6
Otras (agua, manglar)	—	—	—	—	5.76	2.6
Total	**216.62**	**100.00**	**216.62**	**100.00**	**216.72**	**99.9**

Fuente: la misma. Superficies de la capa propia leídas del atributo del shapefile; las de INEGI, por intersección geométrica del recorte (Serie VII) y por conteo de píxeles (USYVIA).

Las tres fuentes discrepan entre sí y ninguna cartografía nacional reproduce lo verificado en campo. Conviene enunciarlo con precisión, porque de ello depende la solidez jurídica del estudio.

La **Serie VII**, a escala 1:250,000, asigna la totalidad del Área del Proyecto a la clase *Agricultura de temporal semipermanente y permanente*. No es un error de la carta: es su resolución. El polígono `TSP` que cubre el

predio se extiende sobre **127.49 ha** dentro del Área de Influencia, y la unidad mínima cartografiable de la Serie VII —del orden de decenas de hectáreas— no admite la representación de un predio de 3.41 ha. La carta describe la matriz territorial, no el predio.

La **carta USYVIA**, a escala 1:75,000, mejora la resolución pero tampoco la resuelve: con un píxel de 30 m, el Área del Proyecto queda cubierta por apenas **37 píxeles**. La clase modal que asigna —*área construida*, con el 48.6 %— no corresponde a la condición del predio, que no está edificado. Ese resultado es un efecto de borde de la matriz urbana circundante sobre un polígono cuya anchura apenas supera unas pocas celdas del ráster.

El **levantamiento en campo**, en cambio, cubre el predio a escala 1:2,000 con quince sitios de muestreo del estrato arbóreo, 342 registros de individuos y una cobertura de copa medida del **42.85 %** en ese estrato (apartado III.7). Documenta selva baja caducifolia en estado de vegetación secundaria, con dieciocho especies leñosas y árboles de *Swietenia humilis*, *Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea* y *Roseodendron donnell-smithii*. Un terreno bajo agricultura de temporal —la clase que asigna la Serie VII— no sostiene ese arbolado.

La conclusión técnica es que **la cartografía de escala nacional es inadecuada, por construcción, para determinar la condición de un predio de 3.41 ha**, y que la única fuente con resolución suficiente es la verificación en campo. Ésa es, además, la razón por la que las escalas del Área del Proyecto y del Área de Influencia se describen en este capítulo con la capa propia fotointerpretada y no con un recorte de la carta nacional.

El perito resolvió la forma de presentación (2026-07-10): dado que la Serie VII de INEGI opera a escala 1:250,000, su cartografía **no corresponde a lo observado en campo, que refleja la realidad del predio**. Prevalece, por tanto, el dato de la verificación directa, que acredita terreno forestal —y con él la procedencia del cambio de uso de suelo en terrenos forestales sobre 3.4097 ha—, frente a la clasificación de agricultura de temporal de la carta nacional. Como respaldo ante la autoridad, que puede invocar dicha carta, se integran como anexo la memoria fotográfica de los quince sitios de muestreo, la ortofoto de detalle y el dictamen de constitución de terreno forestal, que sostienen la prevalencia del dato de campo sobre la cartografía de escala 1:250,000.

III.2.2.4 Listado de especies potenciales de la Región Ecológica

Las especies potenciales son aquellas cuya distribución conocida incluye la Región Ecológica, con independencia de que hayan sido o no detectadas durante los muestreos. Su listado establece el universo de referencia contra el cual se mide la representatividad del trabajo de campo.

El listado se obtuvo de la **Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF)**, que integra los registros de colecta y observación georreferenciados de las principales fuentes —incluidos los del SNIB-CONABIO—, acotados al polígono de la Región Ecológica y agrupados por reino. La consulta se realizó el **10 de julio de 2026**. Se contabilizan únicamente las especies con determinación **a nivel específico** —los registros identificados solo hasta género o categoría superior se excluyen—, de modo que la cifra refleja la riqueza de especies y no el número de observaciones.

Tabla 37. Especies potenciales de la Región Ecológica por grupo (GBIF).

Grupo	Registros de GBIF (observaciones)	Especies potenciales	En categoría de riesgo
Plantas	231	143	5
Aves	6,389	232	5
Reptiles	238	41	5
Mamíferos	133	25	2
Anfibios	36	6	0
Total	**7,027**	**447**	**17**

Fuente: GBIF, consulta del 10 de julio de 2026. Los «registros» son observaciones o colectas; las «especies potenciales» son los binomios únicos con determinación a nivel especie (los 6,389 registros de aves, por ejemplo, corresponden a 232 especies). «En categoría de riesgo» reúne las especies

*listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en la CITES o en categoría de amenaza (Vulnerable, En peligro o En peligro crítico) de la Lista Roja de la UICN. El listado completo, especie por especie —con familia, nombre común, categoría de la NOM-059, apéndice CITES, categoría UICN y endemismo—, se integra como **Anexo III.5**.*

Cinco grupos componen ese universo de referencia: 447 especies potenciales en total, con la avifauna (232 especies) y la flora (143) a la cabeza, y diecisiete especies en alguna categoría de riesgo repartidas entre los reinos.

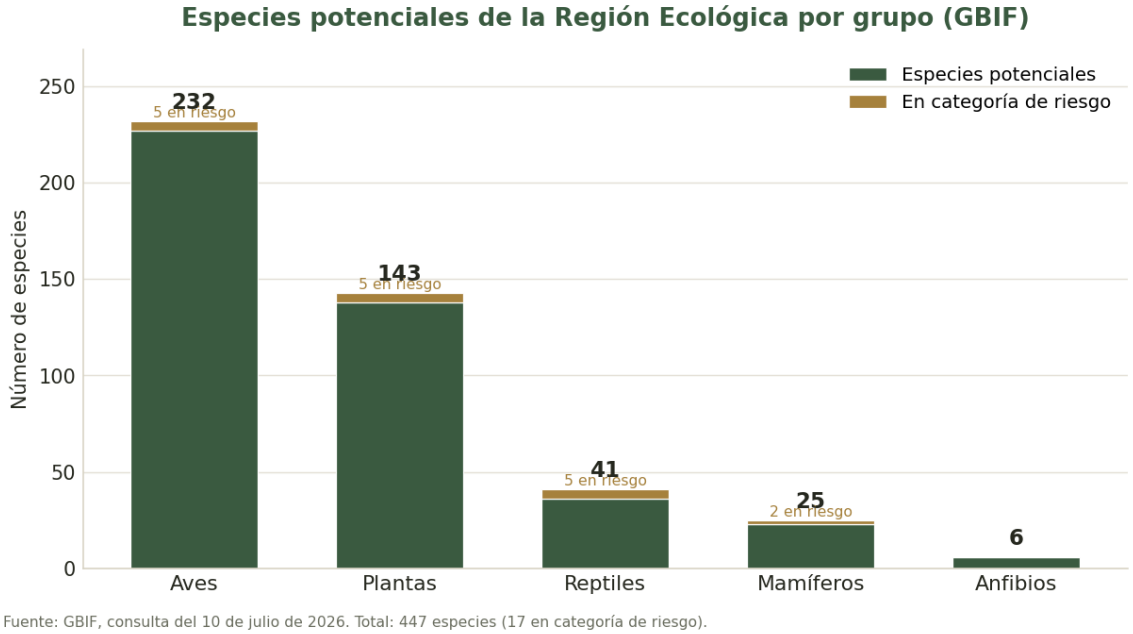


Figura 37. bis. Especies potenciales de la Región Ecológica por grupo, con el subconjunto en categoría de riesgo.**

Fuente: GBIF, consulta del 10 de julio de 2026.

La lectura de este universo cambia según el reino. En **fauna**, las 304 especies potenciales superan con amplitud las 93 documentadas en el conjunto de las tres escalas de muestreo —la riqueza γ del sistema (apartado III.5.5)—, pero esa diferencia no mide una deficiencia del esfuerzo: el listado potencial agrega registros de colecta y observación acumulados durante décadas sobre **toda la microcuenca** —incluidos el sistema lagunar y su contingente de aves acuáticas, limícolas y migratorias—, mientras que los transectos del proyecto se concentran en la selva baja caducifolia del Área del Proyecto y su entorno. La representatividad del muestreo se demuestra con los estimadores de riqueza y las curvas de acumulación del apartado III.3.2, no con la razón entre estos dos listados.

En **flora**, la relación es muy distinta: las 143 especies potenciales apenas superan las 138 documentadas en campo —la riqueza γ florística del sistema—. Esa cercanía es reveladora: el inventario propio, fotointerpretado y verificado en campo, alcanza una riqueza comparable a la del registro de colecta abierto acumulado para toda la Región Ecológica. Acredita la minuciosidad del trabajo de campo y hace del inventario del proyecto (apartados III.3 y III.5), y no del listado potencial, la fuente de mayor resolución para caracterizar la vegetación del polígono.

Diecisiete especies potenciales están en alguna categoría de protección, y su composición es la esperable de una microcuenca **costera con sistema lagunar**. La flora en riesgo la encabezan dos mangles —*Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Rhizophora mangle* (mangle rojo)—, ambos **amenazados (A) en la NOM-059-SEMARNAT-2010**, más tres leñosas en categoría de amenaza de la UICN: *Swietenia humilis* (cóbano) y *Brongniartia pacifica*, en peligro, y *Jacaranda mimosifolia*, vulnerable. Entre la fauna potencial destacan especies **ligadas al litoral y al sistema lagunar**, ajenas al hábitat del Área del Proyecto: las tres tortugas marinas —*Eretmochelys imbricata* (en peligro crítico), *Dermochelys coriacea* y *Lepidochelys olivacea* (vulnerables)— y el cocodrilo de río *Crocodylus acutus* (vulnerable); a ellas se suman aves playeras

migratorias (*Limosa fedoa*, *Pluvialis squatarola*, *Tringa flavipes* y *Limnodromus griseus*, vulnerables), el loro corona lila *Amazona finschi* (en peligro) y dos mamíferos en peligro: el murciélago *Leptonycteris nivalis* y la rata *Xenomys nelsoni*, endémica del occidente de México.

El dato relevante para la evaluación es que **la mayoría de las especies protegidas potenciales depende de hábitats —playa, manglar, lámina lagunar, humedal costero— que no existen dentro del Área del Proyecto**, un fragmento de selva baja caducifolia secundaria tierra adentro. Su presencia potencial en la Región Ecológica no implica su presencia en el predio: la caracterización directa del Área del Proyecto (apartado III.5) es la que acota qué especies protegidas concurren efectivamente en la superficie por remover.

III.2.3 Componente socioeconómico

La Región Ecológica se localiza íntegramente en el municipio de **Manzanillo, Colima**. Su caracterización socioeconómica se sustenta en el Censo de Población y Vivienda 2020 de INEGI, en los índices de marginación del Consejo Nacional de Población, en el índice de rezago social del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas y en el padrón de presencia indígena del Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas.

Tabla 38. Caracterización socioeconómica de la Región Ecológica y del Área de Influencia.

Indicador	Región Ecológica	Área de Influencia	Fuente y año
Unidades de análisis	3 localidades	1 AGEB + 6 localidades	INEGI, Censo 2020 (ITER y RESAGEBURB)
Población total	163,080 habitantes	41 habitantes	INEGI, Censo 2020
Localidades urbanas	3 (1,453.34 ha): Manzanillo, Jalipa, Francisco Villa	—	INEGI, Marco Geoestadístico
Localidades rurales	21	—	INEGI, Marco Geoestadístico
Grado de marginación	Muy bajo en las 3 unidades; índice ponderado 24.591	Sin dato en las 7 unidades	CONAPO, 2020
Grado de rezago social	Muy bajo (2 unidades), bajo (1); índice ponderado −1.1175	Medio (1 unidad); sin dato (6)	CONEVAL, 2020
Población indígena en hogares	1,223 personas; 21 pueblos representados	0	INPI, 2020
Territorios de pueblos indígenas	Ninguno	Ninguno	INPI
Unidades económicas	2,836	19	DENUE, 2020
— de encadenamiento productivo	1,145	3	DENUE, 2020
— de clúster logístico	432	14	DENUE, 2020
— de servicios generales	1,259	2	DENUE, 2020
Red de caminos	2,828 tramos, 228.86 km	—	INEGI, Red Nacional de Caminos

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (Censo de Población y Vivienda 2020, Marco Geoestadístico Nacional, Red Nacional de Caminos), CONAPO (2020), CONEVAL (2020), INPI (2020) y DENUE (2020). El Área del Proyecto no contiene localidades ni áreas geoestadísticas básicas y, por tanto, carece de caracterización socioeconómica propia; ésta es una condición de diseño del polígono, no un dato faltante.

La Región Ecológica alberga **163,080 habitantes**, concentrados en la ciudad y puerto de Manzanillo y en las localidades de Jalipa y Francisco Villa. Se trata, por tanto, de una unidad ecológica **densamente poblada**: 2,722 habitantes por kilómetro cuadrado sobre sus 59.92 km². Ese dato reencuadra todo el diagnóstico. La presión sobre los recursos naturales de la microcuenca no proviene de un uso extensivo del territorio, sino de la expansión de una ciudad portuaria de escala nacional.

Las condiciones sociales son comparativamente favorables. Las tres localidades urbanas presentan grado de marginación **muy bajo** y grado de rezago social **muy bajo o bajo**, lo que sitúa a la Región Ecológica muy

por encima de la media estatal y nacional. Residen en ella 1,223 personas en hogares indígenas, pertenecientes a veintiún pueblos, todos ellos **población residente y no originaria** del territorio; **no existen territorios de pueblos indígenas dentro de la Región Ecológica**, de modo que no se actualiza el supuesto de consulta previa, libre e informada por esta vía.

La estructura económica está determinada por el puerto. De las 2,836 unidades económicas de la Región Ecológica, **1,145 pertenecen a actividades de encadenamiento productivo** y **432 al clúster logístico**, es decir, más de la mitad del tejido económico gravita sobre la actividad portuaria y su cadena de suministro. En el Área de Influencia la especialización es aún más nítida: de sus 19 unidades económicas, **14 son del clúster logístico**, y 11 de ellas corresponden al subsector 484, autotransporte de carga.

Este perfil es el argumento socioeconómico central del proyecto. Un patio de contenedores y maniobra no se inserta en un territorio agrícola o silvestre al que impondría una vocación ajena: se inserta en el **corazón funcional de un clúster logístico portuario ya consolidado**, sobre un entorno inmediato cuya actividad dominante es precisamente el autotransporte de carga, y a escasa distancia del recinto portuario al que sirve. La congruencia entre la actividad proyectada y la vocación real del suelo circundante es completa, y reduce a su mínima expresión los conflictos de uso y las externalidades sobre población residente: el Área de Influencia, en sus 216.62 ha, alberga apenas **41 habitantes**.

III.3 METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE FLORA Y FAUNA

III.3.1 Resumen y metodología de los muestreos

El levantamiento cubrió las tres escalas de análisis en **dos temporadas de un mismo ciclo anual**, la seca y la húmeda, con un diseño estratificado que separa la vegetación en cinco estratos y la fauna en cuatro grupos taxonómicos. Todas las unidades de muestreo están georreferenciadas y se verificaron una por una contra los polígonos de las tres escalas: **ningún sitio, transecto o cámara quedó fuera de la escala que le corresponde**.

Flora

El muestreo de vegetación se realizó en **treinta sitios**, con dimensiones fijas por estrato. El estrato arbóreo y el de regeneración comparten la misma unidad muestral y se reportan de forma conjunta como una **hectárea-tipo**, distinguiendo los adultos —diámetro normal superior a 7 cm— de la regeneración —diámetro normal inferior a 7 cm—.

Tabla 39. Diseño del muestreo de flora: estratos, dimensiones y número de sitios por escala.

Estrato	Superficie del sitio (m²)	Criterio de inclusión	Sitios en el AP	Sitios en el AI	Sitios en la RE
Arbóreo	500	Diámetro normal > 7 cm	15	4	11
Regeneración	100	Diámetro normal < 7 cm	15	4	11
Arbustivo	100	Individuos leñosos no arbóreos	13	4	11
Herbáceo	5	Subsitio dentro del sitio mayor	15	4	11
Otras formas de vida	100	Trepadoras, epífitas, suculentas	15	4	11

Fuente: bases de campo del muestreo de flora del proyecto (Anexo G). Las dimensiones se derivan de la superficie muestreada por estrato, dividida entre el número de sitios.

El número de sitios del estrato arbustivo en el Área del Proyecto —**trece de quince**— no es un error de captura: **en dos de los quince sitios no se registró ningún individuo arbustivo**, de modo que esos sitios

no aportan superficie muestreada a ese estrato. El dato importa porque el estrato arbustivo del predio resulta ser el más pobre de todos —cinco especies y una cobertura del 5.68 %—, y su escasez empieza en la ausencia física de arbustos en el 13 % de los sitios. Es un rasgo de la condición del predio, no una deficiencia del muestreo.

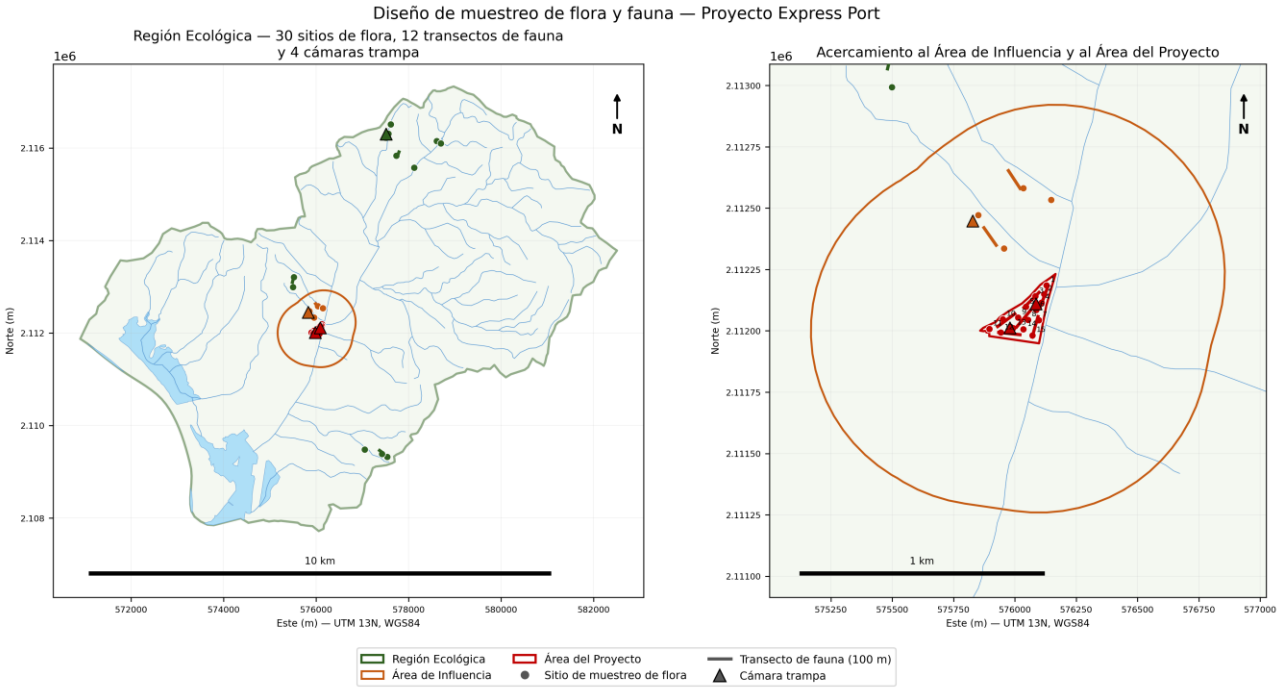
Fauna

Tabla 40. Diseño del muestreo de fauna: transectos, recorridos y cámaras trampa.

Escala	Transectos físicos georreferenciados	Longitud de cada transecto (m)	Recorridos en temporada seca	Recorridos en temporada húmeda	Recorridos totales	Cámaras trampa
AP	6	100	6	6	12	2
AI	2	100	2	4	6	1
RE	4	100	4	2	6	1
Total	**12**	—	**12**	**12**	**24**	**4**

Fuente: geometría georreferenciada de los transectos y cámaras trampa del proyecto (Anexo G); bases de campo del muestreo de fauna (Anexo G) (recorridos, del sub-encabezado que etiqueta cada columna como `Ns` para la temporada seca y `Nh` para la húmeda).

El esfuerzo se concentra deliberadamente en el Área del Proyecto, que reúne **la mitad de los recorridos de fauna** (12 de 24) y **la mitad de los sitios de flora** (15 de 30) sobre el 0.06 % de la superficie de la Región Ecológica. Esa asimetría es correcta —el predio es donde se producirá la afectación— pero prohíbe comparar abundancias o riquezas absolutas entre escalas. Por eso toda comparación de este capítulo se normaliza: la fauna en **avistamientos por transecto** y la flora en **individuos por hectárea**, y la riqueza se contrasta con **estimadores de incidencia**, no con el conteo crudo.



Fuente: Sitios_Flora_*.shp, Transectos_*.shp y Camaras_fototrampa_*.shp. El color indica la escala a la que pertenece cada unidad de muestreo. EPSG:32613.

Figura 38. Diseño de muestreo de flora y fauna sobre las tres escalas: 30 sitios de flora, 12 transectos de 100 m y 4 cámaras trampa. El esfuerzo se concentra en el Área del Proyecto, y los sitios de la Región Ecológica se distribuyen en tres núcleos —el norte serrano, el sector de Jalipa y el sur de la microcuenca— para cubrir su heterogeneidad.

Fuente: elaboración propia con los datos de campo georreferenciados del proyecto (Anexo G), EPSG:32613.

La figura revela un rasgo del diseño que ninguna tabla muestra: **los once sitios de la Región Ecológica no están dispersos al azar, sino agrupados en tres núcleos** que corresponden a los remanentes de selva que sobreviven dentro de la microcuenca. Esa agrupación es la razón por la que la curva de acumulación de la Región Ecológica alcanza una completitud menor que la del predio, pese a cubrir una superficie mil

setecientas veces mayor: el muestreo regional cubre bien la selva baja caducifolia remanente, pero no pretende inventariar el manglar ni la vegetación de las lagunas, que no son el ecosistema afectado.

Coordenadas de las unidades de muestreo

Tabla 41. Coordenadas de los treinta sitios de muestreo de flora (UTM zona 13 Norte, WGS84).

Escala	Sitio	X (m)	Y (m)	Escala	Sitio	X (m)	Y (m)
AP	1	576,129	2,112,186	AP	9	576,013	2,112,054
AP	2	576,119	2,112,150	AP	10	575,951	2,112,047
AP	3	576,083	2,112,141	AP	11	575,896	2,112,008
AP	4	576,109	2,112,115	AP	12	575,942	2,111,993
AP	5	576,045	2,112,098	AP	13	575,993	2,112,011
AP	6	576,087	2,112,085	AP	14	576,035	2,112,006
AP	7	576,098	2,112,044	AP	15	576,072	2,111,982
AP	8	576,053	2,112,045				
AI	1	575,956	2,112,336	AI	3	576,035	2,112,582
AI	2	575,851	2,112,472	AI	4	576,148	2,112,534
RE	5	575,499	2,112,993	RE	11	578,121	2,115,571
RE	6	575,518	2,113,208	RE	12	577,735	2,115,835
RE	7	578,608	2,116,149	RE	13	577,050	2,109,481
RE	8	578,695	2,116,097	RE	14	577,539	2,109,324
RE	9	577,612	2,116,512	RE	15	577,422	2,109,387
RE	10	577,565	2,116,309				

Fuente: bases de campo georreferenciadas del muestreo de flora (Anexo G). Cada coordenada se verificó contra el polígono de su escala.

La numeración de los sitios es **continua a través de las escalas**, no independiente en cada una: el Área del Proyecto ocupa los sitios 1 a 15, el Área de Influencia los sitios 1 a 4 de su propia serie, y la Región Ecológica arranca en el sitio 5 y llega al 15. Conviene señalar que **el sitio 5 de la Región Ecológica**, en `(575,499, 2,112,993)`, estuvo inicialmente asignado al Área de Influencia en la base de campo pese a caer 318 m fuera de su polígono; la corrección se aplicó y los índices se recalcularon con el esfuerzo real —cuatro sitios en el Área de Influencia y once en la Región Ecológica—. Todos los índices de este capítulo provienen de esa corrida corregida.

Tabla 42. Coordenadas de los doce transectos de fauna (UTM zona 13 Norte, WGS84).

Escala	Transecto	X inicio	Y inicio	X fin	Y fin	Longitud (m)
AP	1	575,925	2,112,013	576,005	2,112,073	100
AP	2	576,032	2,112,090	576,103	2,112,161	100
AP	3	575,928	2,111,994	576,027	2,111,984	100
AP	4	576,004	2,112,011	576,068	2,112,088	100
AP	5	576,102	2,112,093	576,137	2,112,187	100
AP	6	576,069	2,111,968	576,096	2,112,064	100
AI	1	575,928	2,112,344	575,870	2,112,425	100
AI	2	576,025	2,112,575	575,970	2,112,658	100
RE	3	575,480	2,113,062	575,503	2,113,159	100
RE	4	577,345	2,109,479	577,426	2,109,420	100
RE	5	577,769	2,115,851	577,803	2,115,944	100
RE	6	577,509	2,116,152	577,513	2,116,252	100

Fuente: geometría georreferenciada de los transectos de fauna del proyecto (Anexo G). Longitud medida sobre la geometría de la línea.

Los doce transectos tienen **exactamente cien metros** cada uno, de modo que el esfuerzo por recorrido es homogéneo entre escalas y la métrica de avistamientos por transecto es directamente comparable. Los seis del Área del Proyecto se distribuyen en abanico sobre las 3.4097 ha del predio, cubriendo tanto el sector

arbolado del norte como la franja de menor cobertura del sur; los de la Región Ecológica se sitúan en los tres núcleos de selva remanente ya señalados.

Tabla 43. Coordenadas de las cuatro cámaras trampa (UTM zona 13 Norte, WGS84).

Escala	Cámara	X (m)	Y (m)
AP	1	575,979	2,112,013
AP	2	576,085	2,112,110
AI	1	575,828	2,112,448
RE	1	577,511	2,116,300

Fuente: geometría georreferenciada de las cámaras trampa del proyecto (Anexo G).

Las dos cámaras del Área del Proyecto se emplazaron sobre los rastros de paso detectados en el reconocimiento previo, y son el instrumento que permite detectar mamíferos de hábitos crepusculares y nocturnos que el recorrido diurno de transecto no registra. Su aportación se refleja en los catorce mamíferos del predio, encabezados por *Notocitellus annulatus*.

Datos de campo del levantamiento. El levantamiento se ejecutó en dos temporadas —seca (del 9 al 14 de febrero de 2026) y húmeda (del 1 al 4 de julio de 2026)—. La fauna la levantó el **Ing. Julián Barrón Quintana** mediante transectos con puntos de revisión cada 20–30 m y colocación de fototrampas; la flora, el **Ing. Jesús de la Mora Torres**, en sitios circulares de 500 m² para el estrato arbóreo, cuadrantes de 100 m² para los estratos arbustivo, de regeneración y de otras formas de vida, y cinco subsitios de 1 m² por sitio. El detalle de fechas, horarios, tipo de muestreo y responsable por jornada consta en el **Anexo III.2** (flora) y el **Anexo III.3** (fauna).

III.3.2 Análisis estadístico de representatividad

La suficiencia del esfuerzo se evalúa con **estimadores no paramétricos de riqueza basados en incidencia** y con **curvas de acumulación de especies**. Las curvas se construyeron con mil permutaciones aleatorias del orden de las unidades de muestreo, y sobre la media resultante se ajustó el **modelo de Clench** por regresión no lineal. La **completitud** es el cociente entre la riqueza observada y la asíntota del modelo, expresado en porcentaje.

Tabla 44. Estimadores de riqueza de flora por estrato y escala.

Estrato	Escala	Riqueza observada `S_obs`	Chao 2	ICE	Completitud (Clench, %)	Esfuerzo (sitios)
Arbóreo	AP	16	16.00	16.58	85.5 †	15
Arbóreo	RE	60	62.31	65.62	83.8 †	11
Regeneración	AP	15	16.12	18.43	85.5 †	15
Regeneración	RE	61	64.45	67.52	83.8 †	11
Arbustivo	AP	5	5.00	5.00	76.3	13
Arbustivo	RE	25	25.11	25.63	80.5	11
Herbáceo	AP	19	19.00	19.00	91.3	15
Herbáceo	RE	27	27.15	27.60	90.1	11
Otras formas de vida	AP	6	6.00	6.00	84.6	15
Otras formas de vida	RE	14	14.00	14.30	83.5	11

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto — riqueza y estimadores de completitud (Anexo H). † La completitud del estrato arbóreo y la de regeneración se calculan sobre la hectárea-tipo conjunta. ‡ El Área de Influencia no tiene curva propia: su esfuerzo de cuatro sitios se agrega al de la Región Ecológica para el ajuste del modelo de contexto. Los siete estimadores de riqueza (Chao 1, Chao 2, Jackknife 1 y 2, Bootstrap, ICE) y el R^2 del ajuste de Clench se publican por unidad (Anexo H) y se tabulan en las Tablas 61 bis (Área del Proyecto) y III.74 bis (Región Ecológica).

Los estimadores confirman que **el inventario del Área del Proyecto está esencialmente completo en los estratos que importan para el cambio de uso de suelo**. En el arbóreo, Chao 2 iguala exactamente a la riqueza observada —16.00 contra 16— y el ICE la excede en apenas 0.58 especies: no hay evidencia de especies arbóreas no detectadas. En el arbustivo y en otras formas de vida, ambos estimadores coinciden

con lo observado. La única señal de submuestreo aparece en la **regeneración del predio**, donde el ICE sube a 18.43 frente a las 15 observadas, lo que es esperable: los renuevos de menos de 7 cm de diámetro son numerosos, pequeños y de identificación difícil.

En la Región Ecológica el cuadro cambia. El arbóreo estima 62.31 especies contra 60 observadas, y la **regeneración estima 45.52 contra 38**: quedan del orden de siete u ocho especies de renuevo sin detectar en la microcuenca. Es la consecuencia directa del muestreo agrupado en tres núcleos que ya señaló la Figura 38, y no invalida el análisis: la Región Ecológica es el marco de referencia, no la superficie afectada.

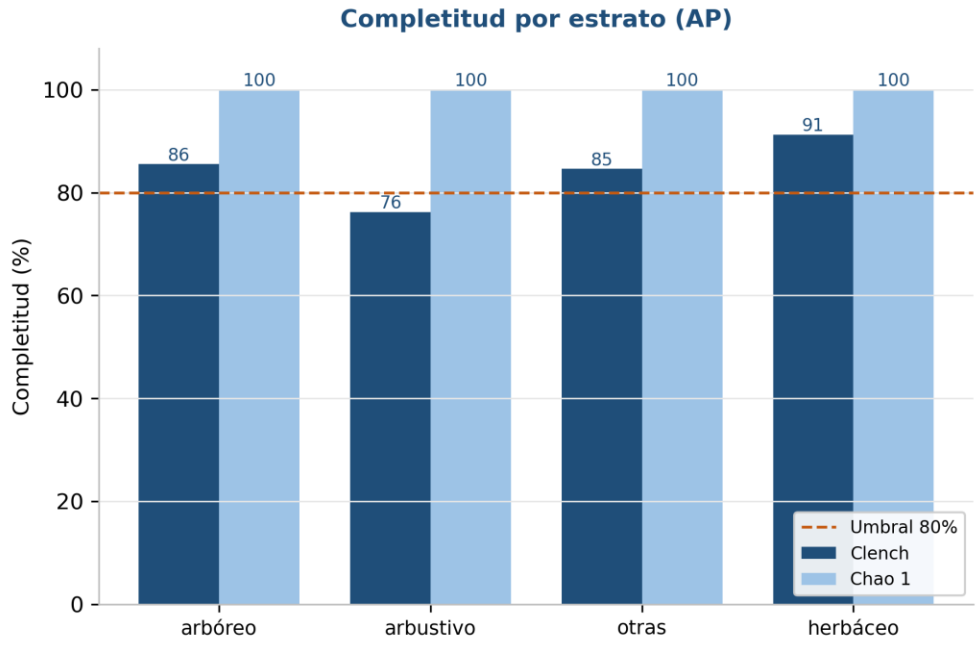


Figura 39. Completitud del muestreo por estrato en el Área del Proyecto, contrastando el modelo de Clench con el estimador Chao 1. Los cuatro estratos superan el umbral del 75 % y el herbáceo alcanza el 91.3 %.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La figura ordena los estratos por su grado de inventario y arroja una lectura operativa: **el estrato herbáceo es el mejor muestreado (91.3 %) y el arbustivo el peor (76.3 %)**, exactamente al revés de lo que la intuición sugeriría. La razón es el número de individuos: el herbáceo aporta 1,070 individuos sobre los que la curva se estabiliza pronto, mientras que el arbustivo aporta 41 repartidos en cinco especies, y con tan pocos registros la asíntota del modelo permanece lejana. Ninguno de los cuatro baja del 75 %, umbral por debajo del cual el inventario se consideraría insuficiente.

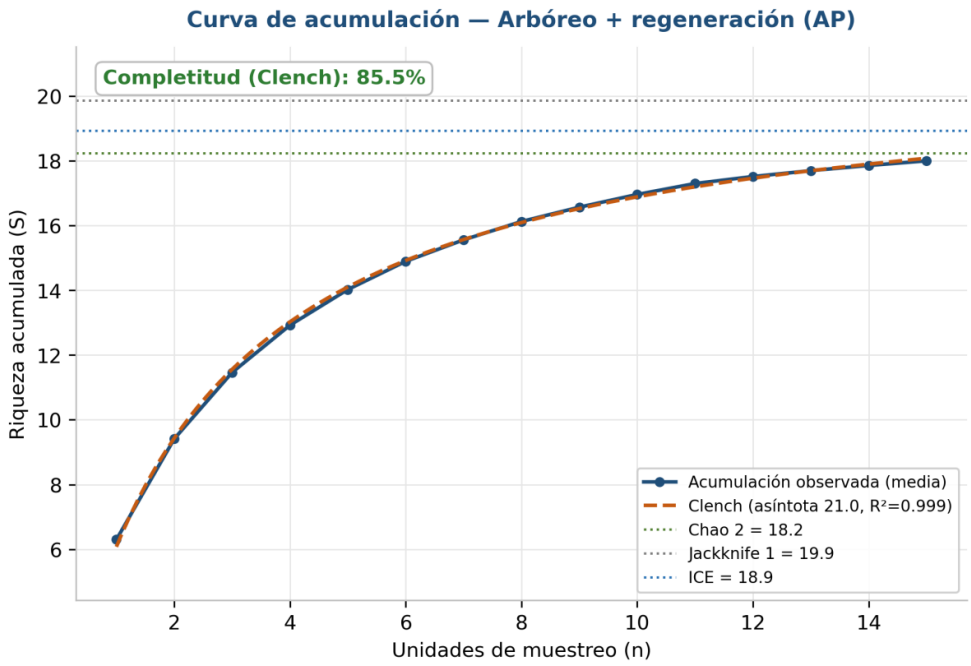


Figura 40. Curva de acumulación del estrato arbóreo del Área del Proyecto. La curva observada se superpone al ajuste de Clench y alcanza el valor de Chao 2 (16.0) en el sitio 14 de 15: el inventario arbóreo del predio está cerrado.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Esta es la curva de mayor peso jurídico del capítulo, porque el estrato arbóreo es el que sustenta el volumen forestal y la solicitud de cambio de uso de suelo. Su forma es la de un inventario **cerrado**: la pendiente en los últimos tres sitios es prácticamente nula, la línea de Chao 2 se cruza antes de agotar el muestreo, y las bandas de los tres estimadores —Chao 2 en 16.0, Jackknife 1 en 16.9 e ICE en 16.6— quedan comprimidas en menos de una especie de diferencia. La asíntota de Clench, en 20.2, es la más conservadora y explica la completitud del 79.3 %. **Dieciséis especies arbóreas es la riqueza real del predio**, no una cifra provisional.

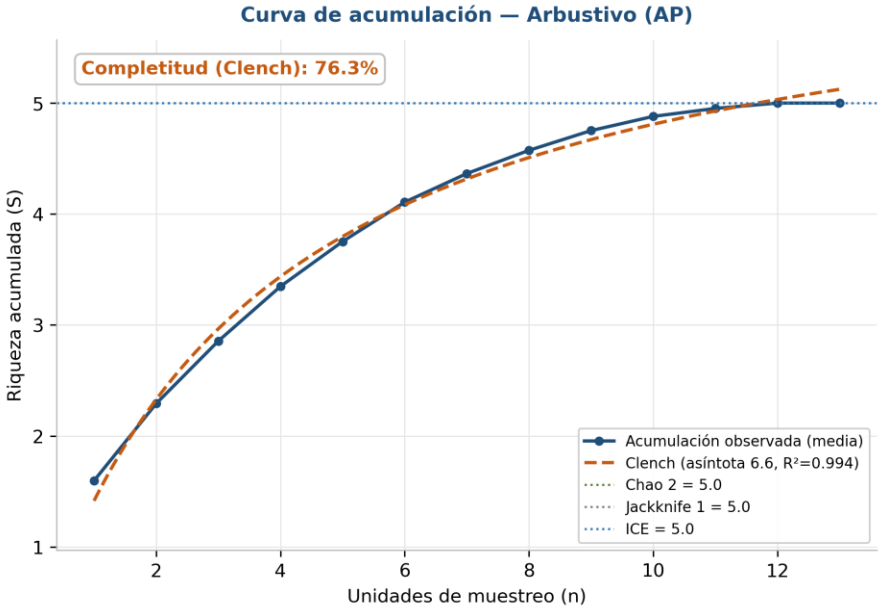


Figura 41. Curva de acumulación del estrato arbustivo del Área del Proyecto. Con solo cinco especies y 41 individuos, la curva se aplana desde el sitio 6, pero la asíntota de Clench permanece alejada: completitud del 76.3 %.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Aquí conviene ser preciso, porque la curva y el estimador dicen cosas distintas. **Chao 2 e ICE valen exactamente 5.00**, igual que la riqueza observada: ningún estimador de incidencia sospecha especies no detectadas. Sin embargo la completitud de Clench se queda en 76.3 %, la más baja de los cuatro estratos. La discrepancia no es un error: los estimadores de incidencia se saturan cuando no hay singletons ni doubletons —cuando todas las especies aparecen en varios sitios—, mientras que el modelo de Clench sigue proyectando una asíntota a partir de la forma de la curva. Con cinco especies el ajuste tiene poco de donde agarrarse. **La lectura correcta es que el estrato arbustivo del predio está bien inventariado y es genuinamente pobre.**

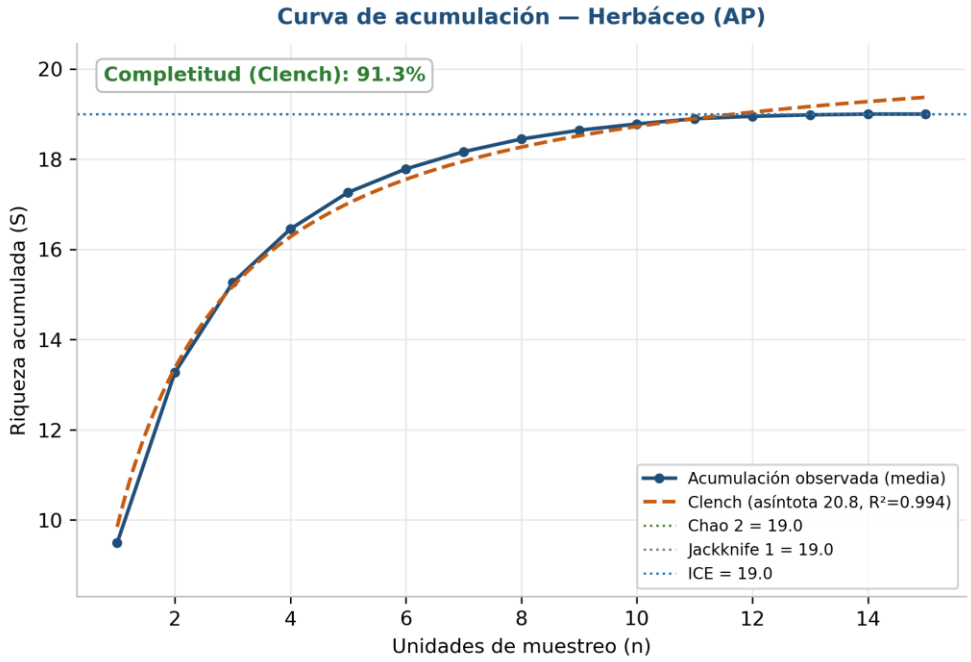


Figura 42. Curva de acumulación del estrato herbáceo del Área del Proyecto. Diecinueve especies sobre 1,070 individuos; la curva alcanza la asíntota y la completitud es del 91.3 %, la más alta del predio.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

El herbáceo es el estrato mejor caracterizado del Área del Proyecto y, no por casualidad, el que más información aporta sobre la condición del terreno. Su curva se aplana a partir del undécimo subsitio y Chao 2 e ICE coinciden en 19.00 con la riqueza observada. Ese cierre estadístico da solidez a un dato que el diagnóstico del Bloque 3 empleará: entre esas diecinueve especies aparecen *Cleome viscosa*, *Cynodon dactylon*, *Momordica charantia* y *Panicum maximum*, todas exóticas y tres de ellas declaradas invasoras.

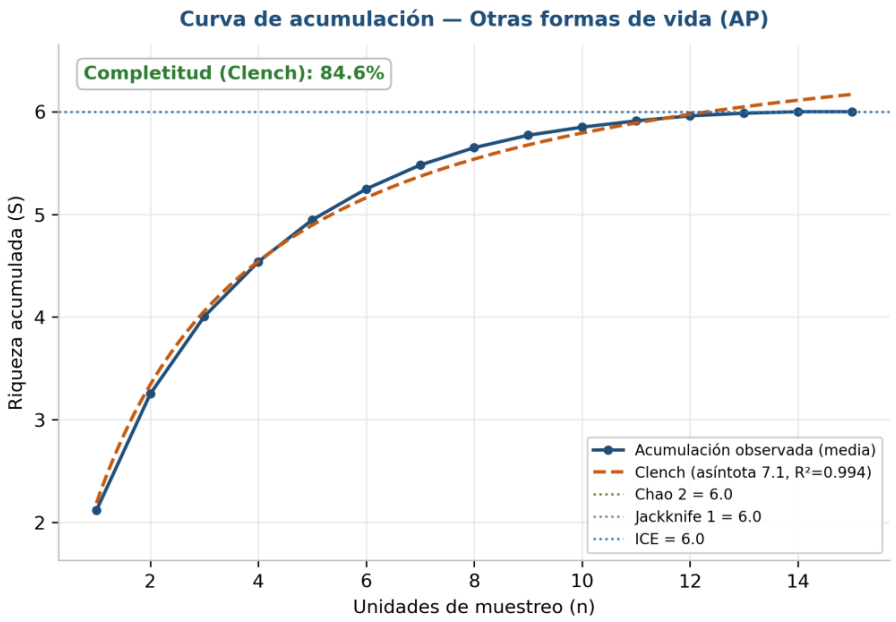


Figura 43. Curva de acumulación del estrato de otras formas de vida —trepadoras, epífitas y suculentas— del Área del Proyecto. Seis especies, 93 individuos, completitud del 84.6 %.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Este estrato reúne las formas de vida que dependen estructuralmente del arbolado: sin árboles no hay trepadoras ni epífitas. Su curva se cierra con Chao 2 e ICE en 6.00, y su completitud del 84.6 % es la segunda más alta. La cifra tiene una implicación directa para la evaluación: **la remoción del estrato arbóreo del predio arrastra consigo, de forma necesaria, las seis especies de este estrato**, encabezadas por *Cissus verticillata* con un índice de valor de importancia de 147.6 sobre 300. No son un componente independiente que pueda conservarse por separado.

Tabla 45. Estimadores de riqueza de fauna por grupo y escala.

Grupo	Escala	Riqueza observada `S_obs`	Chao 2	ICE	Completitud (Clench, %)	Esfuerzo (recorridos)
Aves	AP	39	39.00	39.00	89.4	12
Aves	AI	44	44.50	44.89	no aplica ‡	6
Aves	RE	50	50.00	50.00	90.5	6
Mamíferos	AP	14	14.00	14.00	86.5	12
Mamíferos	AI	16	16.00	16.00	no aplica ‡	6
Mamíferos	RE	21	21.00	21.00	89.1	6
Reptiles	AP	12	12.00	12.00	90.2	12
Reptiles	AI	16	16.00	16.30	no aplica ‡	6
Reptiles	RE	18	18.00	18.00	89.0	6
Anfibios	AP	2	2.00	2.00	87.2	12
Anfibios	AI	2	2.00	2.00	no aplica ‡	6
Anfibios	RE	1	1.00	1.00	73.5	6

Fuente: la misma. ‡ El Área de Influencia no tiene curva propia; su esfuerzo se agrega al de la Región Ecológica.

El resultado más contundente de la tabla es que **Chao 2 e ICE igualan a la riqueza observada en once de los doce pares grupo-escala**. En fauna, a diferencia de la flora, no queda margen de especies no detectadas: las cuatro comunidades faunísticas están inventariadas. La única excepción es Reptiles en el Área de Influencia, donde el ICE apunta a 16.30 contra 16 observadas —tres décimas de especie—.

Merece una observación el caso de los **anfibios en la Región Ecológica**: una sola especie observada, un estimador de 1.00 y una completitud de 73.5 %, la más baja de toda la tabla. Con una única especie los índices de diversidad no aplican, y así se declara en el apartado III.5. La causa es ecológica y no

metodológica: los seis recorridos de la Región Ecológica se concentraron cuatro en la temporada seca, cuando la actividad de los anfibios es nula, y solo dos en la húmeda.

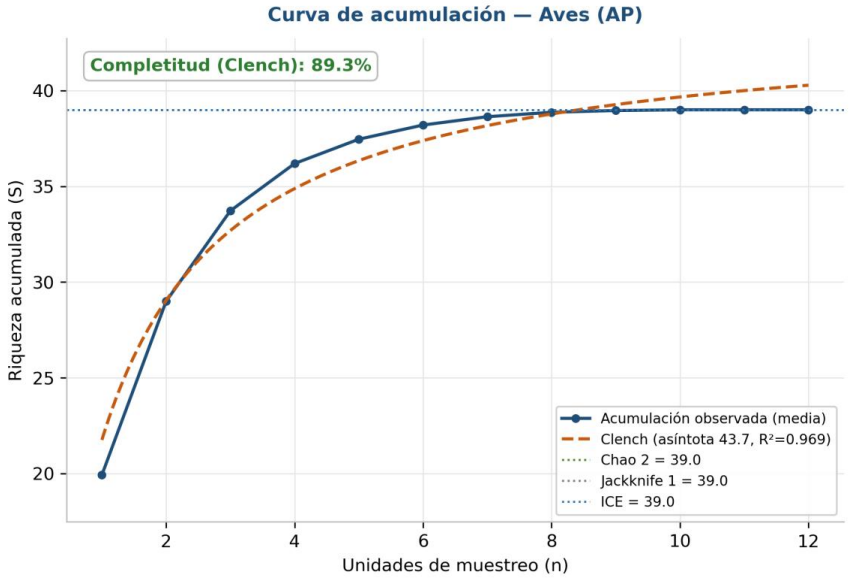


Figura 44. Curva de acumulación de aves en el Área del Proyecto. Treinta y nueve especies en doce recorridos; Chao 2 e ICE coinciden con lo observado y la completitud alcanza el 89.4 %.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Las aves son el grupo más rico del predio y el que mejor documenta su condición de hábitat. La curva asciende con fuerza en los primeros seis recorridos —la temporada seca— y vuelve a levantarse en el séptimo, cuando comienzan los recorridos de temporada húmeda y entran las especies estivales. Ese doble escalón es la firma estadística de la estacionalidad: **treinta y una especies en secas, treinta y seis en húmeda**, con una unión de treinta y nueve. La curva se aplana en el décimo recorrido y no vuelve a subir, lo que sostiene que doce recorridos bastaron.

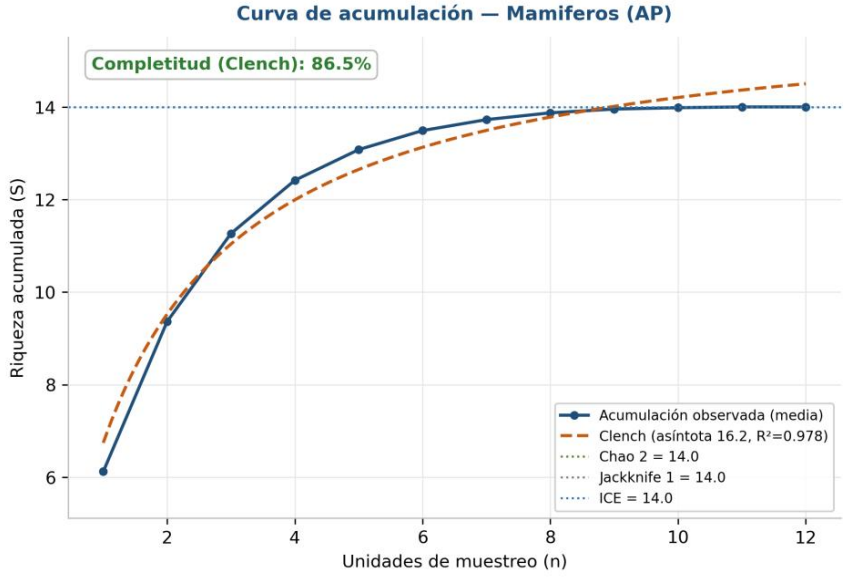


Figura 45. Curva de acumulación de mamíferos en el Área del Proyecto. Catorce especies; completitud del 86.5 %, la más baja de los cuatro grupos del predio.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Los mamíferos son el grupo cuya detección depende menos del transecto y más de las dos cámaras trampa, y la curva lo refleja: su ascenso es más escalonado que el de las aves, con saltos que corresponden a los registros de fototrampeo. Chao 2 e ICE se estabilizan en 14.00. La completitud del 86.5 %, la menor del predio, no debe leerse como un vacío sino como el límite natural de un grupo de baja densidad y hábitos crípticos en 3.4 ha. El dato relevante para el rescate de fauna es que **ninguna de las catorce especies figura en la NOM-059**, y que ocho de ellas cumplen funciones de dinámica trófica.

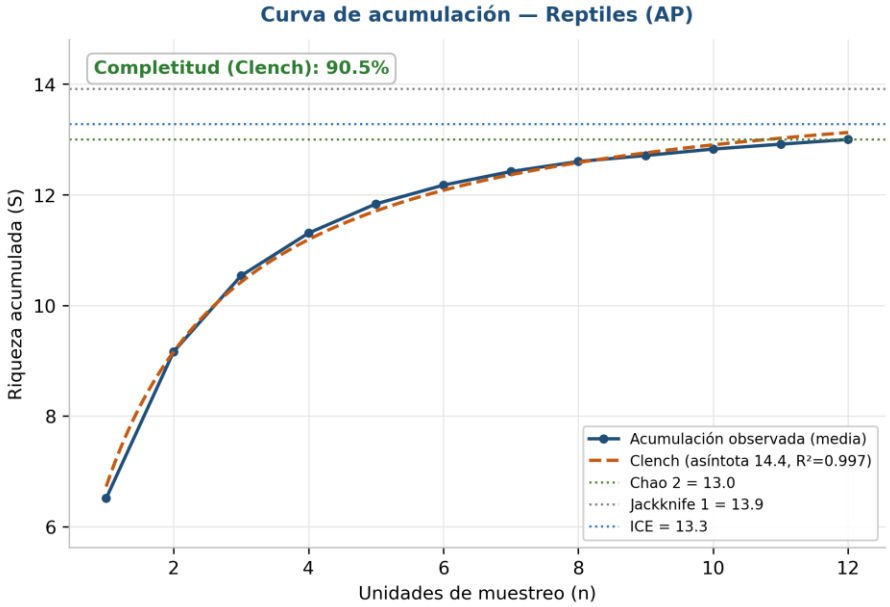


Figura 46. Curva de acumulación de reptiles en el Área del Proyecto. Doce especies y completitud del 90.2 %, la más alta del predio.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva de los reptiles se cierra antes que ninguna otra: a partir del octavo recorrido no se incorpora ninguna especie nueva, y Chao 2 e ICE se detienen en 12.00. Esa saturación temprana es la que da respaldo estadístico al programa de rescate: las doce especies del predio están identificadas, y **tres de ellas figuran en la NOM-059** —*Aspidoscelis lineattissimus* e *Hypsiglena torquata*, sujetas a protección especial, y *Ctenosaura pectinata*, amenazada, las tres endémicas—. La especie de mayor valor de importancia es *Sceloporus utiformis*, con un VIF de 30.6 sobre 200, que no está listada. No hay reptiles no detectados que puedan aparecer durante el desmonte.

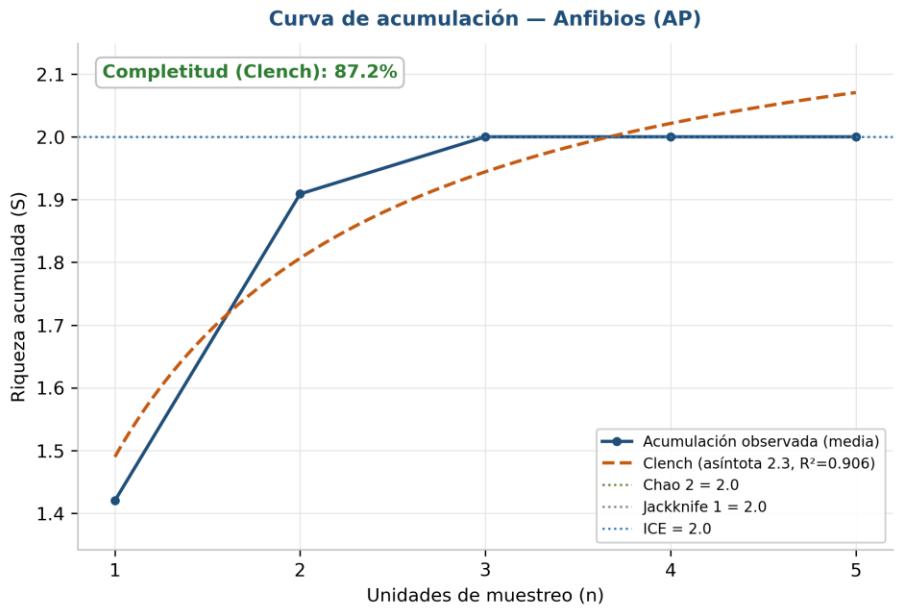


Figura 47. Curva de acumulación de anfibios en el Área del Proyecto. Dos especies, ocho avistamientos, todos en temporada húmeda; completitud del 87.2 %.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva de los anfibios es plana en su primera mitad y salta en la segunda: **los seis recorridos de temporada seca no produjeron un solo registro**, y las dos especies —*Agalychnis dacnicolor* e *Incilius marmoreus*— aparecieron íntegramente en la temporada húmeda. Esta figura es la evidencia más nítida de la temporada crítica que el apartado III.5 concluye, y traduce directamente en una restricción operativa: **el desmonte debe programarse en temporada seca**, cuando los anfibios están inactivos y enterrados, y el ahuyentamiento previo pierde eficacia sobre ellos.

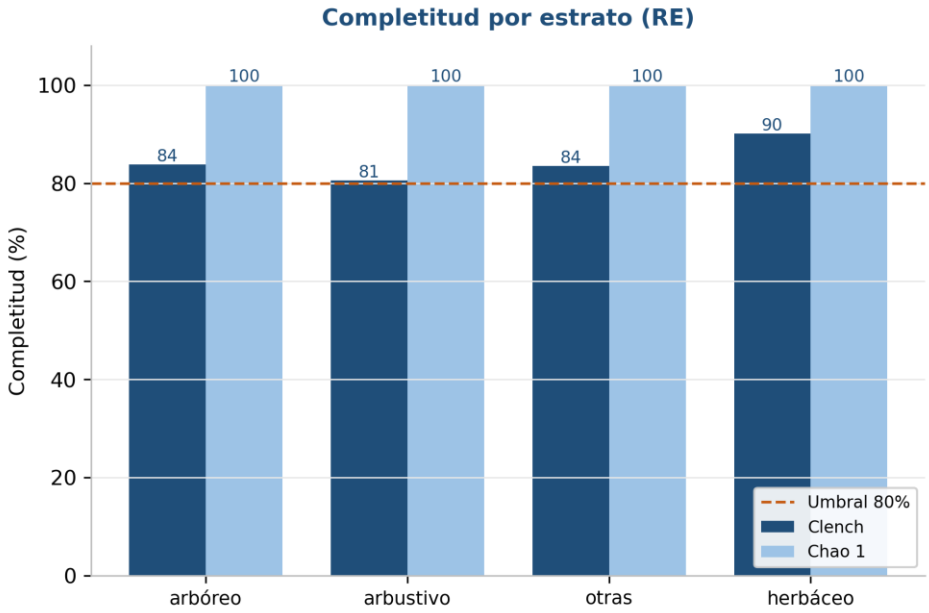


Figura 48. Completitud del muestreo por estrato y grupo en la Región Ecológica, con el esfuerzo agregado del Área de Influencia. Los anfibios (73.5 %) y el arbóreo (71.9 %).

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

III.4 ESPECIES ENDÉMICAS Y EN CATEGORÍA DE RIESGO (NOM-059-SEMARNAT-2010)

Se identificaron **treinta y cuatro especies** con alguna condición de protección —categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010, apéndice de la CITES, categoría de la Lista Roja de la UICN o endemismo—: catorce de flora y veinte de fauna. La tabla siguiente las reúne todas, con su número de individuos registrados en cada escala.

Tabla 46. Especies en categoría de riesgo, endémicas y listadas, con su presencia y número de individuos por escala.

Nombre científico	Nombre común	NOM-059	CITES	UICN	Endémica	Ind. AP	Ind. AI	Ind. RE
FLORA								
Acanthocereus tetragonus	Pitajaya	—	II	LC	—	—	—	2
Amphipterygium adstringens	Cuachalalate	—	—	VU	—	—	—	2
Astronium graveolens	Culebro	A	—	LC	—	—	—	11
Bursera sarcopoda	Tecomaca	—	—	EN	Sí	—	—	3
Cedrela odorata	Cedro rojo	**Pr**	II	VU	Sí	**5**	—	8
Guettarda elliptica	Limoncillo	—	—	CR	—	—	—	2
Handroanthus chrysanthus	Mapilla	—	II	VU	—	—	—	9
Pachycereus pecten-aboriginum	Pitayo de ocho costillas	—	II	LC	Sí	—	—	5
Platymiscium lasiocarpum	Granadillo	**P**	—	EN	Sí	—	—	3
Roseodendron donnell-smithii	Primavera	—	II	LC	—	**22**	5	39
Sapium macrocarpum	Higuerilla amatillo	A	—	LC	—	—	—	6
Sideroxylon capiri	Capire	A	—	LC	—	—	—	4
Swietenia humilis	Cóbano	—	II	EN	—	**106**	5	11
Tabebuia rosea	Rosa morada	—	II	LC	—	**6**	—	10
Subtotal flora						**139**	**10**	**115**
FAUNA								
Accipiter striatus	Gavilán pecho canela	**Pr**	II	LC	—	7	3	2
Agalychnis dacnicolor	Ranita verduzca	—	II	LC	Sí	5	—	2
Amazilia rutila	Colibrí canelo	—	II	LC	—	7	4	4
Aspidoscelis communis	Huico moteado gigante	**Pr**	—	LC	Sí	—	2	3
Aspidoscelis lineattissimus	Lagartija cola azul	**Pr**	—	LC	Sí	7	4	4
Boa sigma	Mazacuata	—	II	—	Sí	—	1	—
Buteo brachyurus	Gavilán cola corta	—	II	LC	—	3	3	4

Nombre científico	Nombre común	NOM-059	CITES	UICN	Endémica	Ind. AP	Ind. AI	Ind. RE
Buteo jamaicensis	Aguililla cola roja	—	II	LC	—	—	1	3
Buteo plagiatus	Aguililla gris	—	II	LC	—	3	—	3
Calidris mauri	Playero occidental	A	—	LC	—	—	3	5
Circus hudsonius	Gavilán rastrero	—	II	LC	—	5	3	3
Ctenosaura pectinata	Iguana negra	**A**	II	LC	Sí	6	9	5
Cynanthus latirostris	Colibrí pico ancho	—	II	LC	—	3	—	3
Dendrocygna autumnalis	Pijije alas blancas	—	III	LC	—	—	3	7
Eupsittula canicularis	Perico frente naranja	**Pr**	II	LC	—	13	—	3
Glaucidium palmarum	Mochuelo de Colima	A	II	LC	Sí	—	2	5
Hypsiglena torquata	Culebra nocturna	Pr	—	LC	Sí	—	2	2
Iguana iguana	Iguana verde	Pr	II	LC	—	—	3	3
Nasua narica	Coatí	—	III	LC	—	—	7	4
Rhinoclemmys pulcherrima	Tortuga de monte pintada	A	II	—	—	—	—	3
Subtotal fauna						**59**	**50**	**68**

*Fuente: categorías de riesgo y presencia, estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). Número de individuos, extraído de las bases de campo: flora, columna `No. IND`; fauna, suma de eventos por recorrido. En fauna, el número corresponde a **eventos de avistamiento**, no a individuos únicos: un mismo ejemplar detectado en dos recorridos cuenta dos veces. Categorías de la NOM-059: `P` en peligro de extinción, `A` amenazada, `Pr` sujeta a protección especial. UICN: `CR` en peligro crítico, `EN` en peligro, `VU` vulnerable, `LC` preocupación menor.*

La tabla soporta tres conclusiones que gobiernan el programa de rescate.

Primera: quince de las treinta y cuatro especies están listadas en la NOM-059 —cinco de flora y diez de fauna—, y dentro del Área del Proyecto son seis: una de flora y cinco de fauna. La única flora del predio con categoría de riesgo nacional es *Cedrela odorata*, cedro rojo, sujeto a protección especial, con **cinco individuos** en los sitios 12 y 13. Las otras tres especies de flora en riesgo presentes en el predio —*Swietenia humilis*, *Roseodendron donnell-smithii* y *Tabebuia rosea*— **no están en la NOM-059**: su condición proviene del apéndice II de la CITES, que regula el comercio internacional, y en el caso del cóbano de su categoría «en peligro» en la Lista Roja de la UICN. La distinción es jurídica y material: la NOM-059 impone obligaciones de conservación en territorio nacional; la CITES no restringe la remoción, sino la exportación. Las cinco especies de fauna del predio con categoría nacional son *Accipiter striatus*, *Aspidoscelis lineattissimus*, *Eupsittula canicularis* e *Hypsiglena torquata*, sujetas a protección especial, y *Ctenosaura pectinata*, amenazada.

Segunda: el impacto sobre la flora en riesgo se concentra abrumadoramente en una especie. De los 139 individuos de flora en riesgo del Área del Proyecto, **106 son *Swietenia humilis*** —el 76.3 %—, especie que además encabeza el índice de valor de importancia del estrato arbóreo con un IVI de 62.2 sobre 300. El cóbano no es un elemento incidental del predio: es su especie estructurante.

Tercera: la Región Ecológica alberga diez especies de flora en riesgo que no existen en el predio, entre ellas las dos de mayor jerarquía normativa de todo el inventario: *Platymiscium lasiocarpum*, granadillo, **en peligro de extinción** según la NOM-059 y «en peligro» en la UICN, con tres individuos en los sitios 13 y 15; y *Guettarda elliptica*, limoncillo, **en peligro crítico** en la Lista Roja, con dos individuos. Ninguna de las

dos se detectó en el Área del Proyecto ni en el Área de Influencia. El proyecto no las afecta, y su presencia en la microcuenca refuerza el valor del predio de compensación.

III.4.1 Individuos y coordenadas de las especies en riesgo del Área del Proyecto

Tabla 47. Flora en categoría de riesgo del Área del Proyecto: individuos, estratos y sitios de registro (UTM zona 13 Norte, WGS84).

Especie	Individuos	Registros	Estratos	Sitios de registro (X, Y)
Swietenia humilis	106	45	Arbóreo, regeneración	2 (576,119; 2,112,150) · 5 (576,045; 2,112,098) · 7 (576,098; 2,112,044) · 8 (576,053; 2,112,045) · 9 (576,013; 2,112,054) · 10 (575,951; 2,112,047) · 11 (575,896; 2,112,008) · 13 (575,993; 2,112,011) · 14 (576,035; 2,112,006) · 15 (576,072; 2,111,982)
Roseodendron donnell-smithii	22	21	Arbóreo, regeneración	2 (576,119; 2,112,150) · 4 (576,109; 2,112,115) · 7 (576,098; 2,112,044) · 9 (576,013; 2,112,054) · 12 (575,942; 2,111,993) · 13 (575,993; 2,112,011) · 14 (576,035; 2,112,006) · 15 (576,072; 2,111,982)
Tabebuia rosea	6	5	Arbóreo, regeneración	12 (575,942; 2,111,993) · 13 (575,993; 2,112,011) · 14 (576,035; 2,112,006)
Cedrela odorata	5	5	Arbóreo	12 (575,942; 2,111,993) · 13 (575,993; 2,112,011)
Total	**139**	**76**		

Fuente: bases de campo del muestreo de flora (Anexo G), columnas `NOMBRE CIENTIFICO`, `No. IND`, `SITIO`, `X` y `Y`. La coordenada es la del sitio de muestreo de 500 m² —o de 100 m² para la regeneración— en que se registró el individuo; la base de campo no georreferencia cada árbol de forma individual.

La distribución espacial no es homogénea y tiene consecuencias operativas. **Las cuatro especies coinciden únicamente en el sitio 13**, en `(575,993; 2,112,011)`, y tres de ellas en los sitios 12 y 14: el **sector suroeste del predio concentra la totalidad del *Cedrela odorata* y del *Tabebuia rosea***. Ese sector es, en consecuencia, la prioridad del programa de rescate y reubicación de flora, y el que debe intervenirse en último lugar durante el desmonte. El cóbano, en cambio, está repartido en diez de los quince sitios: no admite una estrategia de rescate localizada, sino un tratamiento en toda la superficie.

Coordenada de los ejemplares en la NOM-059. La base de campo registra la coordenada del sitio de muestreo, no la de cada árbol. El responsable técnico del rescate resolvió (2026-07-10) que el marcado se ancla a la única especie del Área del Proyecto listada en la **NOM-059-SEMARNAT-2010** —*Cedrela odorata* (sujeta a protección especial, Pr)—, asignando a cada uno de sus cinco ejemplares el centroide de su sitio de muestreo: un ejemplar en el sitio 12 (575,942 m E; 2,111,993 m N) y cuatro en el sitio 13 (575,993 m E; 2,112,011 m N), en UTM WGS84 Zona 13N (EPSG:32613). Las demás leñosas en riesgo del predio —primavera, cóbano y rosa morada— pertenecen a categorías de la CITES o de la Lista Roja de la UICN, no a la NOM-059, por lo que quedan fuera del marcado individual de rescate; su tratamiento se atiende en el programa de rescate y reubicación del Capítulo IV.

Tabla 48. Fauna en categoría de riesgo del Área del Proyecto: eventos de avistamiento por temporada y recorrido.

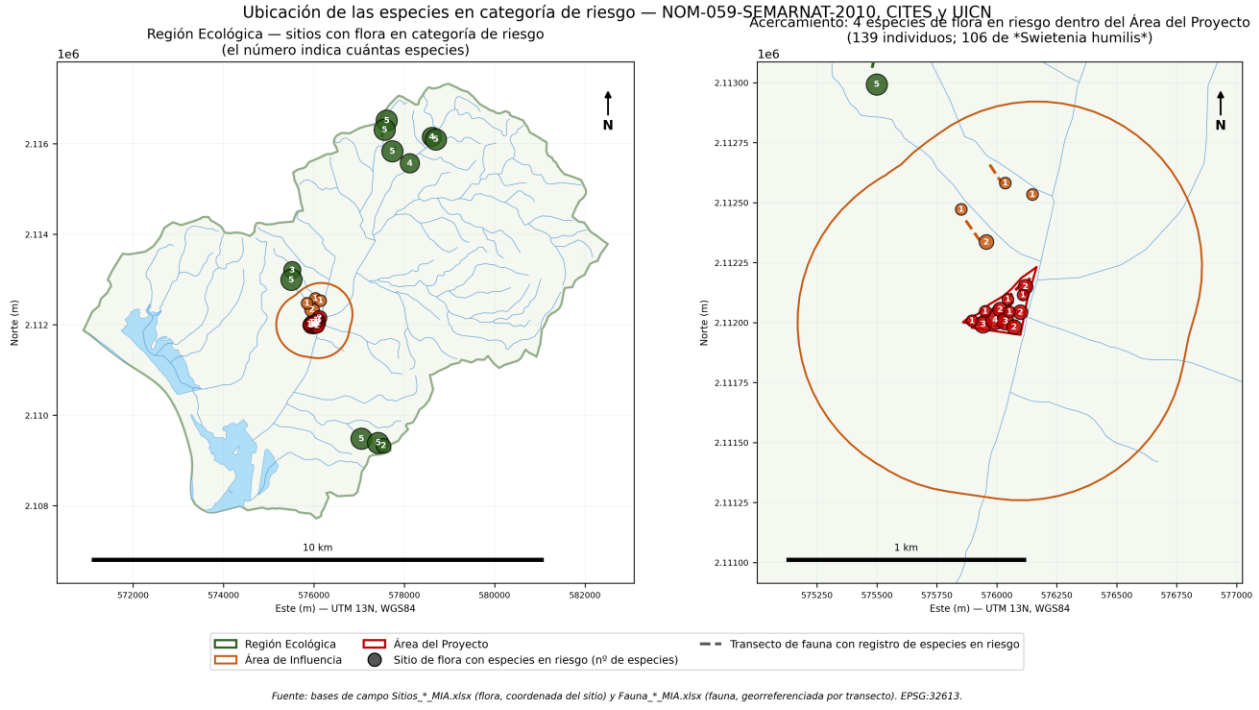
Especie	Grupo	Eventos totales	Eventos en secas	Eventos en húmeda	Recorridos con registro
Eupsittula canicularis	Aves	13	0	13	1h, 2h, 4h, 5h, 6h
Accipiter striatus	Aves	7	4	3	1s, 2s, 4s, 6s, 2h, 3h, 6h
Amazilia rutila	Aves	7	4	3	1s, 4s, 5s, 2h, 4h, 5h

Especie	Grupo	Eventos totales	Eventos en secas	Eventos en húmeda	Recorridos con registro
Aspidoscelis lineattissimus	Reptiles	7	7	0	1s, 2s, 5s, 6s
Ctenosaura pectinata	Reptiles	6	2	4	3s, 5s, 3h, 5h, 6h
Agalychnis dacnicolor	Anfibios	5	0	5	2h, 3h, 5h, 6h
Circus hudsonius	Aves	5	2	3	2s, 5s, 1h, 2h, 4h
Buteo brachyurus	Aves	3	2	1	3s, 6s, 4h
Buteo plagiatus	Aves	3	0	3	1h, 3h, 6h
Cynanthus latirostris	Aves	3	0	3	2h, 4h, 5h
Total		**59**	**21**	**38**	

Fuente: bases de campo del muestreo de fauna (Anexo G). Las etiquetas `Ns` y `Nh` identifican el recorrido y la temporada. Un evento es un avistamiento; los eventos de temporadas distintas se suman porque son sucesos independientes.

Treinta y ocho de los cincuenta y nueve eventos —el 64.4 %— ocurrieron en temporada húmeda, y el sesgo es aún más marcado en las especies de mayor sensibilidad. *Eupsittula canicularis*, el perico frente naranja, sujeto a protección especial, aportó sus trece registros **íntegramente en temporada húmeda**; lo mismo *Agalychnis dacnicolor*, la ranita verduzca endémica. En el extremo opuesto, *Aspidoscelis lineattissimus* concentró sus siete registros **íntegramente en secas**, cuando la termorregulación obliga a la lagartija a exponerse.

Esa asimetría es la que fundamenta la ventana de desmonte. Ejecutar la remoción de vegetación en **temporada seca** minimiza la afectación al perico y a la ranita —las dos especies cuya actividad se concentra en la húmeda— y coincide con el periodo de menor actividad reproductiva de la avifauna. El costo es que expone a las lagartijas, cuya presencia superficial es máxima; se compensa con el ahuyentamiento dirigido y el rescate previo que el programa correspondiente detalla.



Fuente: bases de campo Sitios_*_MIA.xlsx (flora, coordenada del sitio) y Fauna_*_MIA.xlsx (fauna, georreferenciada por transecto). EPSG:32613.

Figura 49. Ubicación georreferenciada de las especies en categoría de riesgo. Cada círculo es un sitio de muestreo de flora, y su tamaño y su cifra indican cuántas especies en riesgo se registraron en él. Las líneas discontinuas son los transectos de fauna con registro de especies listadas.

Fuente: elaboración propia con las bases de campo del muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G), EPSG:32613.

El mapa muestra lo que las tablas no dejan ver: **la riqueza de especies en riesgo aumenta con la distancia al predio**. Siete sitios de la Región Ecológica —el 5, el 8, el 9, el 10, el 12, el 13 y el 15— concentran cinco

especies listadas cada uno, mientras que en el Área del Proyecto solo el sitio 13 alcanza cuatro y la mayoría se queda en una o dos. El patrón no es casual: los núcleos regionales de muestreo coinciden con los remanentes de selva mejor conservados de la microcuenca, y son precisamente los que albergan al granadillo, al culebro y al capire, ausentes del predio.

III.5 ÍNDICES DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA

III.5.1 Índices empleados

Todos los índices se calcularon a partir de las bases de campo del estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I). Sus expresiones formales y su autoría se declaran antes de emplearlos.

Tabla 49. Índices de diversidad: expresión formal y autoría.

Índice	Expresión	Autoría
Riqueza específica	`S` = número de especies	—
Shannon-Wiener	`H' = −Σ $p_i$ · ln($p_i$)`	Shannon & Weaver (1949)
Simpson	`1 − λ = 1 − Σ $p_i^2$`	Simpson (1949)
Equidad de Pielou	`J' = H' / ln(S)`	Pielou (1969)
Margalef	`DMg = (S − 1) / ln(N)`	Margalef (1958)
Berger-Parker	`d = Nmax / N`	Berger & Parker (1970)
Números de Hill	`$N_0$ = S`, `$N_1$ = e^{H'}`, `$N_2$ = 1/λ`	Hill (1973)
Chao 2	`S_obs + $Q_1^2$/(2·$Q_2$)`	Chao (1987)
Modelo de Clench	`S(n) = a·n / (1 + b·n)`, asíntota `a/b`	Clench (1979)
Valor de importancia de flora	`IVI = DR + FR + DoR`	Curtis & McIntosh (1951)
Valor de importancia de fauna	`VIF = DR + FR`	—
Diversidad beta de Baselga	`βSOR = βSIM + βSNE`	Baselga (2010)
Partición de Lande	`γ = ᾱ + β`	Lande (1996)

Donde `$p_i$` es la proporción de la especie i*, `N` la abundancia total, `Nmax` la de la especie dominante, `$Q_1$` y `$Q_2$` el número de especies presentes en uno y en dos sitios, `DR` la densidad relativa, `FR` la frecuencia relativa y `DoR` la dominancia relativa. La dominancia relativa se calcula sobre el área basal y no aplica a la fauna: por eso el valor de importancia faunístico se compone de dos términos y su rango es de 0 a 200, no de 0 a 300.*

[[REV:

La clasificación de abundancia relativa que se emplea en todas las tablas y en el color de todas las gráficas es la de Moreno (2001): **dominante** por encima del 20 %, **abundante** entre el 10 y el 20 %, **común** entre el 5 y el 10 %, y **escasa** por debajo del 5 %. Cuando un estrato o un grupo resulta monoespecífico —el caso de los anfibios en la Región Ecológica—, **los índices de diversidad no aplican** y así se consigna, en lugar de reportar ceros que sugerirían ausencia de diversidad medida.

III.5.2 Diversidad alfa por escala

Tabla 50. Índices de diversidad alfa de flora, por estrato y escala, normalizados por esfuerzo.

Estrato	Escala	`S`	Shannon `H"`	Simpson `1−λ`	Abundancia (ind·ha⁻¹)	Esfuerzo (sitios)
Arbóreo	AP	16	2.189	0.851	297.33	15
Arbóreo	AI	14	2.030	0.831	535.00	4
Arbóreo	RE	60	3.576	0.956	669.09	11
Regeneración	AP	15	1.817	0.731	1,160.00	15
Regeneración	AI	15	2.268	0.849	2,350.00	4
Regeneración	RE	38	3.259	0.947	1,809.09	11
Arbustivo	AP	5	1.106	0.535	315.38	13
Arbustivo	AI	7	1.709	0.776	700.00	4
Arbustivo	RE	23	2.572	0.879	2,109.09	11
Herbáceo	AP	19	2.349	0.873	142,666.67	15
Herbáceo	AI	21	2.807	0.927	111,000.00	4
Herbáceo	RE	27	2.995	0.938	118,545.45	11
Otras formas de vida	AP	6	1.273	0.627	620.00	15
Otras formas de vida	AI	6	1.733	0.814	1,150.00	4
Otras formas de vida	RE	14	2.543	0.916	754.55	11

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto — índices de diversidad alfa (Anexo I).

El Área del Proyecto es la escala menos diversa en cuatro de los cinco estratos, y la diferencia no es marginal. El estrato arbóreo del predio reúne 16 especies con un Shannon de 2.189, frente a las 60 especies y 3.576 de la Región Ecológica. Que la abundancia arbórea del predio sea también la menor —297.33 individuos por hectárea contra 669.09 de la microcuenca— descarta la explicación alternativa de que sea un rodal denso pero pobre: **es un rodal ralo y pobre**, consistente con su condición de vegetación secundaria en el borde de la mancha urbana.

La excepción es la **regeneración**, donde el predio alcanza 1,160 individuos por hectárea con solo 15 especies y el Shannon más bajo de toda la tabla (1.817). Un banco de renuevos abundante y taxonómicamente empobrecido es la firma de una comunidad perturbada en la que unas pocas especies pioneras —encabezadas por el propio cóbano— monopolizan la regeneración.

Tabla 51. Índices de diversidad alfa de fauna, por grupo y escala, normalizados por esfuerzo.

Grupo	Escala	`S`	Shannon `H"`	Simpson `1−λ`	Avistamientos por transecto	Esfuerzo (recorridos)
Aves	AP	39	3.499	0.965	37.083	12
Aves	AI	44	3.473	0.956	44.000	6
Aves	RE	50	3.765	0.973	43.667	6
Mamíferos	AP	14	2.503	0.906	7.917	12
Mamíferos	AI	16	2.699	0.927	11.667	6
Mamíferos	RE	21	2.964	0.944	13.833	6
Reptiles	AP	12	2.291	0.884	10.583	12
Reptiles	AI	16	2.350	0.862	17.333	6
Reptiles	RE	18	2.665	0.909	13.000	6
Anfibios	AP	2	0.662	0.469	0.667	12
Anfibios	AI	2	0.683	0.490	1.167	6
Anfibios	RE	1	no aplica	no aplica	0.333	6

Fuente: la misma. La normalización por esfuerzo es indispensable: el Área del Proyecto duplica el número de recorridos de las otras dos escalas.

Aquí la normalización cambia por completo la lectura, y conviene mostrarlo con el caso de las aves. En términos absolutos el predio registró **445 avistamientos** contra 262 de la Región Ecológica, y una lectura ingenua concluiría que es más rico. Dividido entre el número de recorridos, el predio baja a **37.08 avistamientos por transecto** y la Región Ecológica sube a **43.67**: el predio es, en realidad, el más pobre de

los tres. **El «más» era esfuerzo, no biodiversidad.** El mismo giro se repite en mamíferos (7.92 contra 13.83) y en reptiles (10.58 contra 13.00).

El único grupo en que el Área del Proyecto no queda por debajo es el de los **anfibios**, y solo porque la Región Ecológica se quedó en una sola especie. Con `S = 1` los índices de diversidad carecen de sentido —Shannon vale cero por construcción, no por ausencia de diversidad medida— y así se declaran.

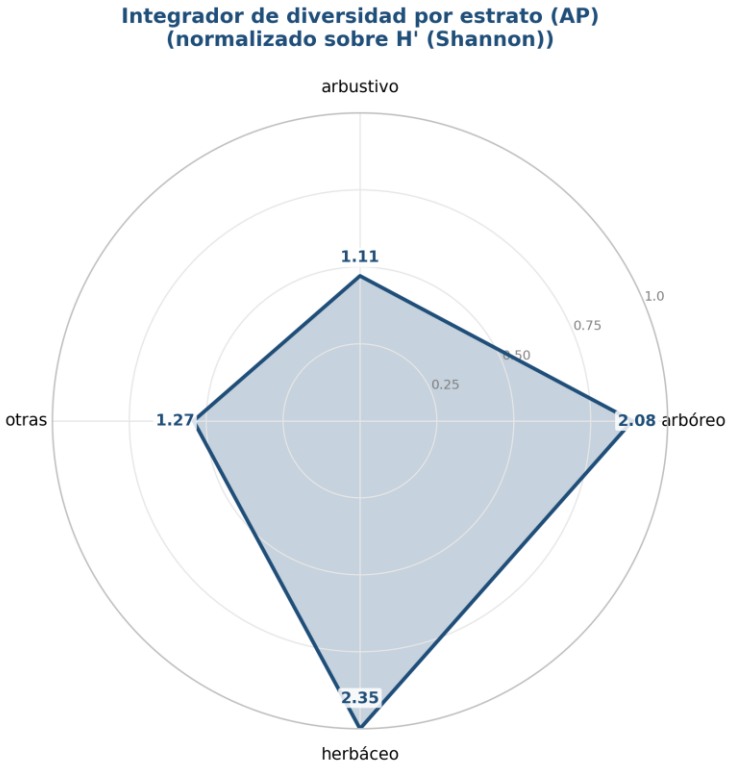


Figura 50. Integrador de diversidad por estrato en el Área del Proyecto: riqueza, Shannon, Simpson, Pielou y Margalef en ejes normalizados. El herbáceo domina el polígono y el arbustivo lo colapsa.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El radar traduce cinco índices a una sola forma, y su geometría dice algo que ninguna tabla enuncia: **el herbáceo y el arbóreo son los dos estratos que sostienen la diversidad del predio**, mientras que el arbustivo se contrae hasta casi desaparecer del polígono. La regeneración, pese a su alta abundancia, ocupa una superficie intermedia por su baja equidad. Para el proyecto, la lectura es que la remoción de la cubierta arbórea elimina uno de los dos únicos estratos con diversidad relevante, y que el otro —el herbáceo— es también el que concentra las especies exóticas invasoras: no hay un estrato «conservado» cuya pérdida se pueda compensar dejando los demás.

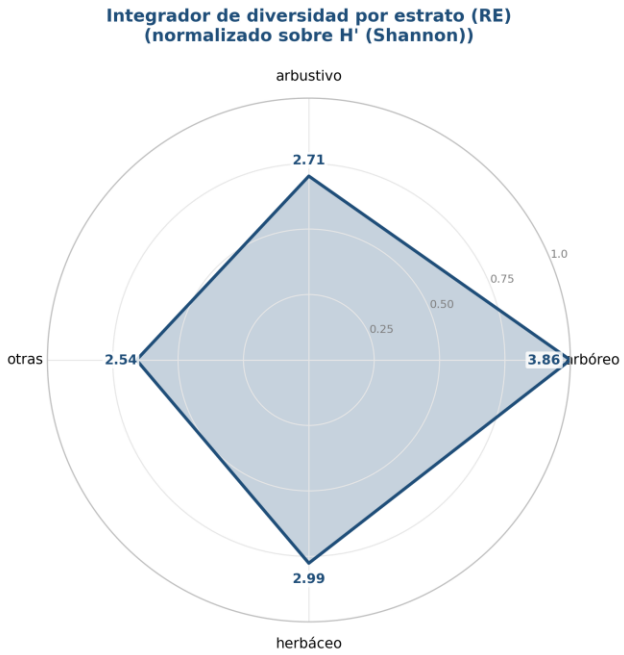


Figura 51. Integrador de diversidad por estrato en la Región Ecológica. Los cinco estratos ocupan un polígono más amplio y regular que el del predio.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Esta figura es la medida gráfica de la pérdida relativa. El polígono de la Región Ecológica no solo es mayor: es **más regular**, es decir, sus cinco estratos aportan diversidad en proporciones semejantes, mientras que el del predio está deformado hacia dos vértices. Una comunidad con diversidad repartida entre todos sus estratos es estructuralmente más completa que otra que la concentra en dos. El predio no es una muestra a escala de la microcuenca; es una versión empobrecida y desequilibrada de ella.

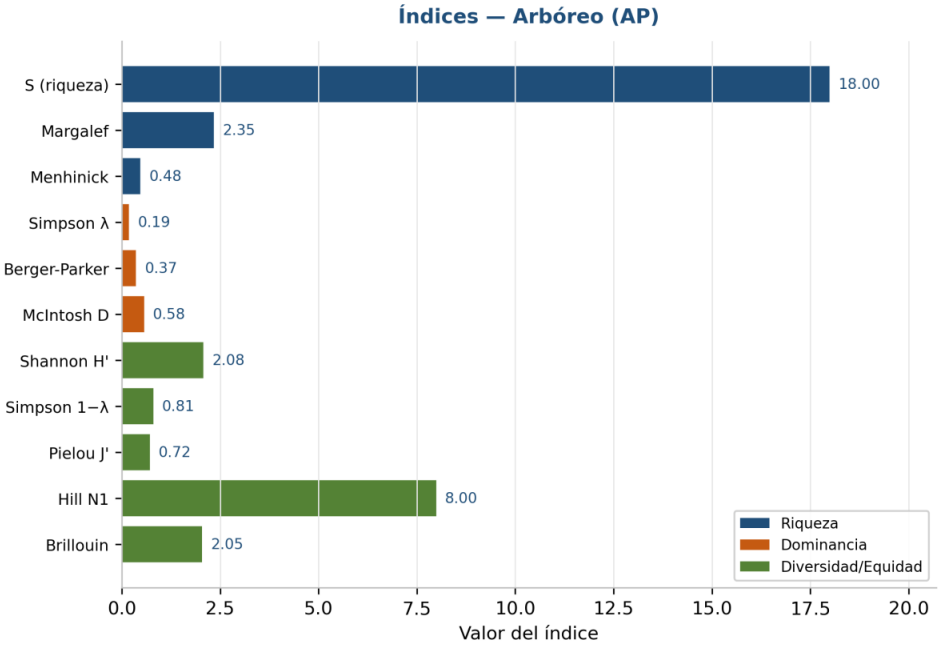


Figura 52. Índices de biodiversidad del estrato arbóreo del Área del Proyecto (Moreno, 2001): riqueza, dominancia, equidad y números de Hill.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

La batería completa del estrato arbóreo revela una comunidad con **equidad intermedia** —Pielou de 0.72 sobre la hectárea-tipo— y una dominancia apreciable: el índice de Berger-Parker de 0.37 indica que **dos de cada cinco individuos pertenecen a una sola especie**. Los números de Hill lo cuantifican: `$N_0$` = 18 especies presentes, pero `$N_1$` = 8 especies «efectivas» y `$N_2$` = 4.78 especies verdaderamente abundantes. La diversidad nominal de dieciocho especies se reduce, en la práctica, a cinco.

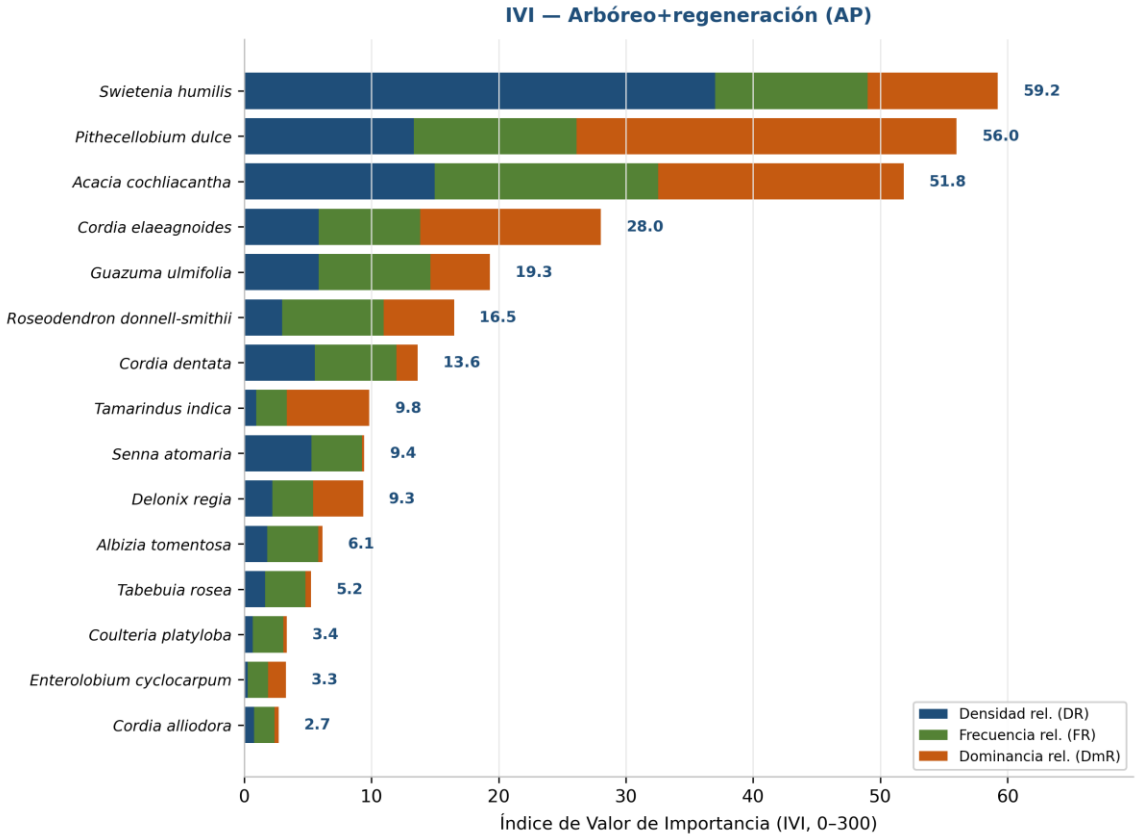


Figura 53. Índice de valor de importancia del estrato arbóreo del Área del Proyecto, en barras horizontales apiladas por densidad, frecuencia y dominancia relativas. *Swietenia humilis* encabeza con un IVI de 62.2 sobre 300; las especies de la NOM-059 van marcadas con una estrella roja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Esta figura identifica a la especie sobre la que descansa la estructura del rodal. **El *Swietenia humilis* reúne un IVI de 59.2**, más del doble que su seguidor, y su peso proviene de los tres componentes a la vez: es la más densa —581.3 individuos por hectárea—, aparece en diez de los quince sitios, y su área basal la sitúa entre las de mayor dominancia. La segunda posición corresponde a *Pithecellobium dulce*, guamúchil, y la tercera a *Acacia cochliacantha*, espino blanco: dos especies características de comunidades secundarias.

La consecuencia práctica es doble. El programa de rescate y reubicación de flora debe dimensionarse sobre el cóbano, que aporta 106 de los 139 individuos en riesgo; y la reforestación del predio de compensación debe reproducir esa estructura, no una lista genérica de especies nativas, si pretende restituir la comunidad removida y no solo su superficie.

III.5.3 Diversidad alfa por temporada

Tabla 52. Comparativo del Área del Proyecto y la Región Ecológica por temporada.

Grupo o estrato	AP secas	AP húmeda	RE secas	RE húmeda	Métrica
Anfibios	0.00	1.33	0.00	1.00	avistamientos por transecto

Grupo o estrato	AP secas	AP húmeda	RE secas	RE húmeda	Métrica
Anfibios · riqueza	0	2	0	1	nº de especies
Aves	33.33	40.83	45.50	40.00	avistamientos por transecto
Aves · riqueza	31	36	43	43	nº de especies
Mamíferos	6.33	9.50	11.00	19.50	avistamientos por transecto
Mamíferos · riqueza	10	12	16	20	nº de especies
Reptiles	11.33	9.83	13.50	12.00	avistamientos por transecto
Reptiles · riqueza	9	11	14	15	nº de especies
Arbóreo	14.87	14.87	33.45	33.45	individuos por sitio
Regeneración	8.13	11.53	14.64	13.64	individuos por sitio
Arbustivo	2.77	2.92	19.00	10.82	individuos por sitio
Herbáceo	22.53	59.87	37.82	38.09	individuos por sitio
Otras formas de vida	5.33	5.27	6.09	5.45	individuos por sitio

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). En flora, un individuo registrado en ambas temporadas no se duplica; en fauna, los avistamientos de temporadas distintas se suman por ser eventos independientes.

La tabla resuelve la pregunta que la guía plantea sobre la temporada de mayores impactos. En el Área del Proyecto, **la biodiversidad es mayor en la temporada húmeda en seis de los nueve grupos y estratos**: la riqueza aumenta en anfibios (de 0 a 2 especies), aves (31 a 36), mamíferos (10 a 12) y reptiles (9 a 11), y la abundancia por unidad de esfuerzo sube en anfibios, aves, mamíferos, regeneración, arbustivo y herbáceo. Solo los reptiles y las otras formas de vida son ligeramente más activos en secas.

El caso extremo es el **estrato herbáceo, que pasa de 22.53 a 59.87 individuos por sitio**, es decir se multiplica por 2.66 con las lluvias. El arbóreo, en cambio, no varía: sus individuos son perennes y se cuentan una sola vez, como exige el conteo asimétrico entre reinos.

En consecuencia, los mayores impactos del proyecto sobre la biodiversidad se registrarían en la temporada húmeda, cuando la presencia y la actividad de la fauna alcanzan su máximo y el estrato herbáceo despliega su cobertura. Esta conclusión es la base técnica de la ventana de desmonte en temporada seca que el programa de rescate adopta, y del ahuyentamiento previo dirigido a las especies que ya estén activas.

III.5.4 Diversidad beta y gamma

La diversidad beta se calculó entre la Región Ecológica —contexto— y el Área del Proyecto —foco—, con la partición de Baselga (2010), que separa el recambio de especies (`βSIM`) del anidamiento por diferencia de riqueza (`βSNE`), y con la partición aditiva de Lande (1996), en la que la diversidad gamma es la suma de la alfa promedio y la beta.

Tabla 53. Diversidad beta entre la Región Ecológica y el Área del Proyecto, por estrato.

Estrato	`S` contexto (RE)	`S` foco (AP)	`βSIM` (recambio)	`βSNE` (anidamiento)	Patrón dominante	α promedio	β de Lande
Arbóreo (hectárea-tipo)	65	18	0.056	0.535	Anidamiento	41.5	24.5
Regeneración	38	15	0.200	0.347	Anidamiento	26.5	14.5
Arbustivo	23	5	0.000	0.643	Anidamiento	14.0	9.0
Otras formas de vida	14	6	0.000	0.400	Anidamiento	10.0	4.0

Estrato	`S` contexto (RE)	`S` foco (AP)	`βSIM` (recambio)	`βSNE` (anidamiento)	Patrón dominante	α promedio	β de Lande
Herbáceo	27	19	0.053	0.165	Anidamiento	23.0	5.0

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto — diversidad beta (Anexo I).

Los cinco estratos presentan el mismo patrón: anidamiento, no recambio. El componente de recambio es nulo en el arbustivo y en otras formas de vida, y no supera 0.056 en el arbóreo ni 0.053 en el herbáceo; la única señal apreciable de recambio aparece en la regeneración (`βSIM` = 0.200). Todo lo demás es anidamiento: `βSNE` domina en los cinco casos, y alcanza 0.643 en el arbustivo.

El significado ecológico es preciso y favorable al proyecto, pero debe enunciarse sin exagerarlo. **Anidamiento significa que la comunidad del predio es un subconjunto empobrecido de la comunidad regional, no una comunidad distinta.** Sus especies están, casi todas, presentes también en la Región Ecológica; no hay un cortejo florístico exclusivo del predio que su remoción haga desaparecer de la microcuenca. Ese es exactamente el supuesto que hace viable la compensación: lo que se remueve puede restituirse en otro sitio de la misma cuenca porque el acervo de especies es compartido.

Lo que el anidamiento **no** significa es que la remoción sea inocua. La beta de Lande del estrato arbóreo es de 24.5 especies, es decir, la microcuenca contiene 24.5 especies arbóreas más que las que alberga en promedio cualquiera de sus dos escalas: esa heterogeneidad regional es lo que se pierde localmente al homogeneizar 3.4097 ha.

Tabla 54. Diversidad gamma: riqueza total por reino y escala.

Escala	Riqueza de flora	Riqueza de fauna	Riqueza total	Superficie (ha)
Área del Proyecto	61	68	**129**	3.4097
Región Ecológica	187	90	**277**	5,992.43
Fracción que representa el AP	32.6 %	75.6 %	**46.6 %**	0.06 %

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). La riqueza de fauna es la unión de los cuatro grupos; la de flora, la unión de los cinco estratos.

Esta es la tabla que dimensiona la pérdida relativa, y su lectura exige cuidado. Sobre el **0.06 % de la superficie** de la Región Ecológica, el Área del Proyecto alberga el **46.6 % de su riqueza total de especies**. La cifra impresiona, pero no debe interpretarse como que el predio concentra la mitad de la biodiversidad de la microcuenca: refleja que la riqueza de especies satura con rapidez —una comunidad pequeña de selva baja caducifolia ya contiene la mayor parte del elenco común— y que la Región Ecológica añade, sobre todo, especies raras y localizadas.

La asimetría entre reinos lo confirma. El predio contiene el **75.6 % de la fauna** regional pero solo el **32.6 % de la flora**. La fauna es móvil y su elenco se comparte a través de la microcuenca; la flora es sésil, y las 126 especies vegetales que existen en la Región Ecológica y no en el predio son las que habitan el manglar, las lagunas y los remanentes serranos mejor conservados. **La pérdida florística del proyecto es una fracción del acervo regional; la faunística es, sobre todo, una pérdida de hábitat, no de especies.** El primer hecho sostiene la suficiencia de la compensación; el segundo, la necesidad del ahuyentamiento y del rescate.

III.5.1 Índices empleados

Tabla 55. Índices de diversidad: expresión formal y autoría.

Índice	Expresión	Autoría
Riqueza específica	`S` = número de especies	—
Margalef	`DMg = (S − 1) / ln(N)`	Margalef (1958)

Índice	Expresión	Autoría
Menhinick	`DMn = S / √N`	Menhinick (1964)
Shannon-Wiener	`H' = −Σ $p_i$ · ln($p_i$)`	Shannon & Weaver (1949)
Varianza de Shannon	`Var H' = [Σ$p_i$(ln $p_i$)² − (Σ$p_i$ ln $p_i$)²]/N + (S−1)/2N²`	Hutcheson (1970)
Equidad de Pielou	`J' = H' / H'max`, con `H'max = ln(S)`	Pielou (1969)
Simpson	`λ = Σ $p_i$²`; diversidad `1 − λ`	Simpson (1949)
Berger-Parker	`d = Nmax / N`	Berger & Parker (1970)
McIntosh	`D = (N − √Σ$n_i$²) / (N − √N)`	McIntosh (1967)
Brillouin	`HB = (1/N) · ln(N! / Π$n_i$!)`	Brillouin (1956)
Números de Hill	`$N_0$ = S`; `$N_1$ = e^{H'}`; `$N_2$ = 1/λ`	Hill (1973)
Valor de importancia de flora	`IVI = DR + FR + DoR`, rango 0–300	Curtis & McIntosh (1951)
Valor de importancia de fauna	`VIF = DR + FR`, rango 0–200	—

*Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I), expresiones formales de los índices de diversidad y del valor de importancia. La dominancia relativa `DoR` se calcula sobre la cobertura de copa y **no aplica a la fauna**: por eso el valor de importancia faunístico se compone de dos términos y no de tres.*

La clasificación de abundancia relativa que se emplea en todas las tablas y en el color de todas las gráficas es la de **Moreno (2001)**: **dominante** por encima del 20 %, **abundante** entre el 10 y el 20 %, **común** entre el 5 y el 10 %, y **escasa** por debajo del 5 %. Si un estrato o un grupo resulta monoespecífico, los índices de diversidad **no aplican** y así se declara, en lugar de reportar ceros que sugerirían ausencia de diversidad medida.

III.5.2 Área del Proyecto

III.5.2.1 Flora — estrato arbóreo y regeneración (hectárea-tipo)

El estrato arbóreo y el de regeneración se analizan como una sola unidad, la **hectárea-tipo**, porque comparten los mismos quince sitios y las mismas especies: la regeneración es el banco de renuevos de los adultos. Los adultos se definen por un diámetro normal superior a 7 cm y la regeneración por uno inferior. La abundancia se expresa en individuos por hectárea.

Tabla 56. Abundancia del estrato arbóreo y regeneración del Área del Proyecto (hectárea-tipo).

Especie	Nombre común	Distribución	NOM-059	CITES	UICN	Abundancia (ind·ha⁻¹)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Frecuencia †
Swietenia humilis	Cóbano	Nativa	No listada	II	EN	514.67	37.0	Dominante	15
Acacia cochliacantha	Espino blanco	Nativa	No listada	—	LC	208.00	15.0	Abundante	22
Pithecellobium dulce	Guamúchil	Nativa	No listada	—	LC	185.33	13.3	Abundante	16
Cordia elaeagnoides	Barcino	Endémica	No listada	—	LC	81.33	5.8	Común	10
Guazuma ulmifolia	Guásima	Nativa	No listada	—	LC	81.33	5.8	Común	11
Cordia dentata	Tamborcillo	Nativa	No listada	—	LC	77.33	5.6	Común	8
Senna atomaria	Vainillo	Nativa	No listada	—	LC	73.33	5.3	Común	5
Roseodendron donnell-smithii	Primavera	Nativa	No listada	II	LC	41.33	3.0	Escasa	10
Delonix regia	Tabachín	Exótica	No listada	—	LC	30.67	2.2	Escasa	4
Albizia tomentosa	Parotilla morada	Nativa	No listada	—	—	25.33	1.8	Escasa	5
Tabebuia rosea	Rosa morada	Nativa	No listada	II	LC	22.67	1.6	Escasa	4
Tamarindus indica	Tamarindo	Exótica	No listada	—	—	13.33	1.0	Escasa	3
Cordia alliodora	Botoncillo	Nativa	No listada	—	LC	10.67	0.8	Escasa	2
Coulteria platyloba	Coral	Endémica	No listada	—	LC	9.33	0.7	Escasa	3

Especie	Nombre común	Distribución	NOM-059	CITES	UICN	Abundancia (ind·ha⁻¹)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Frecuencia †
Azadirachta indica	Neem	Exótica invasora	No listada	—	—	6.67	0.5	Escasa	1
Enterolobium cyclocarpum	Parota	Nativa	No listada	—	LC	4.00	0.3	Escasa	2
Ficus velutina	Zalate	Nativa	No listada	—	LC	2.67	0.2	Escasa	2
Cedrela odorata	Cedro rojo	Endémica	**Pr**	II	VU	2.67	0.2	Escasa	2
Total						**1,390.7**	**100.0**		

*Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). La abundancia relativa se obtiene del cociente entre la abundancia de cada especie y el total de 1,390.7 ind·ha⁻¹; su valor máximo, 37.0 %, reproduce el índice de Berger-Parker de 0.370 obtenido para este estrato (Anexo I), lo que confirma la lectura de la tabla. † La frecuencia de la hectárea-tipo es la **suma** de los sitios en que la especie aparece como adulto y de aquellos en que aparece como renuevo, de modo que su máximo es 30 y no 15. Es el término que alimenta la frecuencia relativa del IVI, y por eso el espino blanco alcanza 22. El número de sitios **distintos** con presencia de cada especie se reporta, para las especies en riesgo, en la Tabla 47.*

La estructura del estrato es la de una comunidad **fuertemente dominada**. Una sola especie, el *Swietenia humilis*, concentra más de un tercio de los individuos y aparece —contando adultos y renuevos— en **diez de los quince sitios**, la distribución más extensa del estrato junto con la del barcino y la primavera. Tres especies —cóbano, espino blanco y guamúchil— reúnen el 65.3 % de la abundancia, y las once últimas juntas no alcanzan el 12 %. Ese perfil, con una cola larga de especies escasas, es característico de una selva baja caducifolia en estado de vegetación secundaria: el espino blanco y el guamúchil son colonizadoras típicas de terrenos perturbados.

Merece atención la posición del **cedro rojo**, única especie del estrato con categoría en la NOM-059: 2.67 ind·ha⁻¹ en dos sitios, el 0.2 % de la abundancia. Su rareza local no atenúa la obligación normativa, pero la sitúa: no es un elemento estructurante del rodal, sino un remanente.

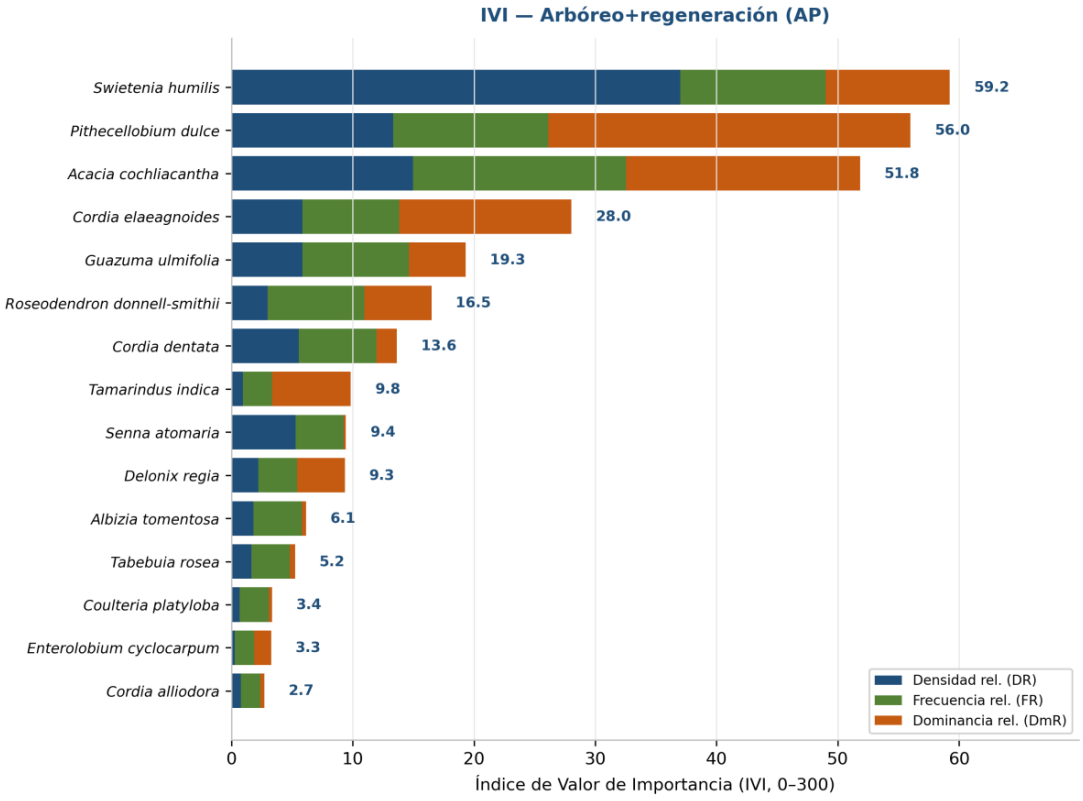


Figura 54. Índice de valor de importancia del estrato arbóreo y regeneración del Área del Proyecto, en barras horizontales apiladas por densidad, frecuencia y dominancia relativas. *Swietenia humilis* encabeza con un IVI de 59.2 sobre 300; las especies de la NOM-059 llevan estrella roja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El valor de importancia confirma y matiza lo que dice la abundancia. El **cóbano encabeza con un IVI de 59.2**, pero esta vez apenas por delante del guamúchil (56.0) y del espino blanco (51.8): a diferencia de la abundancia, donde el cóbano concentra más de un tercio, en el peso estructural los tres primeros van muy parejos. El del cóbano se construye con los tres componentes a la vez: es el más denso, su frecuencia sumada entre adultos y renuevos está entre las tres más altas, y su área basal lo sitúa entre los de mayor dominancia. Pero la figura revela un desacople que la tabla de abundancia oculta: el **espino blanco**, segundo en abundancia, cede al tercer puesto del IVI porque su área basal es pequeña —son individuos delgados—, mientras que el **guamúchil** sube al segundo por lo contrario, troncos gruesos y cobertura amplia. Abundancia e importancia estructural no coinciden, y es la segunda la que gobierna el volumen forestal que se removerá.

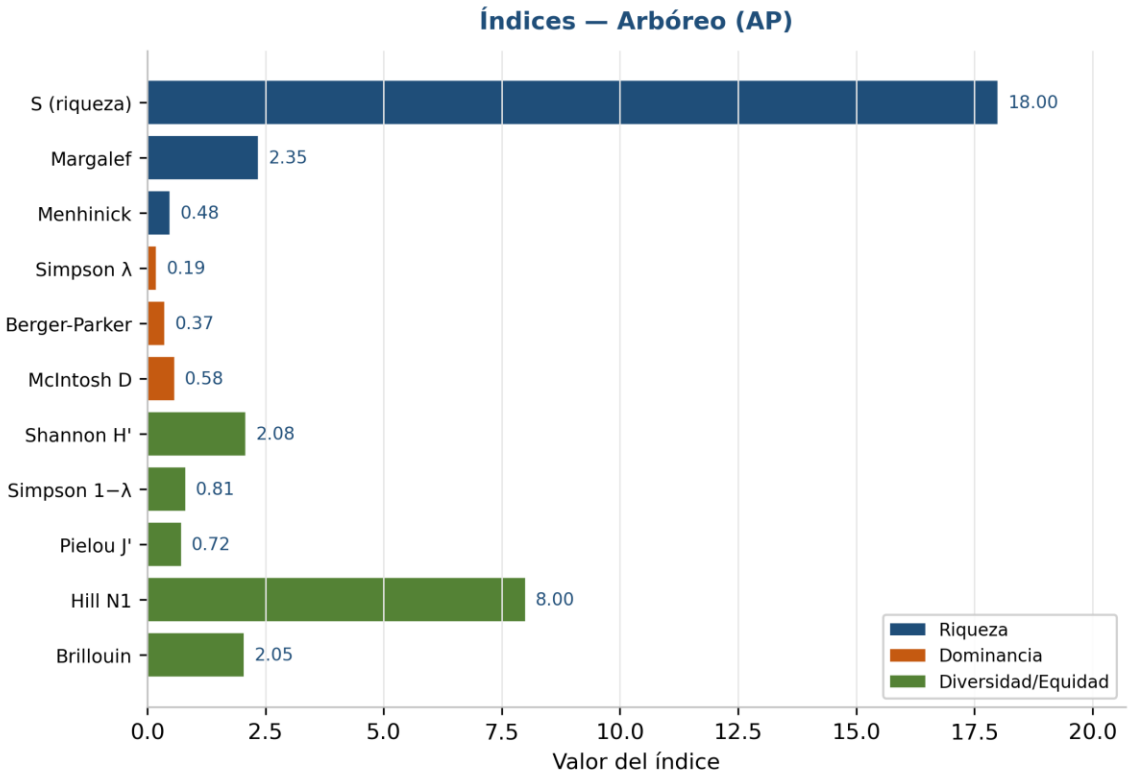


Figura 55. Índices de biodiversidad del estrato arbóreo y regeneración del Área del Proyecto (Moreno, 2001): riqueza, dominancia, equidad y números de Hill. La equidad de Pielou de 0.719 y el Berger-Parker de 0.370 describen una comunidad dominada.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

La batería completa cuantifica esa dominancia. La equidad de Pielou de **0.72** indica que la diversidad alcanzada es el 72 % de la máxima posible con dieciocho especies; el resto se pierde en la concentración de individuos. Los **números de Hill** lo traducen a un lenguaje más directo: `$N_0$` = 18 especies presentes, pero `$N_1$` = 8.00 especies «efectivas» y `$N_2$` = 5.21 especies verdaderamente abundantes. **La diversidad nominal de dieciocho especies se reduce, en la práctica, a poco más de cinco.** El índice de Shannon de 2.079 y el de Simpson de 0.808 son coherentes entre sí y con esa lectura: valores intermedios, propios de una comunidad rica en especies pero desigual en su reparto.

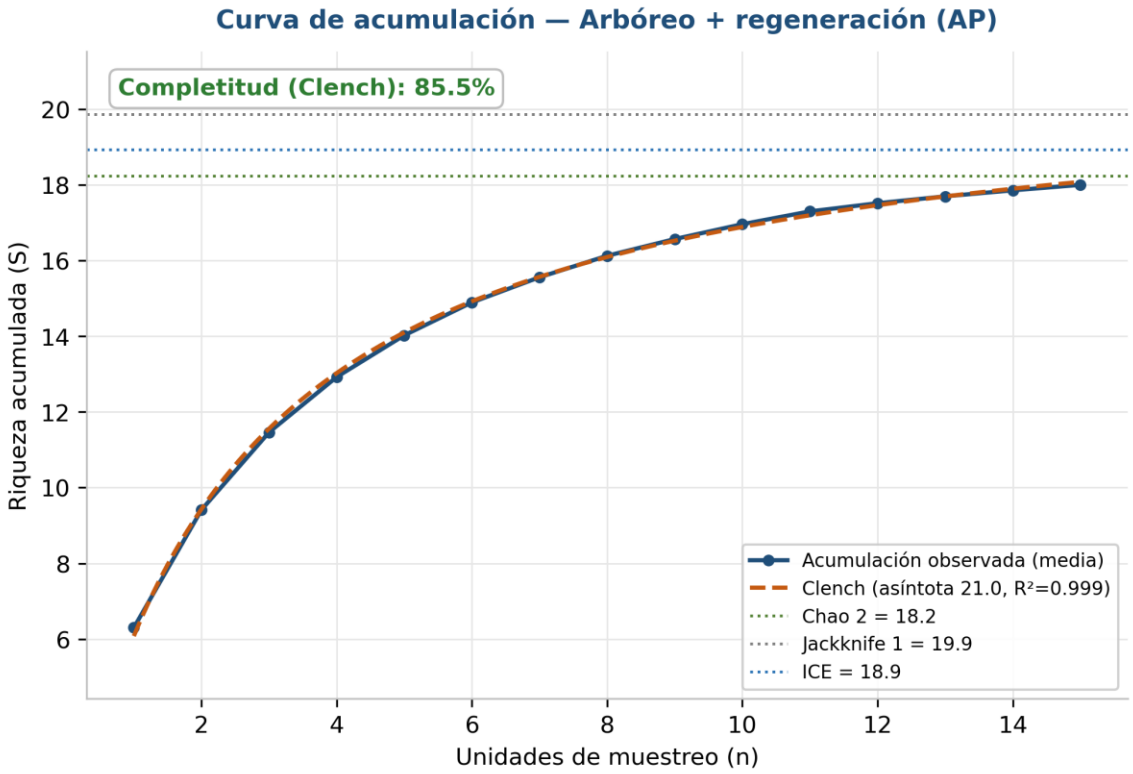


Figura 56. Curva de acumulación de la hectárea-tipo del Área del Proyecto, sobre sus quince sitios. Las dieciocho especies observadas alcanzan el 85.5 % de la asíntota de Clench (21.05), y Chao 2 estima 18.23: el inventario está esencialmente cerrado.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva es la de un inventario **suficiente**. Su pendiente en los últimos tres sitios es casi nula, y los seis estimadores se agrupan en un intervalo estrecho: Chao 1 en 18.00, Chao 2 en 18.23, ICE en 18.93, Bootstrap en 19.21, Jackknife 2 en 19.19 y Jackknife 1 en 19.87. Con dieciocho especies observadas, ninguno sugiere más de dos especies no detectadas. La asíntota de Clench, en 21.05, es la estimación más conservadora y de ella sale la completitud del 85.5 %, por encima del umbral del 80 % que se exige a un inventario forestal. **Dieciocho especies leñosas es la riqueza real del predio.**

III.5.2.2 Flora — estrato arbustivo

Tabla 57. Abundancia del estrato arbustivo del Área del Proyecto.

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Acacia farnesiana	Huizache	Nativa	27	65.9	Dominante	12
Citharexylum affine	Cuadrado	Nativa	5	12.2	Abundante	3
Randia armata	Crucillo	Nativa	3	7.3	Común	2
Rauvolfia tetraphylla	Sarna de perro	Nativa	3	7.3	Común	2
Tournefortia mutabilis	Huele de noche	Nativa	3	7.3	Común	2
Total			**41**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). Ninguna especie está listada en la NOM-059, la CITES ni con categoría de amenaza de la UICN. La abundancia relativa máxima, 65.9 %, reproduce el Berger-Parker de 0.659 obtenido para este estrato (Anexo I).

Cinco especies y cuarenta y un individuos en trece sitios: **es el estrato más pobre del predio**, y su pobreza es doble. Pobre en riqueza, y pobre en reparto: el huizache concentra dos tercios de los individuos. Las cuatro especies restantes suman catorce individuos entre todas. En dos de los quince sitios de muestreo no se registró ningún arbusto, razón por la que este estrato tiene trece y no quince sitios efectivos.

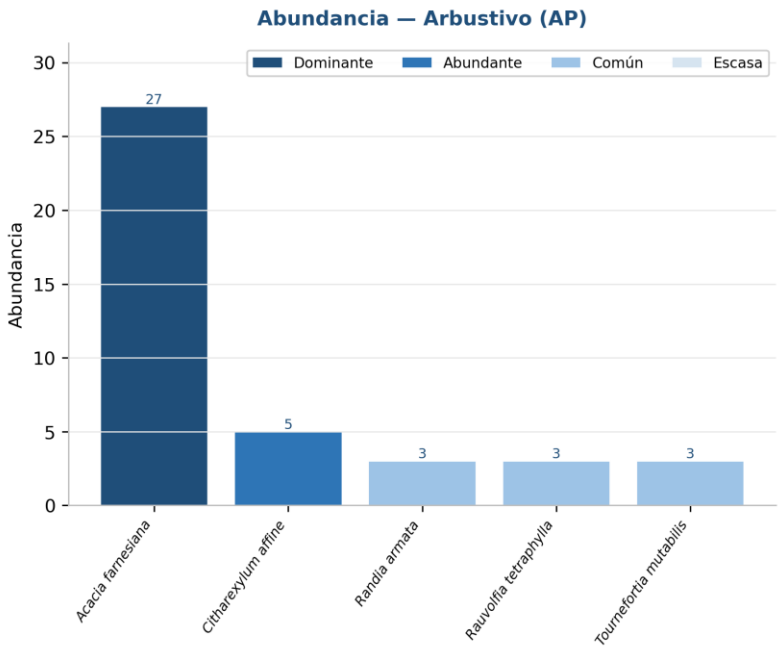


Figura 57. Abundancia por especie del estrato arbustivo del Área del Proyecto, ordenada de mayor a menor. *Acacia farnesiana* concentra veintisiete de los cuarenta y un individuos.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La gráfica muestra un perfil de barras que cae en picado tras la primera especie. El **huizache**, una leguminosa espinosa característica de terrenos abiertos, pastoreados o abandonados, es la única con clase de abundancia dominante. Su presencia en doce de los trece sitios lo convierte en el arbusto característico del predio, y su ecología —pionera, heliófila, indicadora de disturbio— dice más sobre la condición del terreno que cualquier índice.

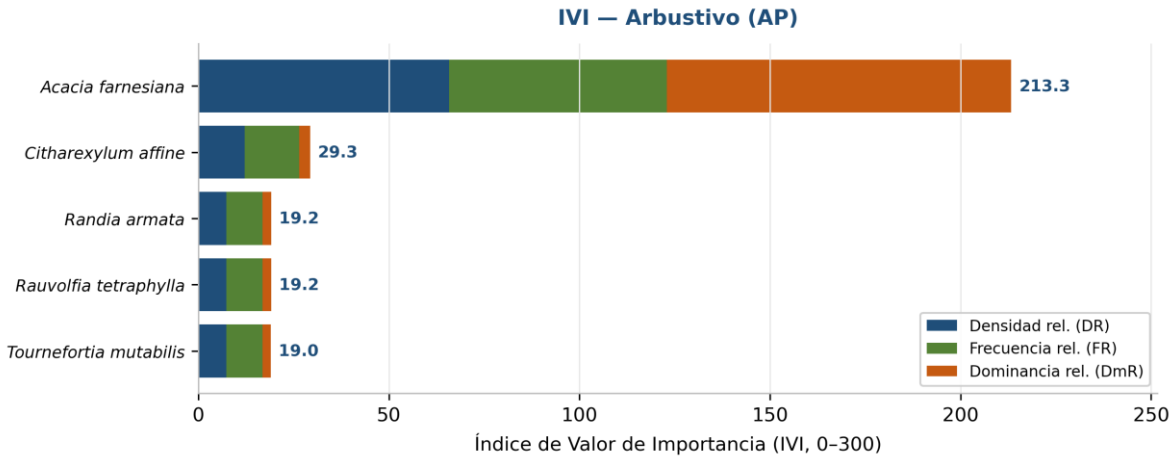


Figura 58. Índice de valor de importancia del estrato arbustivo del Área del Proyecto. *Acacia farnesiana* alcanza un IVI de 213.3 sobre 300, es decir, más de dos tercios del peso estructural del estrato.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Un IVI de **213.3 sobre un máximo teórico de 300** es una cifra extrema, y no tiene equivalente en ningún otro estrato del predio. Significa que el huizache domina simultáneamente en densidad, en frecuencia y en cobertura: no hay ningún componente en el que otra especie lo supere. Un estrato arbustivo gobernado por una sola pionera espinosa es la firma estructural de una comunidad en fase temprana de recuperación tras una perturbación intensa.

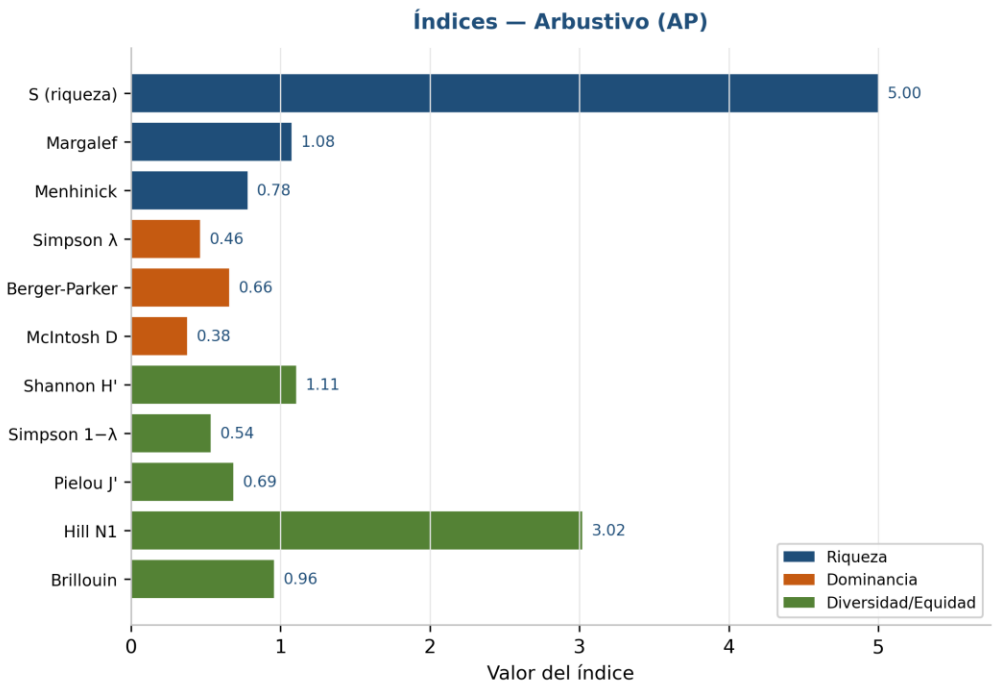


Figura 59. Índices de biodiversidad del estrato arbustivo del Área del Proyecto. Con cinco especies, la equidad de Pielou es de 0.69 y los números de Hill descienden hasta `$N_2$` = 2.15.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Los índices deben leerse con la cautela que impone una muestra de cuarenta y un individuos. El Shannon de 1.11 es el más bajo de los cuatro estratos, y el Simpson de 0.46 indica que **al tomar dos individuos al azar hay casi un 47 % de probabilidad de que pertenezcan a la misma especie**. La varianza de Shannon, de 0.0240, es treinta veces mayor que la del estrato arbóreo: con tan pocos individuos la estimación de diversidad es inestable, y conviene no sobreinterpretarla. Los números de Hill lo resumen: cinco especies presentes, tres efectivas, dos abundantes.

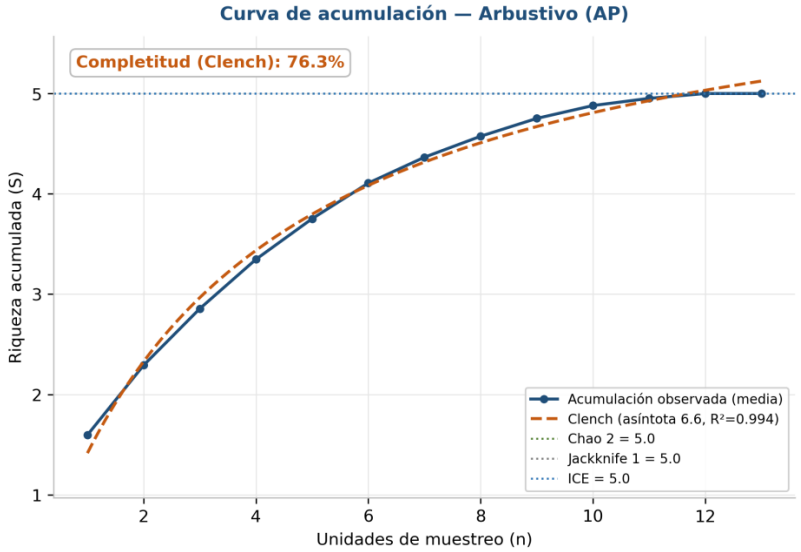


Figura 60. Curva de acumulación del estrato arbustivo del Área del Proyecto, sobre sus trece sitios. Las cinco especies observadas alcanzan el 76.3 % de la asíntota de Clench (6.56), pese a que Chao 2 e ICE se detienen exactamente en 5.00.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Esta curva exige una lectura cuidadosa, porque la completitud y los estimadores parecen contradecirse. **Chao 2, Chao 1, Jackknife 1 e ICE valen exactamente 5.00**, igual que la riqueza observada: ningún estimador de incidencia sospecha especies no detectadas, porque no hay especies presentes en un solo sitio —no hay *uniques*— y esos estimadores se saturan. El Jackknife 2 llega incluso a 2.67, por debajo de la riqueza observada, un artefacto conocido del estimador cuando faltan *duplicates*. El modelo de Clench, en cambio, sigue proyectando una asíntota en 6.56 a partir de la forma de la curva, y de ahí sale el 76.3 %. **La lectura correcta es que el estrato arbustivo del predio está bien inventariado y es genuinamente pobre**, no que falten arbustos por detectar.

III.5.2.3 Flora — estrato de otras formas de vida

Tabla 58. Abundancia del estrato de otras formas de vida del Área del Proyecto (trepadoras, epífitas y suculentas).

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Cissus verticillata	Bejuco tripa de vaca	Nativa	51	55.4	Dominante	12
Antigonon leptopus	Zarzal morado	Nativa	22	23.9	Dominante	7
Adenopodia gymnantha	Bejuco sierrilla	Nativa	7	7.6	Común	5
Aristolochia taliscana	Bejuco corchozo	Endémica	5	5.4	Común	3
Amphilophium crucigerum	Bejuco lengua de vaca	Nativa	4	4.3	Escasa	3
Serjania brachycarpa	Bejuco serjania	Nativa	3	3.3	Escasa	2
Total			**92**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). Ninguna especie está listada. El máximo relativo, 55.4 %, reproduce el Berger-Parker de 0.554 (Anexo I).

Las seis especies son **todas trepadoras leñosas**, y su existencia depende por completo del arbolado que las sostiene. Dos de ellas, el bejuco tripa de vaca y el zarzal morado, superan el umbral de dominancia y reúnen el 79.3 % de los individuos. Aparece una **endémica**, *Aristolochia taliscana*, con cinco individuos en tres sitios: es la única especie endémica no arbórea del predio.

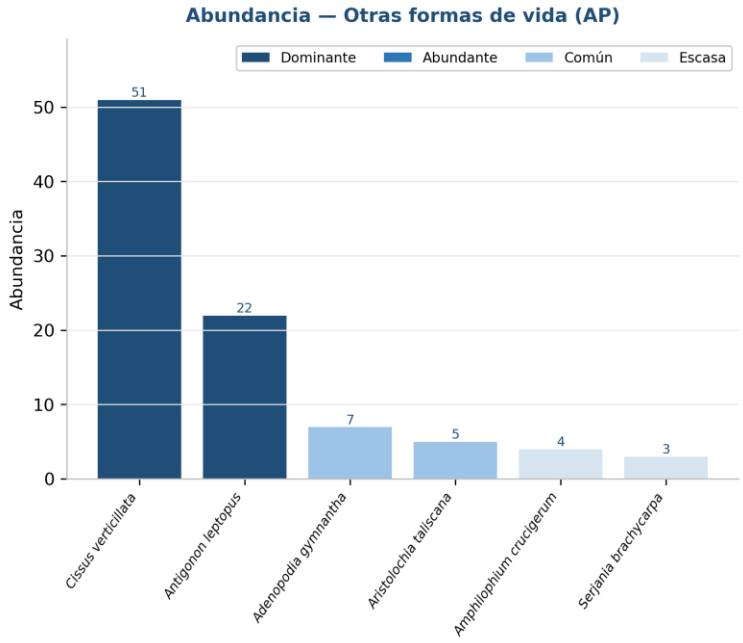


Figura 61. Abundancia por especie del estrato de otras formas de vida del Área del Proyecto. Dos trepadoras concentran cuatro de cada cinco individuos.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La gráfica muestra dos escalones y una cola. El primer escalón, *Cissus verticillata*, presente en doce de los quince sitios, es una trepadora agresiva y de crecimiento rápido, frecuente en bordes de bosque y en vegetación secundaria. El segundo, *Antigonon leptopus*, comparte ese carácter. **La dominancia de trepadoras heliófilas en un estrato de lianas es un indicador de dosel abierto**, coherente con la cobertura arbórea del 42.85 % que el motor calcula para este predio.

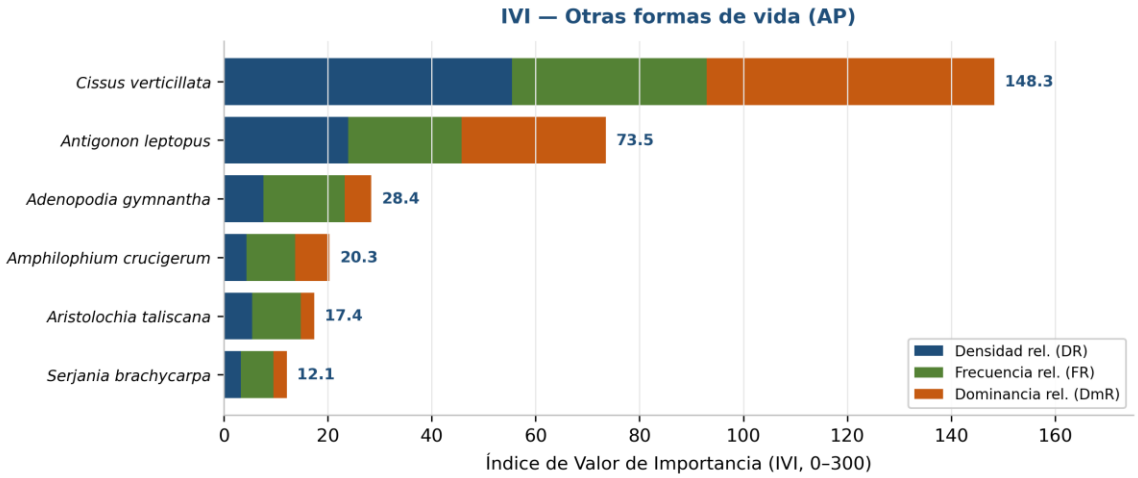


Figura 62. Índice de valor de importancia del estrato de otras formas de vida del Área del Proyecto. *Cissus verticillata* alcanza un IVI de 148.3 sobre 300.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El IVI de 148.3 del bejuco tripa de vaca equivale a la mitad del peso estructural del estrato, y se apoya sobre todo en su **frecuencia**: aparece en doce sitios, más que ninguna otra. El zarzal morado le sigue de lejos. La distancia entre ambos es menor que en el estrato arbustivo, lo que indica un reparto algo más equilibrado del peso ecológico, aunque la comunidad sigue estando dominada.

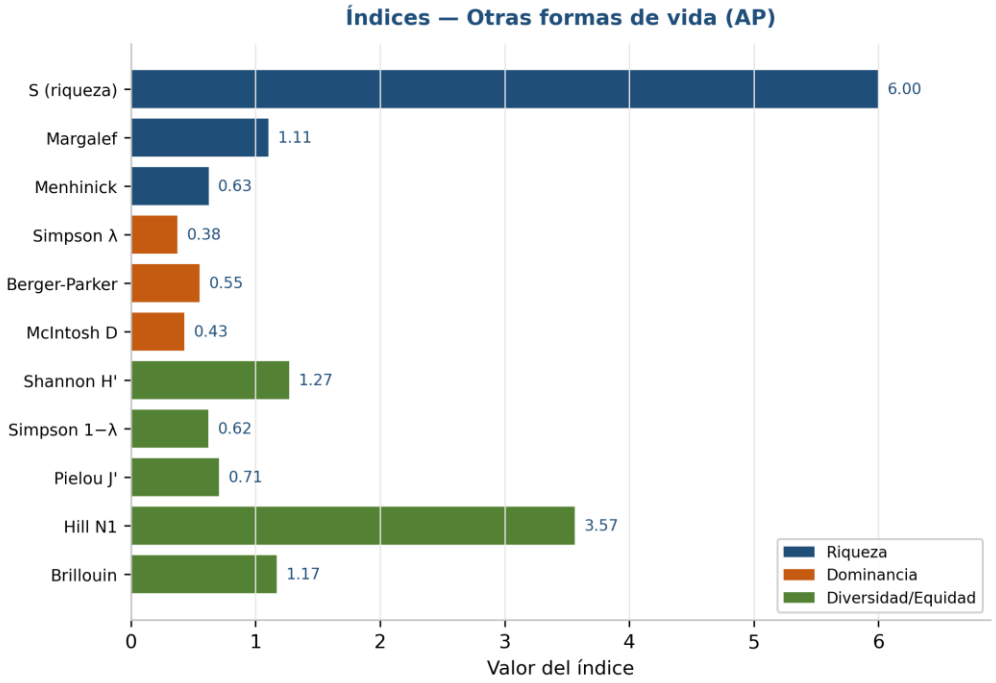


Figura 63. Índices de biodiversidad del estrato de otras formas de vida del Área del Proyecto. Seis especies, equidad de Pielou de 0.710, $`N_2`$ = 2.66.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Este estrato presenta la **mayor equidad de los tres estratos no arbóreos** (Pielou 0.710), pero sobre una riqueza mínima. El Shannon de 1.27 y el Simpson de 0.62 son coherentes: diversidad baja, reparto menos desigual que en el arbustivo. Los números de Hill dan seis especies presentes, 3.57 efectivas y 2.66 abundantes. La varianza de Shannon, 0.0094, es intermedia: la estimación es más estable que la del arbustivo pero menos que la del herbáceo.

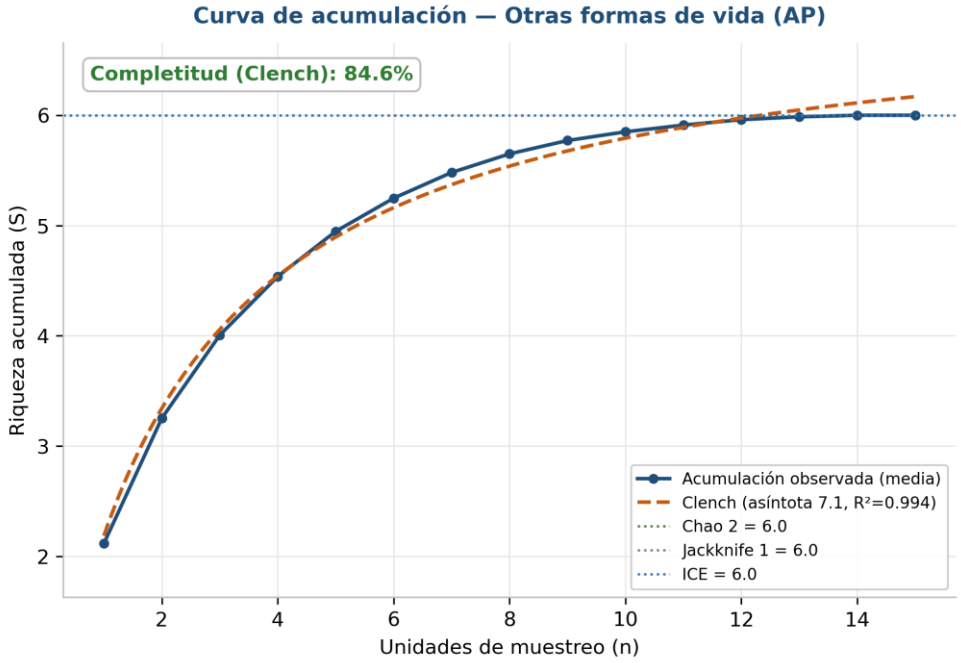


Figura 64. Curva de acumulación del estrato de otras formas de vida del Área del Proyecto. Seis especies observadas, 84.6 % de la asíntota de Clench (7.09).

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva se cierra con **Chao 1, Chao 2, Jackknife 1 e ICE coincidiendo en 6.00**, la riqueza observada. Su completitud del 84.6 % es la segunda más alta de la flora del predio. La implicación para la evaluación es directa y merece enunciarse: **la remoción del estrato arbóreo arrastra consigo, de forma necesaria, las seis especies de este estrato**. No son un componente independiente que pueda conservarse por separado, porque no tienen sustrato propio. Cualquier medida de rescate de trepadoras carece de sentido si no va acompañada del arbolado que las soporta.

III.5.2.4 Flora — estrato herbáceo

Tabla 59. Abundancia del estrato herbáceo del Área del Proyecto.

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Macroptilium atropurpureum	Frijolillo fino	Nativa	224	20.9	Dominante	10
Cleome viscosa	Cola de rata	Exótica	218	20.4	Dominante	13
Cynodon dactylon	Grama	**Exótica invasora**	143	13.4	Abundante	10
Elytraria imbricata	Cordoncillo	Nativa	80	7.5	Común	15
Dicliptera resupinata	Maleza de las lomas	Nativa	75	7.0	Común	13
Gronovia scandens	Arroz de leche	Nativa	74	6.9	Común	8
Petiveria alliacea	Arriscale patrás	Nativa	73	6.8	Común	12
Sida glabra	Guinar escobero	Nativa	43	4.0	Escasa	10

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Abutilon trisulcatum	Acapán	Nativa	30	2.8	Escasa	7
Sicyos barbatus	Chayotillo tronador	Nativa	28	2.6	Escasa	6
Martynia annua	Uña de gato	Nativa	19	1.8	Escasa	5
Malachra fasciata	Malva jamaiquilla	Nativa	14	1.3	Escasa	8
Panicum maximum	Pasto tanzania	**Exótica invasora**	12	1.1	Escasa	5
Indigofera suffruticosa	Frijolillo vaina	Exótica	9	0.8	Escasa	6
Senna occidentalis	Retama	Nativa	8	0.7	Escasa	3
Ipomoea purpurea	Campanilla morada	Endémica	7	0.7	Escasa	2
Momordica charantia	Pepinillo amarillo	**Exótica invasora**	5	0.5	Escasa	4
Cucurbita argyrosperma	Calabacilla	Nativa	4	0.4	Escasa	4
Galinsoga parviflora	Manzanilla silvestre	Nativa	4	0.4	Escasa	2
Total			**1,070**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). El máximo relativo, 20.9 %, reproduce el Berger-Parker de 0.209 (Anexo I).

Es el estrato **más rico y mejor repartido** del predio: diecinueve especies, ninguna por encima del 21 % y siete por encima del umbral de abundancia común. Pero su composición es la más elocuente del capítulo. Entre las tres primeras especies, **dos son exóticas** —la cola de rata y la grama— y la grama está además declarada **invasora**. Sumando a *Panicum maximum* y *Momordica charantia*, las tres exóticas invasoras del estrato herbáceo reúnen 160 individuos, el 15.0 % de la abundancia herbácea —a ellas se suma, fuera de este estrato, el neem del arbolado, con lo que el predio contabiliza cuatro especies invasoras en total—. Aparece además una endémica, *Ipomoea purpurea*, escasa.

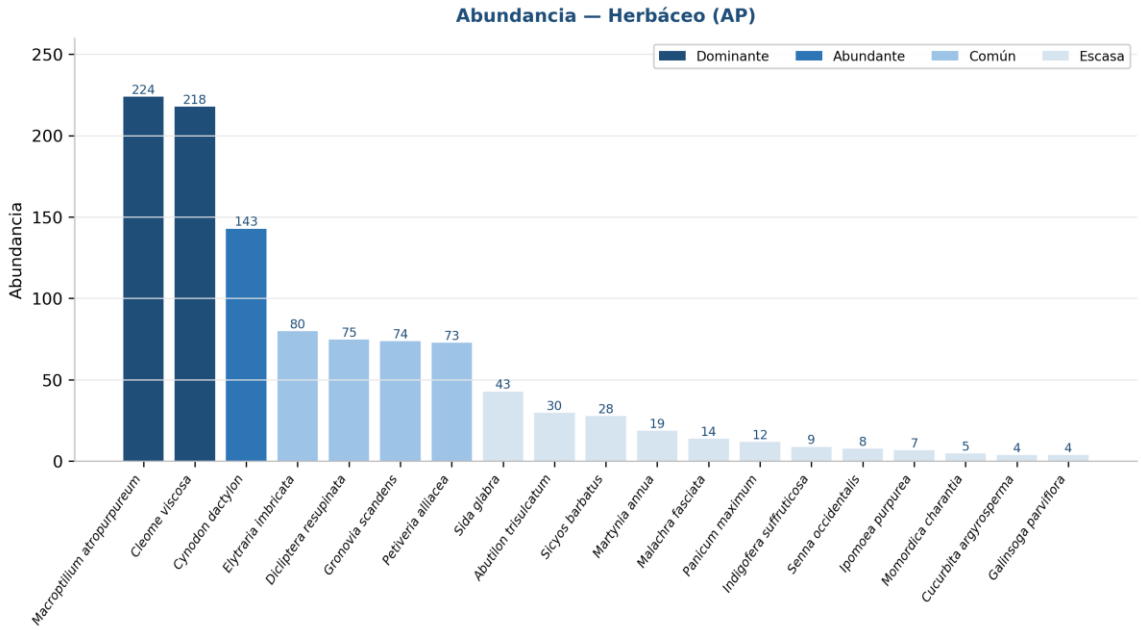


Figura 65. Abundancia por especie del estrato herbáceo del Área del Proyecto. Dos especies —una nativa y una exótica— alcanzan la clase dominante con abundancias casi idénticas.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

El perfil de barras es el más escalonado de los cuatro estratos: no hay un pico único, sino un descenso gradual desde 224 hasta 4 individuos. Ese reparto es el que sostiene el Shannon más alto de la flora del predio. Lo que la figura permite ver, y la tabla solo insinúa, es que **la primera y la segunda barra están prácticamente empatadas** (224 contra 218), lo que significa que la comunidad herbácea del predio está codominada por una leguminosa nativa y una arvense exótica. Esa coexistencia es el retrato de un terreno en transición.

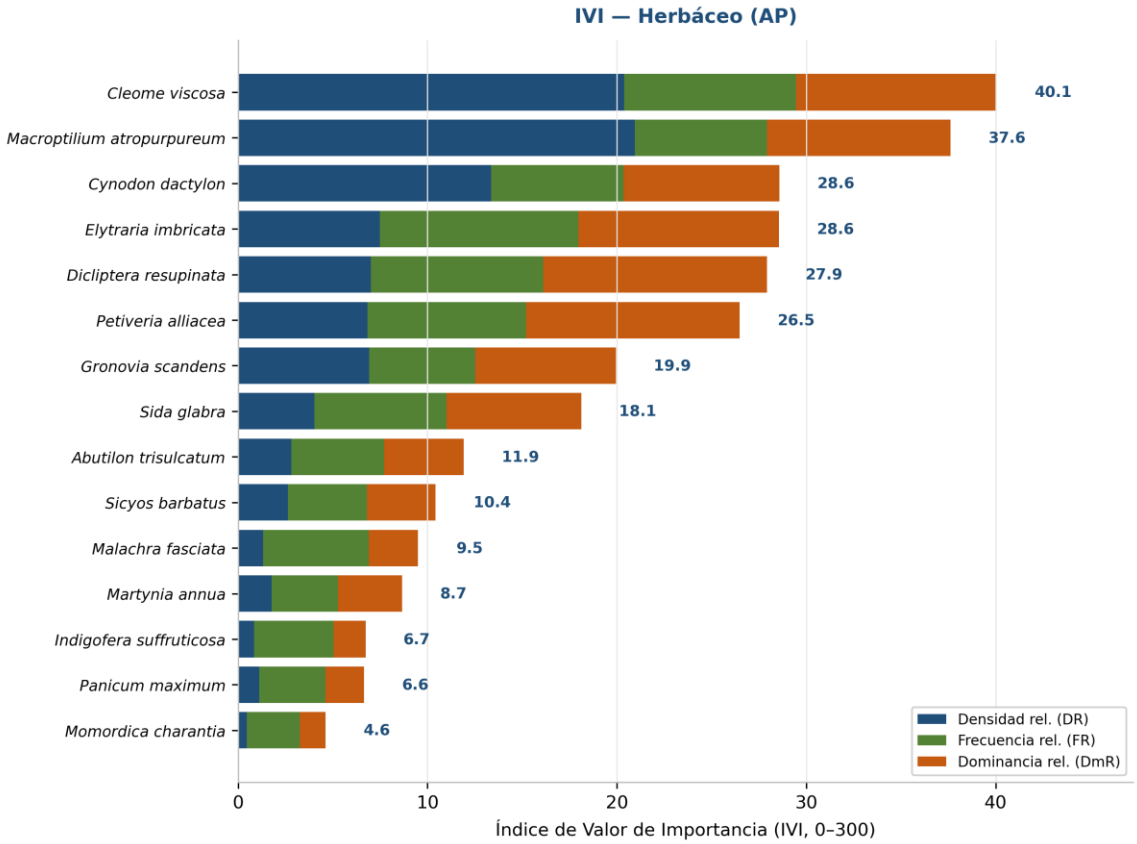


Figura 66. Índice de valor de importancia del estrato herbáceo del Área del Proyecto. *Cleome viscosa* encabeza con un IVI de 40.1 sobre 300, pese a no ser la más abundante.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Aquí aparece el desacople más instructivo del capítulo. La especie más abundante es *Macroptilium atropurpureum*, con 224 individuos; pero **la de mayor valor de importancia es *Cleome viscosa*, una exótica**, con un IVI de 40.1. La razón es la frecuencia: la cola de rata aparece en trece sitios y el frijolillo solo en diez. Una especie puede ser menos numerosa y sin embargo más importante estructuralmente, si está mejor repartida por el terreno. **La exótica más extendida del predio no es la más abundante: es la más ubicua**, y eso la hace más difícil de erradicar.

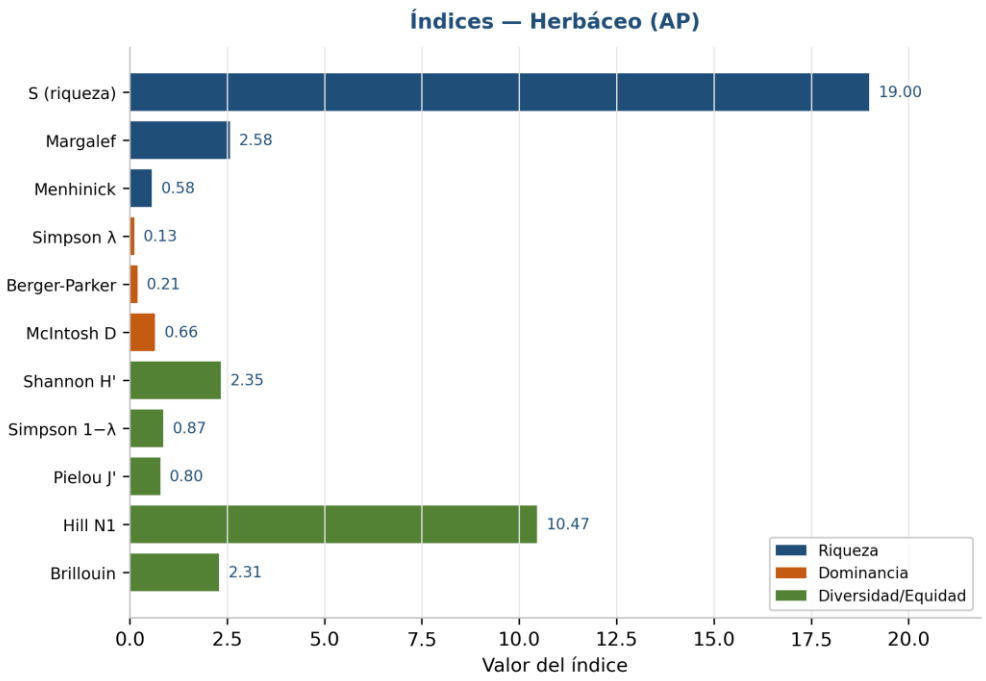


Figura 67. Índices de biodiversidad del estrato herbáceo del Área del Proyecto. Es el estrato de mayor riqueza (19), mayor Shannon (2.349) y mayor equidad (Pielou 0.8).

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Todos los índices apuntan en la misma dirección y son mutuamente coherentes: el Shannon de 2.349 es el más alto de la flora del predio pese a que el arbóreo tiene una especie menos, porque la equidad de Pielou (0.798 frente a 0.702) reparte mejor los individuos. El Simpson de 0.873 y el Berger-Parker de 0.209 confirman baja dominancia. Los números de Hill dan `$N_0$` = 19, `$N_1$` = 10.47 y `$N_2$` = 7.87: **más de la mitad de las especies herbáceas son efectivamente abundantes**, contra menos de un tercio en el estrato arbóreo. Y la varianza de Shannon, 0.0008, es la más baja: con 1,070 individuos la estimación es sólida.

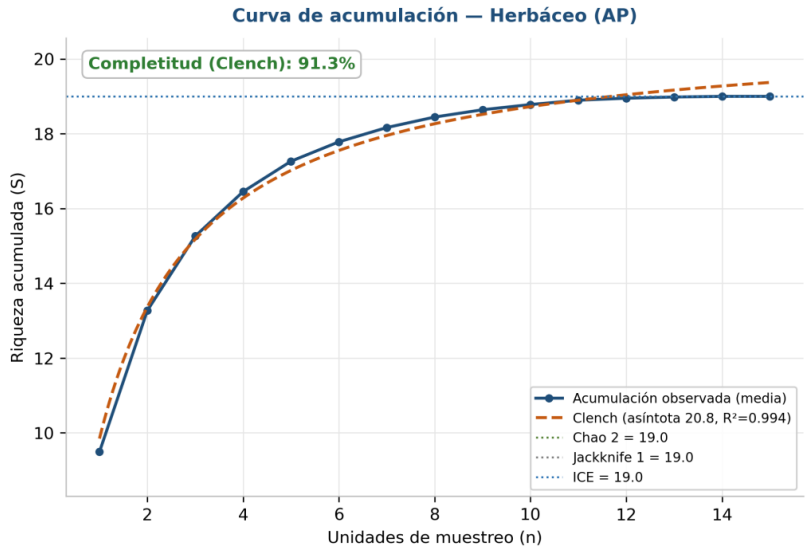


Figura 68. Curva de acumulación del estrato herbáceo del Área del Proyecto. Diecinueve especies observadas, 91.3 % de la asíntota de Clench (20.81): el inventario más completo del predio.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva alcanza la asíntota antes que ninguna otra y su completitud del **91.3 %** es la más alta del predio. Chao 1, Chao 2, Jackknife 1 e ICE coinciden en 19.00 con la riqueza observada. Ese cierre estadístico da solidez a la conclusión que el diagnóstico ambiental empleará: **la presencia y la proporción de especies exóticas invasoras en el estrato herbáceo del predio no es un artefacto de muestreo insuficiente**, sino un hecho documentado con el inventario más completo de todo el levantamiento.

III.5.2.5 Flora — análisis integrado del Área del Proyecto

Tabla 60. Comparativa de índices de diversidad entre los estratos de flora del Área del Proyecto.

Estrato	`S`	`N`	`DMg`	`DMn`	`λ`	`1−λ`	`d` (Berger-Parker)	`D` (McIntosh)	`H'`	`H'max`	`Var H'`	`J'`	`HB` (Brillouin)	$`N_0`$	$`N_1`$	$`N_2`$	IVI dominante	Completitud (%)
Arbóreo + regeneración	18	1,391	2.35	0.48	0.192	0.808	0.370	0.577	2.079	2.890	0.0009	0.719	2.049	18	8.00	5.21	*Swietenia humilis* (59.2)	85.5
Herbáceo	19	1,070	2.58	0.58	0.127	0.873	0.209	0.664	2.349	2.944	0.0008	0.798	2.307	19	10.47	7.87	*Cleome viscosa* (40.1)	91.3
Otras formas de vida	6	92	1.11	0.63	0.376	0.624	0.554	0.432	1.271	1.792	0.0094	0.710	1.174	6	3.57	2.66	*Cissus verticillata* (148.3)	84.6
Arbustivo	5	41	1.08	0.78	0.465	0.535	0.659	0.377	1.106	1.609	0.0240	0.687	0.959	5	3.02	2.15	*Acacia farnesiana* (213.3)	76.3

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto — índices de diversidad (Anexo I) y completitud del inventario (Anexo H). La abundancia del estrato arbóreo se expresa en ind·ha⁻¹; la de los demás, en individuos sobre el área muestreada.

La tabla permite ordenar los cuatro estratos y responder las preguntas del análisis integrado. **La mayor riqueza corresponde al herbáceo** (19 especies), apenas por encima del arbóreo (18). **La mayor diversidad efectiva también es del herbáceo** ($`N_1`$ = 10.47 contra 8.00). **La mayor equidad, igualmente del herbáceo** (`J'` = 0.798). Y **la mayor dominancia es del arbustivo** (`d` = 0.659), seguido de otras formas de vida (0.554).

Los índices son coherentes entre sí en los cuatro estratos: allí donde el Berger-Parker sube, el Pielou baja y el Simpson `1−λ` se reduce. No hay contradicciones que obliguen a matizar la lectura. Y el diagnóstico que se desprende es inequívoco: **la flora del Área del Proyecto es una comunidad simplificada y dominada**, con dos estratos leñosos gobernados cada uno por una sola especie —el cóbano y el huizache— y un estrato herbáceo más equilibrado pero invadido por exóticas. La combinación de un IVI de 213.3 en el arbustivo con la codominancia de una arvense exótica en el herbáceo describe una selva baja caducifolia secundaria sometida a presión antrópica sostenida.

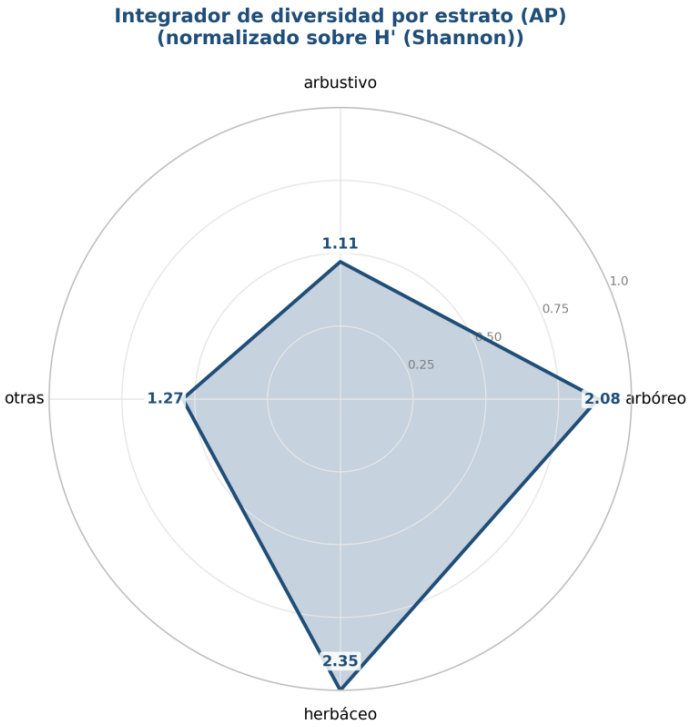


Figura 69. Integrador de diversidad por estrato del Área del Proyecto: riqueza, Shannon, Simpson, Pielou y Margalef en ejes normalizados. El herbáceo domina el polígono; el arbustivo lo colapsa.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El radar traduce cinco índices a una sola forma, y su geometría enuncia lo que la tabla dispersa: **el herbáceo y el arbóreo son los dos únicos estratos que sostienen la diversidad del predio**, mientras que el arbustivo se contrae hasta casi desaparecer del polígono. Para la evaluación del proyecto, esto significa que la remoción de la cubierta arbórea elimina uno de los dos vértices que sostienen la figura, y que el otro —el herbáceo— es también el que concentra las cuatro especies exóticas invasoras. **No hay un estrato «conservado» cuya permanencia compense la pérdida de los demás.**

Tabla 61. bis. Estimadores de riqueza de las ocho unidades del Área del Proyecto (curvas de acumulación).

Unidad	`S` obs	Chao 1	Chao 2	Jackknife 1	Jackknife 2	Bootstrap	ICE	R^2 Clench	Completitud
Arbóreo + regeneración	18	18.00	18.23	19.87	19.19	19.21	18.93	0.999	85.5 %
Arbustivo	5	5.00	5.00	5.00	2.67	5.37	5.00	0.994	76.3 %
Otras formas de vida	6	6.00	6.00	6.00	5.20	6.19	6.00	0.994	84.6 %
Herbáceo	19	19.00	19.00	19.00	17.39	19.29	19.00	0.994	91.3 %
Anfibios	2	2.00	2.00	2.00	2.00	2.01	2.00	0.906	87.2 %
Aves	39	39.00	39.00	39.00	39.00	39.24	39.00	0.969	89.3 %
Mamíferos	14	14.00	14.00	14.00	13.24	14.20	14.00	0.978	86.5 %
Reptiles	13	13.00	13.00	13.92	14.75	13.46	13.28	0.997	90.5 %

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H). Siete estimadores de riqueza y la completitud de Clench por unidad de muestreo del Área del Proyecto.

Los siete estimadores no paramétricos respaldan las curvas del predio. Chao 1, Chao 2 e ICE convergen en la riqueza observada en casi todas las unidades; **Jackknife 2**, el más sensible a las especies raras, cae por debajo en el arbustivo (2.67 frente a 5) y en el herbáceo, señal de la baja frecuencia de esas especies. El **ajuste de Clench va de muy bueno a excelente** —R^2 entre **0.906** (anfibios, la unidad más pobre, con solo dos especies) y **0.999** (arbóreo + regeneración)—, lo que sostiene las completitudes que adopta el apartado.

III.5.2.6 Fauna — Aves

Tabla 62. Índices de diversidad del grupo Aves en el Área del Proyecto.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	39	Alta	El grupo más rico del predio
Abundancia `N` (eventos)	448	—	Suma de las dos temporadas
Margalef `DMg`	6.22	Alta	Riqueza elevada respecto de la abundancia
Menhinick `DMn`	1.84	Alta	Coherente con Margalef
Simpson `λ`	0.035	Muy baja	Dominancia mínima
Simpson `1−λ`	0.965	Muy alta	Comunidad muy diversa
Berger-Parker `d`	0.078	Muy baja	Ninguna especie supera el 8 %
McIntosh `D`	0.853	Alta	Reparto homogéneo
Shannon `H'`	3.501	Muy alta	La mayor del predio
`H'max`	3.664	—	Máximo teórico con 39 especies
Varianza de `H'`	0.0008	Muy baja	Estimación robusta
Pielou `J'`	0.956	Muy alta	Equidad casi perfecta
Brillouin `HB`	3.331	Alta	Confirma a Shannon
Hill N_0 / N_1 / N_2	39 / 33.16 / 28.51	—	33 especies efectivas de 39

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I), tabla de índices (Moreno, 2001).

Las aves son, con diferencia, **el grupo mejor estructurado del Área del Proyecto**. Un Pielou de 0.955 significa que la diversidad alcanzada es el 95.5 % de la máxima posible con treinta y nueve especies: el reparto de individuos entre especies es casi perfecto. El Berger-Parker de 0.078 confirma que ninguna especie domina. Y los números de Hill son elocuentes: de las treinta y nueve especies presentes, **33.16 son efectivamente diversas y 28.51 verdaderamente abundantes**, la proporción más alta de todo el capítulo. Un predio de 3.4 ha con una comunidad de aves así de equitativa indica que funciona como hábitat de forrajeo y tránsito, no como refugio de unas pocas especies tolerantes.

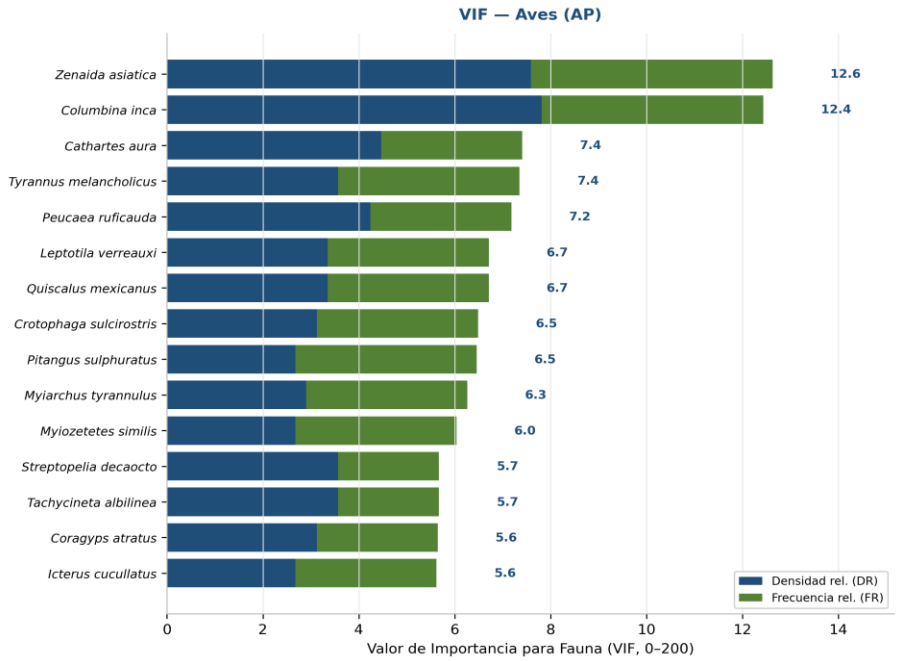


Figura 70. Valor de importancia de fauna del grupo Aves en el Área del Proyecto, en barras horizontales por densidad y frecuencia relativas. *Zenaida asiatica* encabeza con un VIF de 12.6 sobre 200; las especies de la NOM-059 llevan estrella roja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Un VIF máximo de **12.6 sobre 200** es la cifra que mejor resume la equidad del grupo. Compárese con el IVI de 213.3 del huizache: mientras que en el estrato arbustivo una sola especie acapara dos tercios del peso estructural, en las aves la más importante apenas alcanza el 6 % del máximo. La *Zenaida asiatica*, paloma de alas blancas, encabeza por densidad y por frecuencia; le siguen una decena de especies con valores muy próximos. **Ninguna especie de ave estructura la comunidad**, lo que implica que la remoción del hábitat no elimina una especie clave sino que degrada un ensamble repartido. Cuatro especies de la NOM-059 aparecen dispersas a lo largo del ranking, ninguna entre las de mayor VIF.

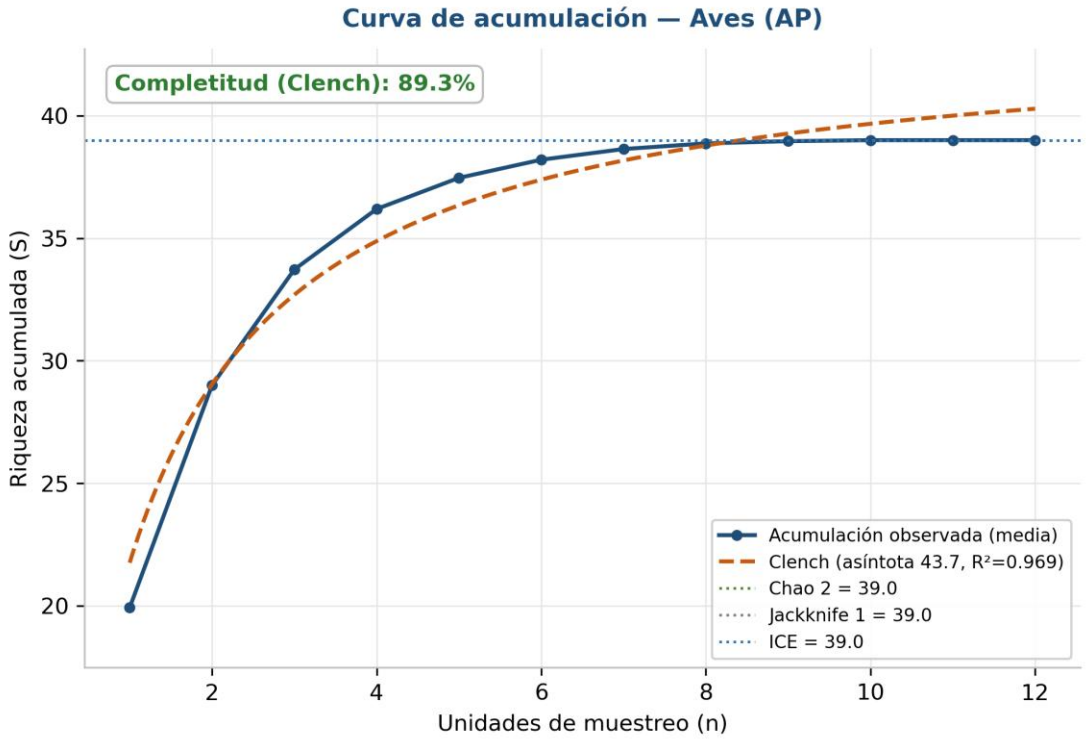


Figura 71. Curva de acumulación del grupo Aves en el Área del Proyecto. Treinta y nueve especies en doce recorridos; Chao 1, Chao 2, Jackknife 1 e ICE coinciden en 39.00 y la completitud alcanza el 89.3 %.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva asciende con fuerza en los primeros seis recorridos —la temporada seca— y **vuelve a levantarse en el séptimo**, cuando comienzan los de temporada húmeda y entran las especies estivales. Ese doble escalón es la firma estadística de la estacionalidad: treinta y una especies en secas, treinta y seis en húmeda, y una unión de treinta y nueve. La curva se aplana en el décimo recorrido y no vuelve a subir. Con los cuatro estimadores clavados en 39.00 y una asíntota de Clench de 43.66, **doce recorridos bastaron para inventariar la avifauna del predio**.

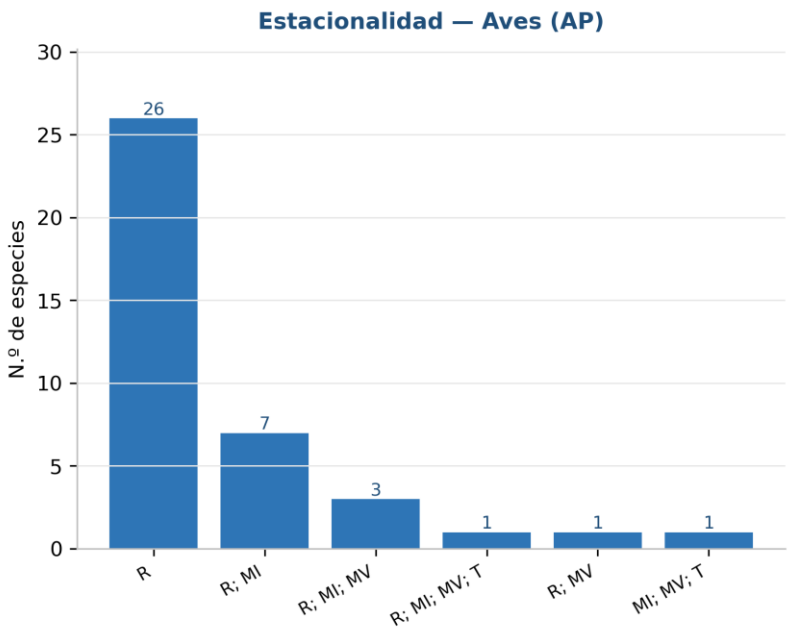


Figura 72. Estacionalidad de las especies de aves del Área del Proyecto. De las treinta y nueve especies, veintiséis son exclusivamente residentes y trece presentan algún componente migratorio.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Este es el único grupo del predio con especies migratorias, y la figura lo cuantifica: **veintiséis especies residentes**, siete residentes que además reciben poblaciones migratorias invernales, tres con componente invernal y de verano, una migratoria de verano, una con paso de tránsito, y una exclusivamente migratoria. Es decir, **trece de las treinta y nueve especies —un tercio— dependen del predio en alguna fase de su ciclo migratorio**. El dato tiene consecuencias operativas: la ventana de desmonte debe evitar el paso migratorio invernal, y el ahuyentamiento previo debe considerar que un tercio de la avifauna no está presente todo el año.

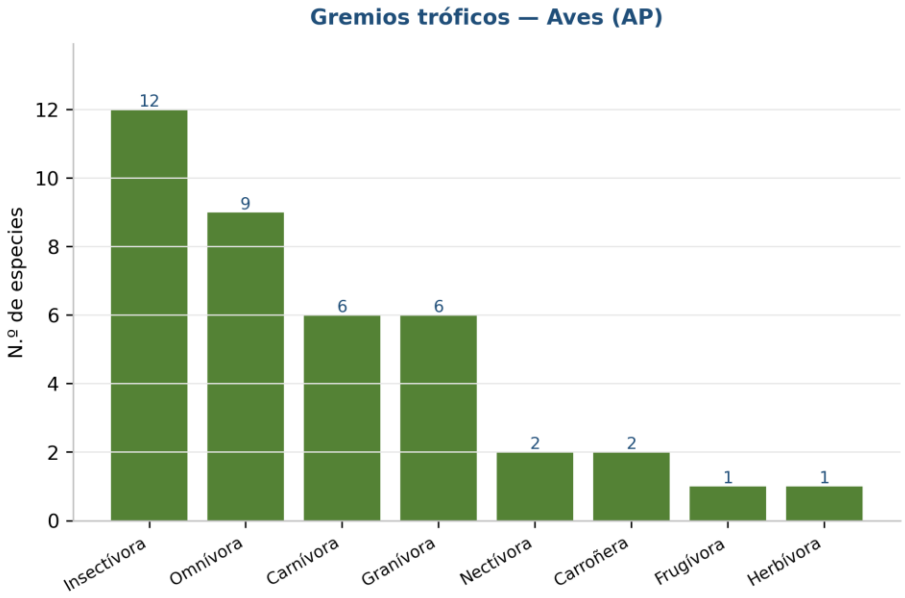


Figura 73. Gremios tróficos de las aves del Área del Proyecto. El gremio insectívoro domina con doce especies.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La estructura trófica es **la más compleja de los cuatro grupos**, y esa complejidad es en sí misma un indicador. El gremio insectívoro encabeza con doce especies, pero la figura muestra además carnívoros, granívoros, frugívoros, nectarívoros y omnívoros representados. Una red trófica con cinco o más gremios en 3.4 ha exige una base de recursos diversificada: insectos, semillas, frutos y néctar. **La diversificación trófica de la avifauna es la mejor evidencia disponible de que el predio conserva funcionalidad ecológica**, pese a su condición secundaria.

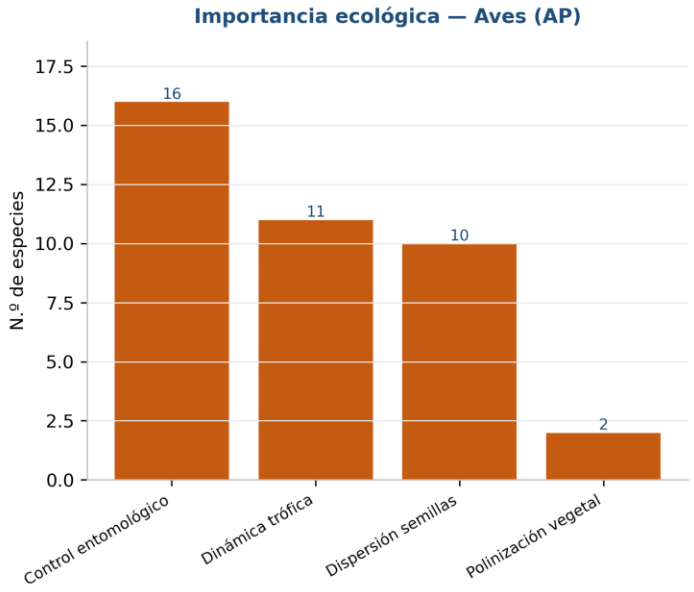


Figura 74. Importancia ecológica de las aves del Área del Proyecto. Dieciséis especies cumplen funciones de control entomológico.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

De las treinta y nueve especies, **dieciséis prestan un servicio de control entomológico**, y la figura muestra además contingentes menores de dispersoras de semillas, polinizadoras y depredadoras tope. La pérdida de estas funciones es el impacto ecológico real de la remoción de la cubierta vegetal, y no puede compensarse con un conteo de individuos rescatados: se compensa restituyendo hábitat que sostenga gremios equivalentes. Esa es la exigencia que este dato impone al predio de compensación.

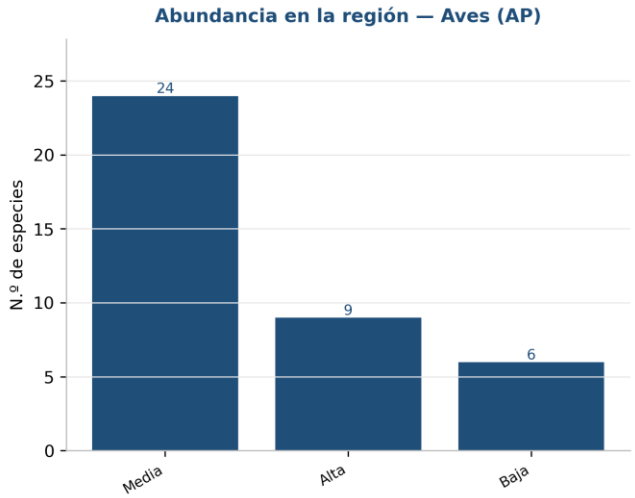


Figura 75. Abundancia regional de las especies de aves registradas en el Área del Proyecto. Veinticuatro especies de abundancia media, nueve de abundancia alta y seis de abundancia baja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Esta figura es el eje de rareza que ordena la prioridad de ahuyentamiento y rescate. **Seis especies de aves del predio son de abundancia regional baja**: son las que, si se pierden localmente, tienen menos posibilidad de recolonizar desde la Región Ecológica. Las nueve de abundancia alta, en el extremo opuesto, recolonizarán el predio de compensación sin intervención. La prioridad operativa recae, por tanto, sobre esas seis especies escasas y sobre las cinco listadas en la NOM-059, conjuntos que se solapan solo parcialmente.

III.5.2.7 Fauna — Mamíferos

Tabla 63. Índices de diversidad del grupo Mamíferos en el Área del Proyecto.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	14	Media	Segundo grupo más rico
Abundancia `N` (eventos)	95	—	Suma de las dos temporadas
Margalef `DMg`	2.85	Media	Riqueza moderada
Menhinick `DMn`	1.44	Media	Coherente con Margalef
Simpson `λ`	0.094	Baja	Dominancia baja
Simpson `1−λ`	0.906	Alta	Comunidad diversa
Berger-Parker `d`	0.189	Baja	La dominante no llega al 19 %
McIntosh `D`	0.773	Alta	Reparto homogéneo
Shannon `H'`	2.503	Alta	—
`H'max`	2.639	—	Máximo teórico con 14 especies
Varianza de `H'`	0.0036	Baja	Estimación estable
Pielou `J'`	0.949	Muy alta	Equidad casi perfecta
Brillouin `HB`	2.268	Media-alta	Confirma a Shannon
Hill N_0 / N_1 / N_2	14 / 12.22 / 10.63	—	12 especies efectivas de 14

Fuente: la misma.

Con catorce especies y noventa y cinco eventos, la comunidad de mamíferos exhibe **una equidad casi tan alta como la de las aves** (Pielou 0.949) sobre una riqueza tres veces menor. Los números de Hill —12.22 efectivas de 14 presentes— indican que no hay especies marginales: todas contribuyen. El Berger-Parker de 0.189 sitúa a la dominante por debajo del umbral de dominancia de Moreno.

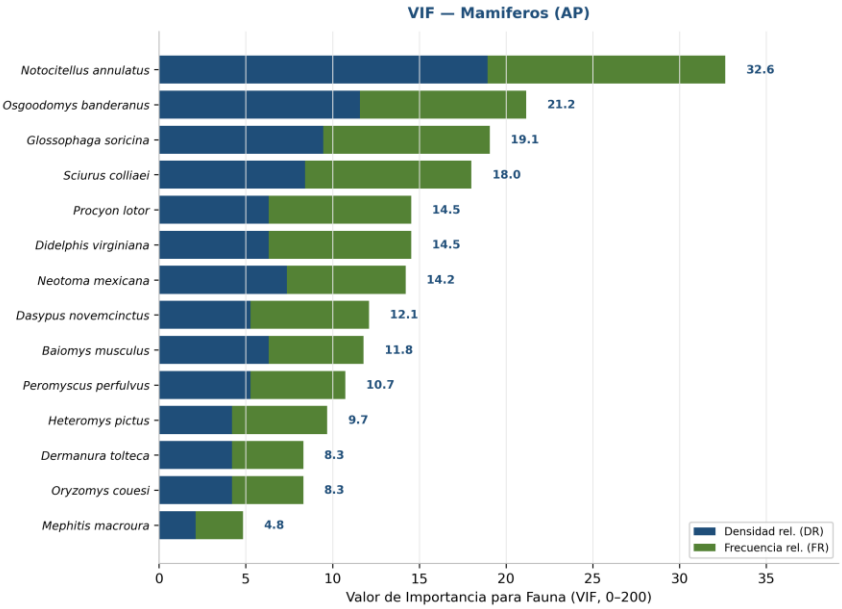


Figura 76. Valor de importancia de fauna del grupo Mamíferos en el Área del Proyecto. *Notocitellus annulatus* encabeza con un VIF de 32.6 sobre 200.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El VIF máximo de **32.6** es dos veces y media el de las aves, lo que revela una comunidad más jerarquizada pese a su alta equidad de abundancias. La *Notocitellus annulatus*, ardilla de tierra anillada, encabeza por su elevada frecuencia: se detecta en casi todos los recorridos. Ninguna de las catorce especies figura en la NOM-059, de modo que la figura no muestra estrellas rojas. Ese hecho —una comunidad de mamíferos rica, equitativa y sin especies protegidas— simplifica notablemente el programa de ahuyentamiento.

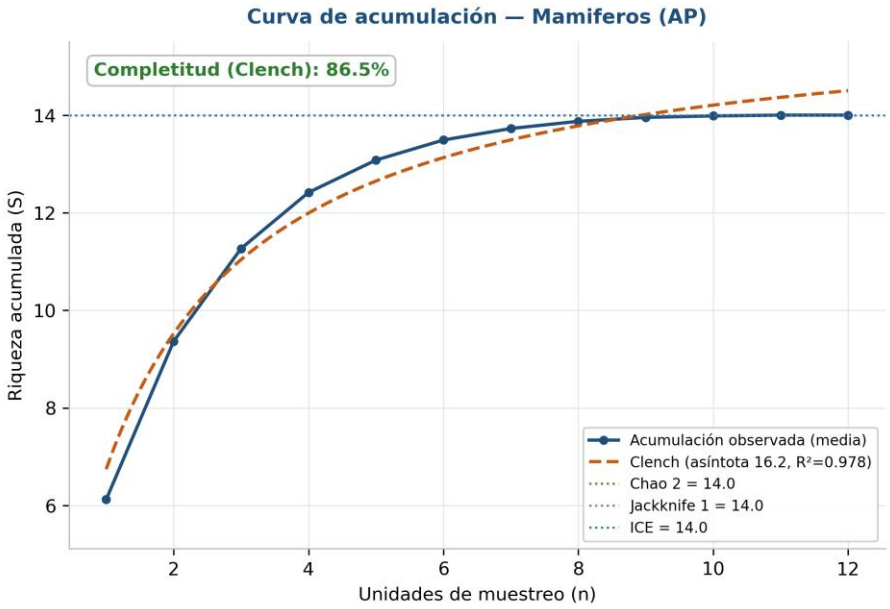


Figura 77. Curva de acumulación del grupo Mamíferos en el Área del Proyecto. Catorce especies; completitud del 86.5 %, la más baja de los cuatro grupos.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Los mamíferos dependen menos del transecto y más de las dos cámaras trampa, y la curva lo refleja: su ascenso es **escalonado**, con saltos que corresponden a los registros de fototrampeo, en lugar del ascenso suave de las aves. Chao 1, Chao 2, Jackknife 1 e ICE se estabilizan en 14.00 y la asíntota de Clench queda en 16.19. La completitud del 86.5 %, la menor del predio, no debe leerse como un vacío sino como el límite natural de un grupo de baja densidad y hábitos crípticos en 3.4 ha.

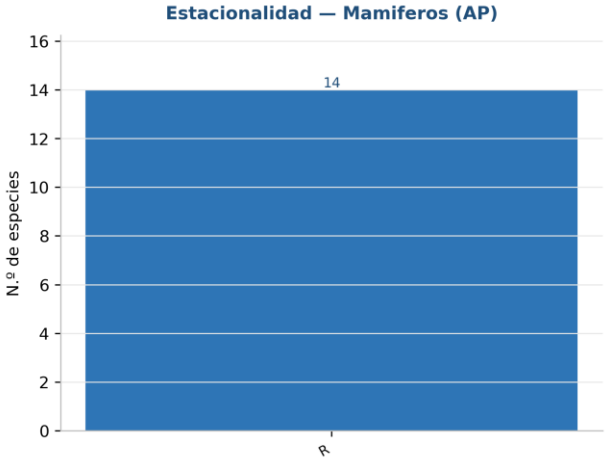


Figura 78. Estacionalidad de las especies de mamíferos del Área del Proyecto. Las catorce especies son residentes.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura muestra una sola categoría: **las catorce especies son residentes permanentes**. No hay componente migratorio ni estacional. La consecuencia operativa es la opuesta a la de las aves: para los

mamíferos **no existe una ventana estacional favorable**, porque están presentes todo el año. El ahuyentamiento y el rescate deben ejecutarse con la misma intensidad en cualquier temporada, y la elección de la ventana de desmonte se decide por otros grupos, no por éste.

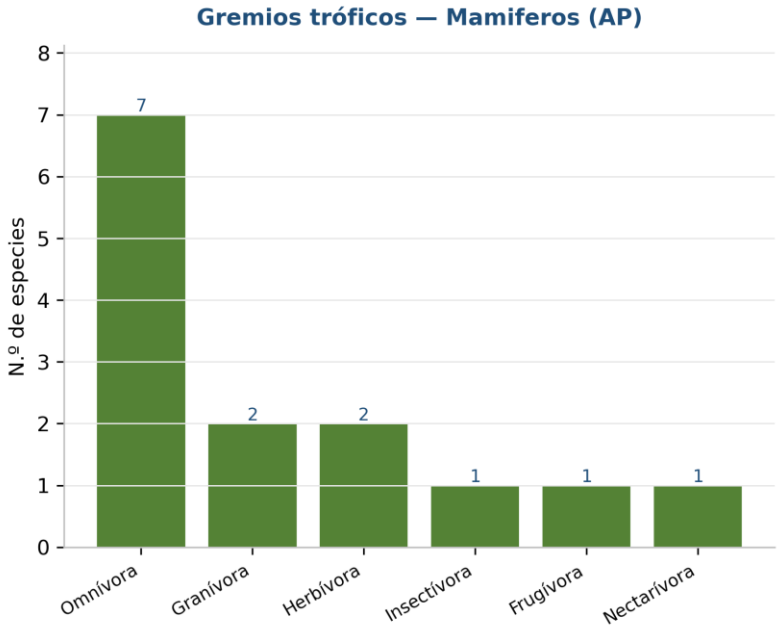


Figura 79. Gremios tróficos de los mamíferos del Área del Proyecto. El gremio omnívoro domina con siete especies.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

A diferencia de las aves, aquí el gremio dominante es el **omnívoro, con siete de las catorce especies** —la mitad del grupo—. El predominio de omnívoros generalistas es un indicador reconocido de ambientes perturbados o de borde: son las especies que mejor toleran la fragmentación y la proximidad humana, porque su dieta flexible las independiza de un recurso concreto. La comunidad de mamíferos del predio no es la de un interior de selva, sino la de un mosaico periurbano.

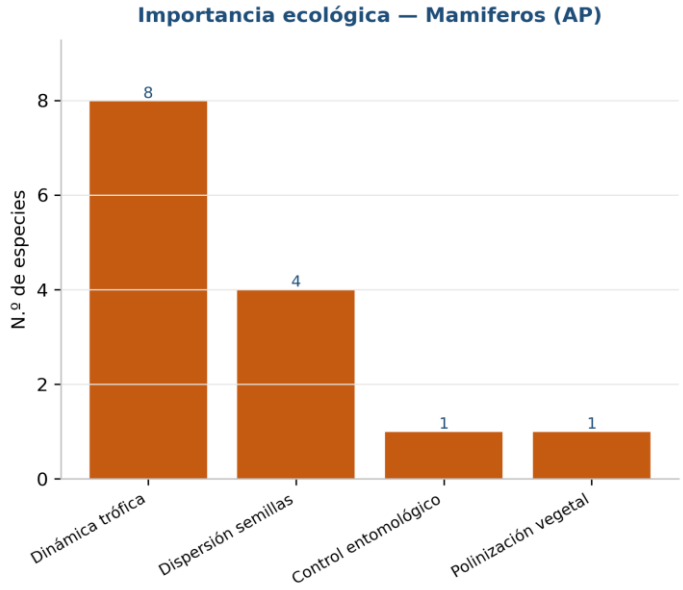


Figura 80. Importancia ecológica de los mamíferos del Área del Proyecto. Ocho especies cumplen funciones de dinámica trófica.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Ocho de las catorce especies participan en la dinámica trófica del sistema, ya sea como consumidoras o como presas, y la figura muestra además dispersoras de semillas y controladoras de roedores. Es una aportación funcional distinta de la de las aves: mientras aquéllas concentran el control entomológico, los mamíferos sostienen la transferencia de energía entre niveles y la dispersión de propágulos de gran tamaño. Ambos servicios se pierden con la remoción, y ninguno se sustituye con el otro.

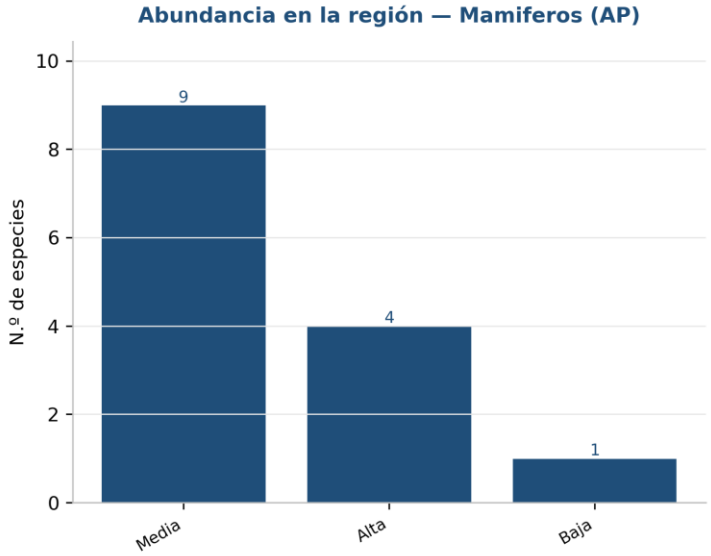


Figura 81. Abundancia regional de las especies de mamíferos registradas en el Área del Proyecto. Nueve especies de abundancia media, cuatro de abundancia alta y una de abundancia baja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Una sola especie de mamífero es de abundancia regional baja, frente a las seis de las aves. La comunidad de mamíferos del predio está formada, casi por completo, por especies comunes en la Región Ecológica, lo que reduce el riesgo de pérdida local irreversible y hace del ahuyentamiento —más que del rescate y la reubicación— la medida adecuada para este grupo. La única especie escasa merece identificación y seguimiento específicos.

III.5.2.8 Fauna — Reptiles

Tabla 64. Índices de diversidad del grupo Reptiles en el Área del Proyecto.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	13	Media	—
Abundancia `N` (eventos)	128	—	Suma de las dos temporadas
Margalef `DMg`	2.47	Media	—
Menhinick `DMn`	1.15	Media	—
Simpson `λ`	0.114	Baja	Dominancia baja
Simpson `1−λ`	0.886	Alta	Comunidad diversa
Berger-Parker `d`	0.188	Baja	Igual que en mamíferos
McIntosh `D`	0.726	Media-alta	—
Shannon `H'`	2.319	Media-alta	—
`H'max`	2.565	—	Máximo teórico con 13 especies
Varianza de `H'`	0.0033	Baja	Estimación estable
Pielou `J'`	0.904	Muy alta	Equidad alta
Brillouin `HB`	2.149	Media	—
Hill N_0 / N_1 / N_2	13 / 10.16 / 8.75	—	10 especies efectivas de 13

Fuente: la misma.

Trece especies, ciento veintiocho eventos y un Pielou de 0.904: la herpetofauna del predio es diversa y equitativa, aunque menos que la avifauna. Es el grupo con **alta abundancia por especie** —9.8 eventos de media, la segunda del predio tras la avifauna—, lo que refleja tanto su detectabilidad diurna como su densidad real en un terreno abierto y soleado.

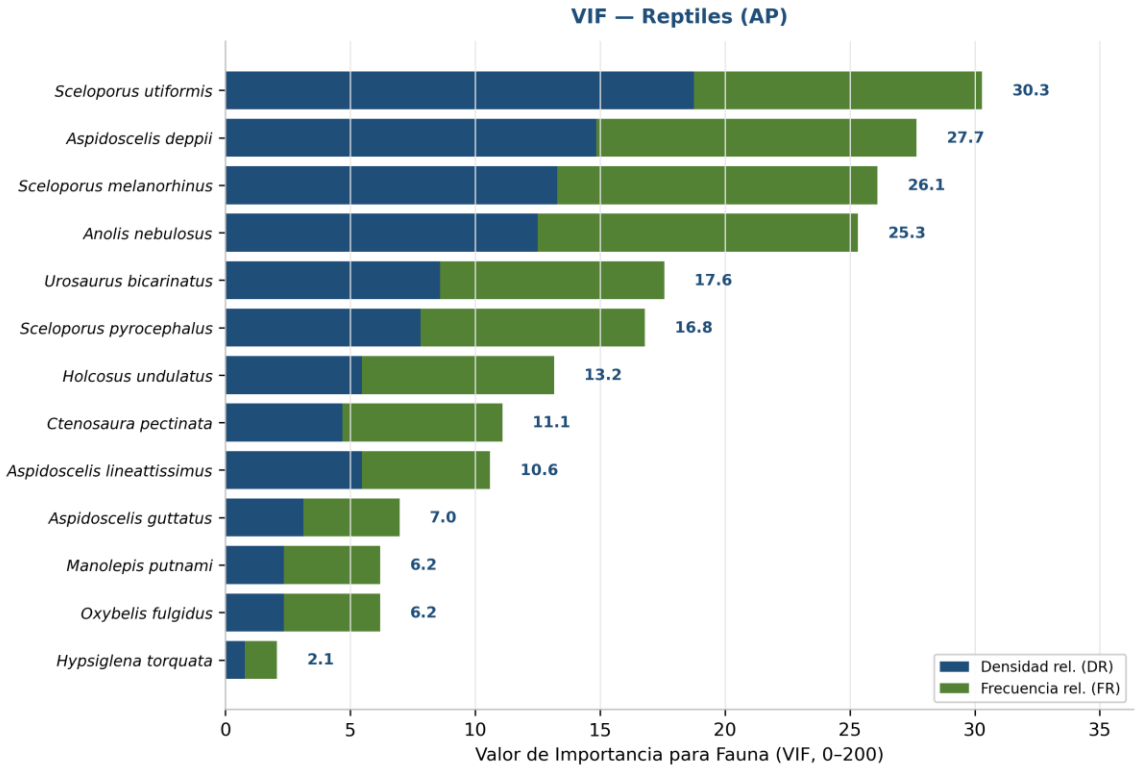


Figura 82. Valor de importancia de fauna del grupo Reptiles en el Área del Proyecto. *Sceloporus utiformis* encabeza con un VIF de 30.3 sobre 200.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El VIF máximo de **30.3** corresponde a *Sceloporus utiformis*, una lagartija espinosa de suelo que no está listada en la NOM-059. Las tres especies protegidas del grupo —*Aspidoscelis lineattissimus*, sujeta a protección especial, *Hypsiglena torquata*, la culebra nocturna, también sujeta a protección especial, y *Ctenosaura pectinata*, amenazada, las tres endémicas— aparecen marcadas con estrella roja en posiciones intermedias y bajas del ranking. **La especie estructuralmente más importante no es la protegida**, lo que separa la prioridad ecológica de la prioridad normativa: el rescate debe atender a las tres endémicas por obligación legal, aunque no sean las que sostienen el ensamble.

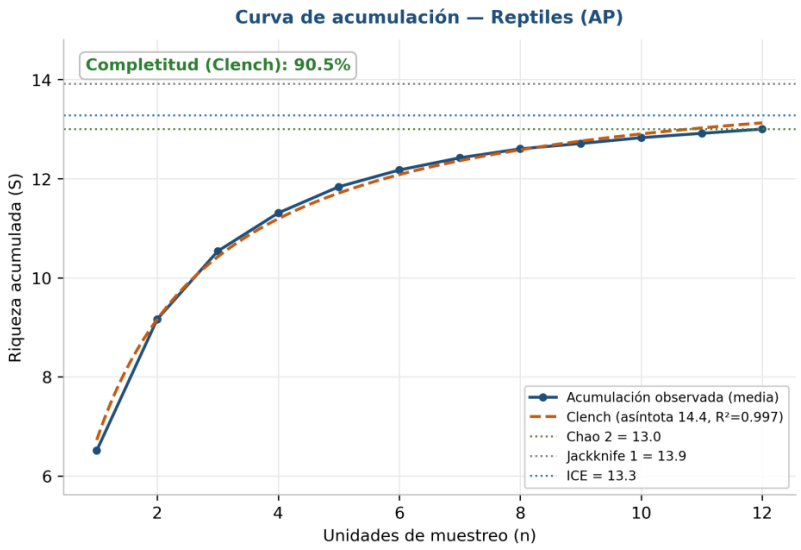


Figura 83. Curva de acumulación del grupo Reptiles en el Área del Proyecto. Trece especies y completitud del 90.5 %, la más alta de los cuatro grupos.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva de los reptiles es la de un inventario **prácticamente cerrado**. Chao 1 y Chao 2 coinciden en 13.00 con la riqueza observada, pero el registro único de la culebra nocturna —un solo avistamiento— eleva levemente los estimadores sensibles a los *singletons*: el ICE llega a 13.28, el Jackknife 1 a 13.92 y la asíntota de Clench a 14.37, de donde sale la completitud del 90.5 %, la más alta de los cuatro grupos. Las trece especies detectadas cubren la herpetofauna del predio, con la reserva de que las **serpientes crípticas —como la propia culebra nocturna, hallada una sola vez— son el grupo con mayor probabilidad de aportar algún registro adicional durante el desmonte.**

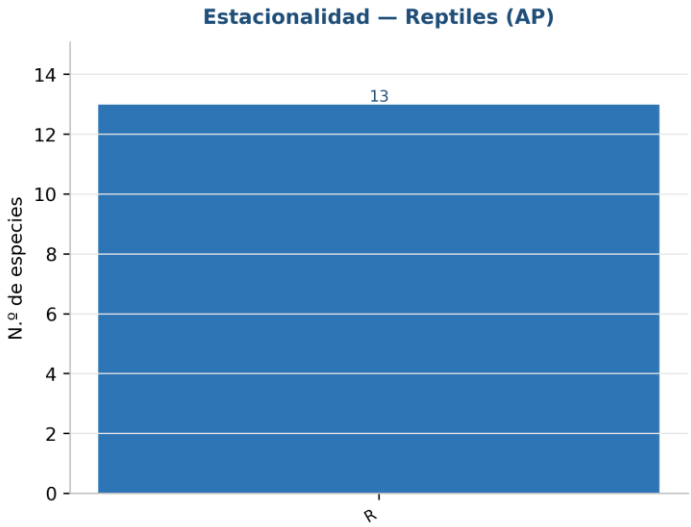


Figura 84. Estacionalidad de las especies de reptiles del Área del Proyecto. Las doce especies son residentes.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Como en los mamíferos, la figura muestra una única categoría: **las doce especies son residentes**. Pero a diferencia de aquéllos, los reptiles sí presentan un fuerte sesgo estacional de *actividad*: sesenta y ocho de sus ciento veintisiete eventos ocurrieron en temporada seca. Residencia permanente y actividad estacional no son lo mismo, y la distinción importa: los reptiles están siempre presentes, pero solo son detectables —y por tanto rescatables— cuando la temperatura los obliga a exponerse.

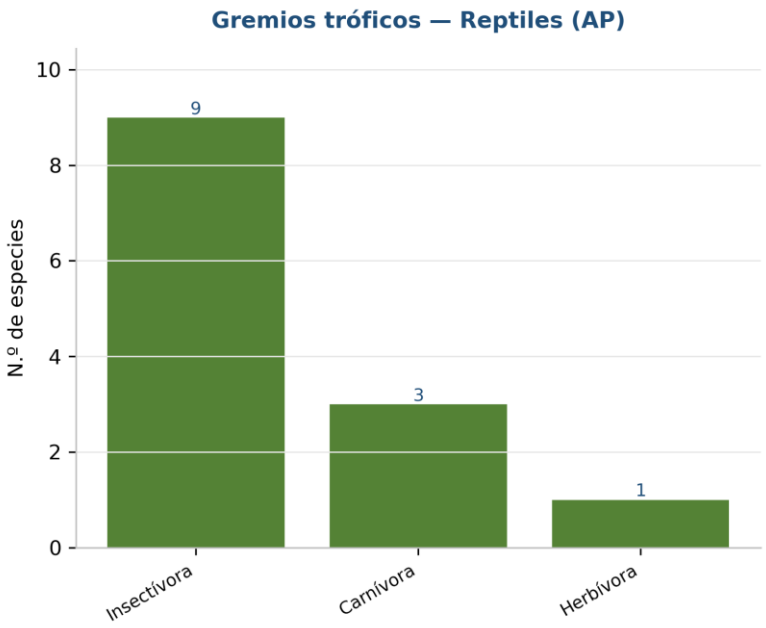


Figura 85. Gremios tróficos de los reptiles del Área del Proyecto. El gremio insectívoro domina con nueve especies.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Nueve de las doce especies son insectívoras, la proporción más alta de cualquier grupo del predio (75 %). La red trófica de los reptiles es, por tanto, la más estrecha: depende casi por completo de la disponibilidad de artrópodos, que a su vez depende de la cubierta herbácea y de la hojarasca. Esta dependencia encadenada explica por qué la remoción del estrato herbáceo —el más abundante del predio— afecta a los reptiles de forma indirecta pero severa, aun antes de que se remueva el arbolado.

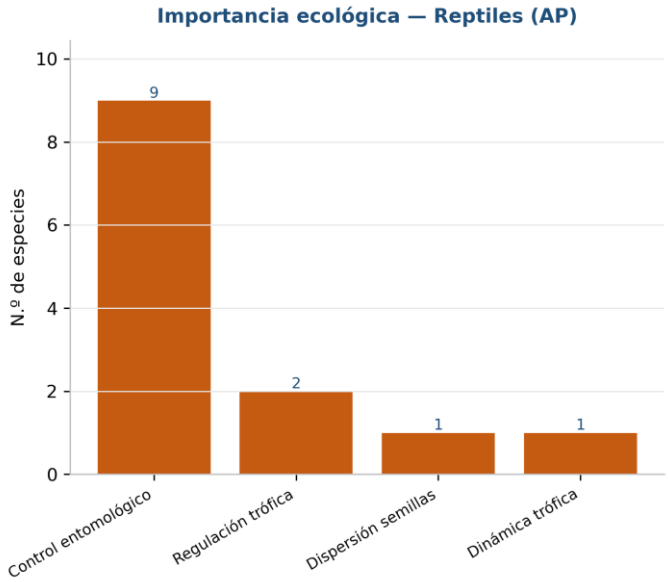


Figura 86. Importancia ecológica de los reptiles del Área del Proyecto. Nueve especies cumplen funciones de control entomológico.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La coincidencia entre gremio trófico e importancia ecológica —nueve insectívoras, nueve controladoras entomológicas— no es una redundancia de la figura, sino una constatación: en los reptiles del predio, la función ecológica se agota en la dieta. No hay dispersoras de semillas ni polinizadoras. **Sumando las**

dieciséis aves y las nueve lagartijas insectívoras, veinticinco de las sesenta y ocho especies de fauna del predio prestan servicio de control entomológico, la función ecológica más representada del sitio.

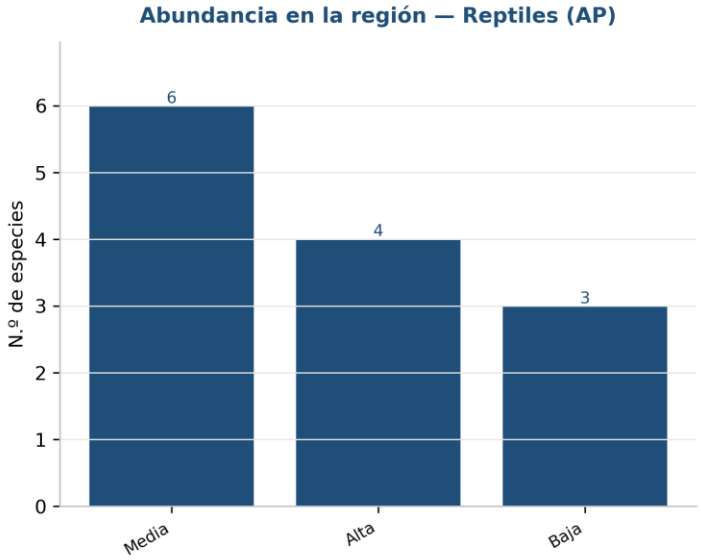


Figura 87. Abundancia regional de las especies de reptiles registradas en el Área del Proyecto. Seis especies de abundancia media, cuatro de abundancia alta y dos de abundancia baja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Dos especies de reptiles son de abundancia regional baja. Junto con las seis aves y el mamífero escasos, conforman las nueve especies del predio cuya pérdida local sería más difícil de revertir por recolonización natural. Cruzando este eje con el de categoría de riesgo se obtiene la lista corta de prioridad del programa de rescate: las especies que son a la vez escasas en la región y protegidas por la NOM-059.

III.5.2.9 Fauna — Anfibios

Tabla 65. Índices de diversidad del grupo Anfibios en el Área del Proyecto.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	2	Muy baja	Grupo marginal en el predio
Abundancia `N` (eventos)	8	—	Todos en temporada húmeda
Margalef `DMg`	0.48	Muy baja	—
Menhinick `DMn`	0.71	Baja	—
Simpson `λ`	0.531	Alta	Dominancia alta
Simpson `1−λ`	0.469	Baja	Diversidad mínima
Berger-Parker `d`	0.625	Alta	Una especie aporta cinco de ocho eventos
McIntosh `D`	0.419	Baja	—
Shannon `H'`	0.662	Muy baja	Limitado por `S` = 2
`H'max`	0.693	—	Máximo teórico con 2 especies
Varianza de `H'`	0.0155	Alta	Estimación poco estable
Pielou `J'`	0.954	Muy alta	Artefacto de `S` = 2
Brillouin `HB`	0.503	Muy baja	—
Hill N_0 / N_1 / N_2	2 / 1.94 / 1.88	—	—

Fuente: la misma.

Con dos especies y ocho eventos, **los índices de este grupo deben interpretarse con extrema cautela**. El Pielou de 0.954 parece indicar equidad casi perfecta, pero es un artefacto: con solo dos especies el índice se satura con facilidad y no informa sobre la estructura de la comunidad. La varianza de Shannon, 0.0155, la segunda más alta del capítulo, lo advierte. Lo único que estos números afirman con solidez es que **la**

comunidad de anfibios del Área del Proyecto es marginal, lo cual es esperable: no hay cuerpo de agua permanente dentro del predio.

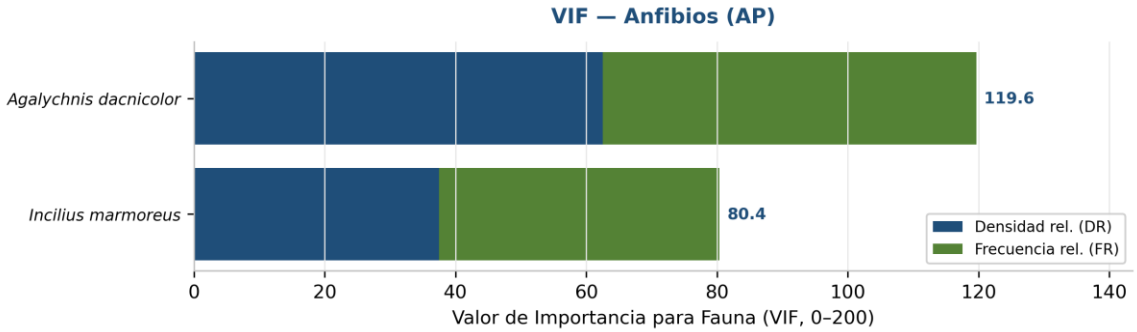


Figura 88. Valor de importancia de fauna del grupo Anfibios en el Área del Proyecto. *Agalychnis dacnicolor* encabeza con un VIF de 119.6 sobre 200.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Con solo dos especies, el VIF se reparte entre ellas y **la ranita verduzca acapara 119.6 de los 200 puntos**: cinco de los ocho eventos y presencia en más recorridos que el sapo jaspeado. El valor no debe compararse con los de otros grupos, porque un VIF alto sobre dos especies no significa dominancia ecológica sino ausencia de competidoras en el registro. *Agalychnis dacnicolor* es **endémica** y está listada en el apéndice II de la CITES: es la especie de anfibio que el programa de rescate debe atender.

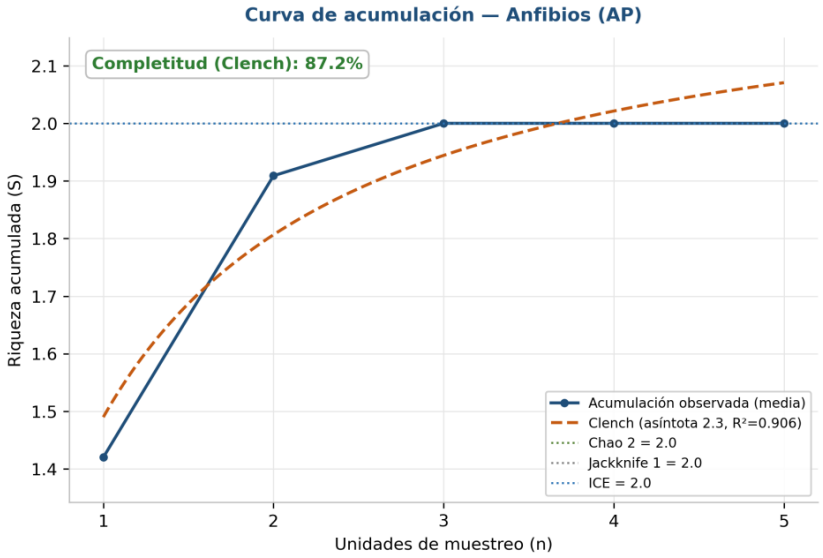


Figura 89. Curva de acumulación del grupo Anfibios en el Área del Proyecto. Dos especies, ocho eventos, todos en temporada húmeda; completitud del 87.2 %.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva es **plana en su primera mitad y salta en la segunda**: los seis recorridos de temporada seca no produjeron un solo registro, y las dos especies aparecieron íntegramente en la húmeda. Esta figura es la evidencia más nítida de la temporada crítica del predio, y se traduce directamente en una restricción operativa: **el desmonte debe programarse en temporada seca**, cuando los anfibios están inactivos y enterrados. La contrapartida es que en esa temporada el ahuyentamiento pierde eficacia sobre ellos y el rescate debe apoyarse en la búsqueda dirigida de refugios.

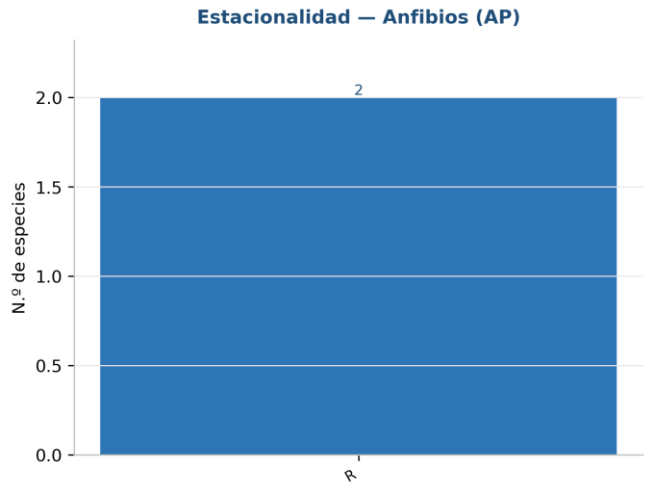


Figura 90. Estacionalidad de las especies de anfibios del Área del Proyecto. Las dos especies son residentes.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura declara **dos especies residentes**, sin componente migratorio, y aquí la distinción entre residencia y actividad alcanza su expresión extrema. Los anfibios del predio residen en él durante los doce meses del año, pero solo son detectables durante cinco. Un levantamiento de una sola temporada, la seca, habría concluido que el predio carece de anfibios. **Es la mejor justificación del requisito de muestrear dos temporadas de un mismo ciclo anual.**

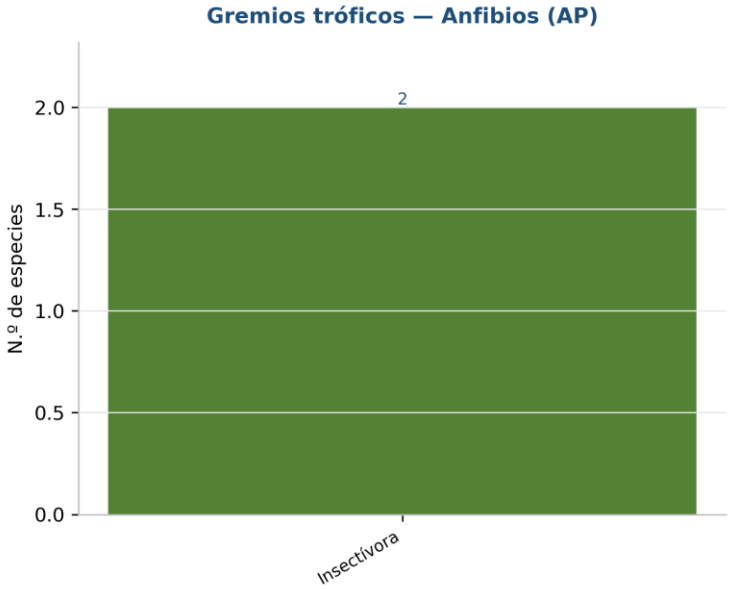


Figura 91. Gremios tróficos de los anfibios del Área del Proyecto. Las dos especies son insectívoras.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Un solo gremio, el insectívoro, para las dos especies. La red trófica de los anfibios del predio es la más simple de todas, y su posición en el sistema es la de consumidores primarios de artrópodos y presa de reptiles y aves. Su desaparición local no altera la red por sustracción de un depredador tope, sino por adelgazamiento de un eslabón intermedio.

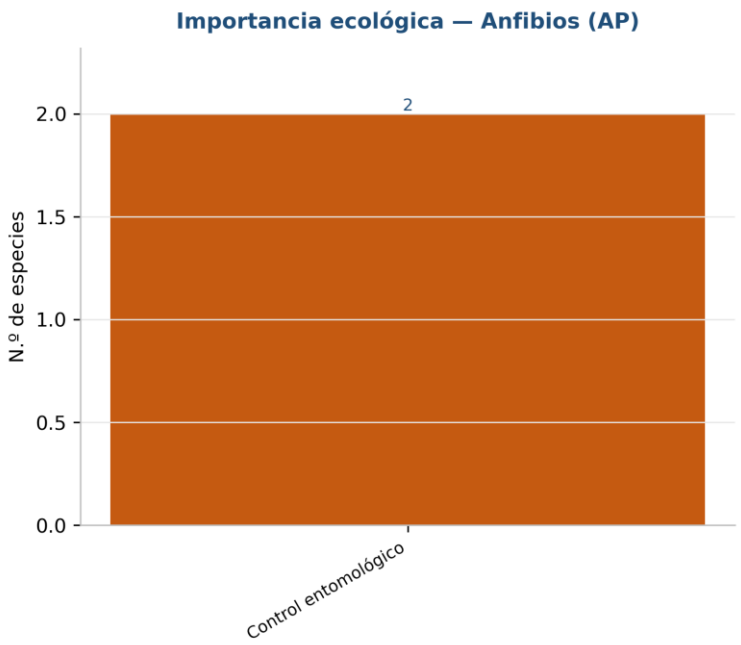


Figura 92. Importancia ecológica de los anfibios del Área del Proyecto. Las dos especies cumplen funciones de control entomológico.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura confirma que las dos especies aportan **control entomológico**, sumándose a las dieciséis aves y las nueve lagartijas con la misma función. Más relevante que su aportación cuantitativa —marginal, con ocho eventos— es su valor como **bioindicadoras**: la piel permeable de los anfibios los hace especialmente sensibles a la contaminación del suelo y del agua, de modo que su presencia acredita que el predio no está químicamente degradado, pese a su condición de vegetación secundaria en borde urbano.

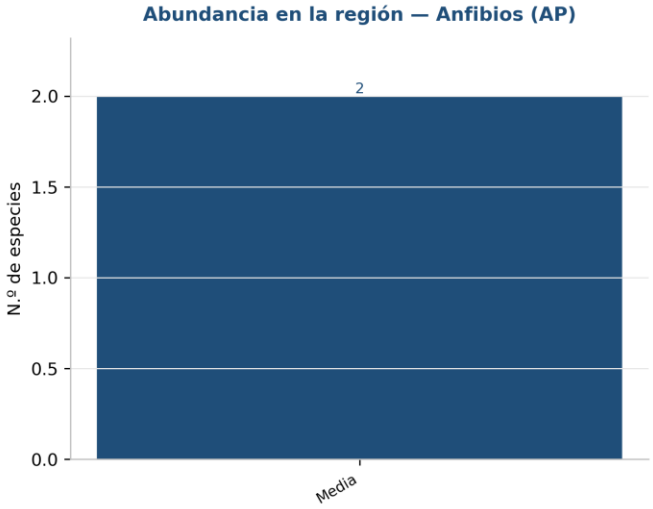


Figura 93. Abundancia regional de las especies de anfibios registradas en el Área del Proyecto. Ambas especies son de abundancia regional media.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Las dos especies son de **abundancia regional media**: ninguna es rara en la microcuenca y ninguna es abundante. Esa posición intermedia, combinada con el endemismo y la inclusión en la CITES de *Agalychnis dacnicolor*, sitúa a los anfibios en una prioridad de rescate media-alta: no están al borde de la desaparición

local, pero tampoco recolonizarán el predio de compensación con facilidad si no se les provee un refugio húmedo.

III.5.2.10 Fauna — análisis integrado del Área del Proyecto

Tabla 66. Comparativa de índices de diversidad entre los grupos faunísticos del Área del Proyecto.

Grupo	`S`	`N`	`DMg`	`DMn`	`λ`	`1−λ`	`d`	`D`	`H'`	`Var H'`	`J'`	`HB`	`$N_0$`	`$N_1$`	`$N_2$`	VIF dominante	Completitud (%)	Especies en NOM-059
Aves	39	448	6.22	1.84	0.035	0.965	0.078	0.853	3.501	0.0008	0.956	3.331	39	33.16	28.51	*Zenaida asiatica* (12.6)	89.3	2
Mamíferos	14	95	2.85	1.44	0.094	0.906	0.189	0.773	2.503	0.0036	0.949	2.268	14	12.22	10.63	*Notocitellus annulatus* (32.6)	86.5	0
Reptiles	13	128	2.47	1.15	0.114	0.886	0.188	0.726	2.319	0.0033	0.904	2.149	13	10.16	8.75	*Sceloporus utiformis* (30.3)	90.5	3
Anfibios	2	8	0.48	0.71	0.531	0.469	0.625	0.419	0.662	0.0155	0.954	0.503	2	1.94	1.88	*Agalychnis dacnicolor* (119.6)	87.2	0

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto — índices de diversidad (Anexo I), completitud del inventario (Anexo H) y listado de especies con categoría NOM-059 (Anexo G). Las cinco especies del predio en la NOM-059 son Accipiter striatus y Eupsittula canicularis (aves) y Aspidoscelis lineattissimus, Ctenosaura pectinata e Hypsiglena torquata (reptiles).

La tabla ordena los cuatro grupos y responde las preguntas del análisis integrado. **La mayor riqueza y la mayor diversidad son de las aves** (`S` = 39, `H'` = 3.501). **La mayor equidad también es de las aves** (`J'` = 0.956), seguida muy de cerca por anfibios (0.954, artefactual) y mamíferos (0.949). **La mayor dominancia es de los anfibios** (`d` = 0.625), pero sobre dos especies, de modo que la dominancia ecológicamente significativa corresponde a los mamíferos (0.189) y los reptiles (0.188), prácticamente empatados. **La mayor proporción de especies en riesgo es de los reptiles**: tres de trece, el 23.1 %, contra dos de treinta y nueve en aves.

Los índices son coherentes entre sí: en los cuatro grupos, un Berger-Parker bajo se acompaña de un Pielou alto y de un Simpson `1−λ` alto. El único caso que exige matiz es el de los anfibios, donde `S` = 2 distorsiona a Pielou.

III.5.3 Área de Influencia

De las 216.62 ha del Área de Influencia, 145.27 ha (67.06 %) son zona urbana, 52.40 ha (24.19 %) son pastizal inducido y solo 18.95 ha (8.75 %) conservan selva baja caducifolia. El levantamiento biológico de esta escala se ejecutó sobre esa fracción arbolada: los **cuatro sitios de flora** caen dentro de dos polígonos de selva baja —de 4.50 y 3.50 ha— y los **dos transectos de fauna** discurren íntegramente sobre selva baja. Los índices que siguen describen, por tanto, el **remanente forestal del Área de Influencia**, no su matriz urbana. Es una distinción que gobierna la lectura de todo el apartado: cuando el remanente resulta más rico y más equitativo que el Área del Proyecto, lo que se compara no son dos territorios equivalentes, sino un fragmento de selva contra un predio completo destinado a la remoción.

El esfuerzo de muestreo es menor que el del Área del Proyecto: cuatro sitios de flora frente a quince, y seis recorridos de fauna —dos en temporada seca y cuatro en húmeda— frente a doce. A esta escala **no se construyen curvas de acumulación**: la completitud del inventario se evalúa sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y de la Región Ecológica, y se reporta en el apartado de esta última. Por esa razón las tablas comparativas de este bloque no incluyen columna de completitud, y ninguna afirmación sobre suficiencia de inventario se formula aquí.

III.5.3.1 Flora — estrato arbóreo y regeneración (hectárea-tipo)

Tabla 67. Abundancia del estrato arbóreo y regeneración del Área de Influencia (hectárea-tipo).

Especie	Nombre común	Distribución	NOM-059	CITES	UICN	Abundancia (ind·ha⁻¹)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Frecuencia †
Apoplanesia paniculata	Llora sangre	Nativa	No listada	—	LC	775.00	21.5	Dominante	3
Guazuma ulmifolia	Guásima	Nativa	No listada	—	LC	450.00	12.5	Abundante	6
Acacia cochliacantha	Espino blanco	Nativa	No listada	—	LC	235.00	6.5	Común	6
Pithecellobium dulce	Guamúchil	Nativa	No listada	—	LC	210.00	5.8	Común	6
Cordia alliodora	Botoncillo	Nativa	No listada	—	LC	200.00	5.5	Común	3
Trichilia americana	Cola de zorra	Endémica	No listada	—	LC	200.00	5.5	Común	3
Lonchocarpus eriocarinalis	Cuero de indio	Endémica	No listada	—	LC	150.00	4.2	Escasa	2
Albizia tomentosa	Parotilla morada	Nativa	No listada	—	—	145.00	4.0	Escasa	4
Swietenia humilis	Cóbano	Nativa	No listada	II	EN	125.00	3.5	Escasa	2
Cordia elaeagnoides	Barcino	Endémica	No listada	—	LC	100.00	2.8	Escasa	1
Cordia dentata	Tamborcillo	Nativa	No listada	—	LC	85.00	2.4	Escasa	3
Senna atomaria	Vainillo	Nativa	No listada	—	LC	80.00	2.2	Escasa	3
Bursera grandifolia	Papelillo verde	Endémica	No listada	—	LC	50.00	1.4	Escasa	2
Albizia occidentalis	Parotilla china	Nativa	No listada	—	—	50.00	1.4	Escasa	2
Morisonia americana	Zapotillo de cerro	Nativa	No listada	—	LC	50.00	1.4	Escasa	2
Amphipterygium adstringens	Cuachalalate	Nativa	No listada	—	VU	50.00	1.4	Escasa	2
Enterolobium cyclocarpum	Parota	Nativa	No listada	—	LC	30.00	0.8	Escasa	2
Zanthoxylum arborescens	Zorrillo	Endémica	No listada	—	LC	30.00	0.8	Escasa	2
Casearia corymbosa	Chamizo	Nativa	No listada	—	LC	30.00	0.8	Escasa	2
Roseodendron donnell-smithii	Primavera	Nativa	No listada	II	LC	25.00	0.7	Escasa	3
Xylosma panamensis	Huizcorón	Nativa	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Sideroxylon capiri	Capire	Nativa	**A**	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Astronium graveolens	Culebro	Nativa	**A**	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Styrax ramirezii	Azajar	Nativa	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1

Especie	Nombre común	Distribución	NOM-059	CITES	UICN	Abundancia (ind·ha⁻¹)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Frecuencia †
Platymiscium lasiocarpum	Granadillo	Endémica	**P**	—	EN	25.00	0.7	Escasa	1
Delonix regia	Tabachín	Exótica	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Leucaena leucocephala	Guajillo hoja grande	Endémica	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Cedrela odorata	Cedro rojo	Endémica	**Pr**	II	VU	25.00	0.7	Escasa	1
Bursera copallifera	Copal	Endémica	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Azadirachta indica	Neem	Exótica invasora	No listada	—	—	25.00	0.7	Escasa	1
Sideroxylon persimile	Huizilacate negro	Nativa	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Spondia mombin	Jobo	Nativa	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Stemmadenia tomentosa	San Antonio	Endémica	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Diphysa americana	Hormiguillo	Nativa	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Ficus velutina	Zalate	Nativa	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Gyrocarpus jatrophifolius	Rebelero	Nativa	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Hura polyandra	Habillo	Nativa	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Ipomoea murucoides	Ozote	Endémica	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Nectandra salicifolia	Aguacatillo	Nativa	No listada	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Sapium macrocarpum	Higuerilla amatillo	Nativa	**A**	—	LC	25.00	0.7	Escasa	1
Tamarindus indica	Tamarindo	Exótica	No listada	—	—	25.00	0.7	Escasa	1
Parmentiera aculeata	Chote	Nativa	No listada	—	LC	5.00	0.1	Escasa	1
Crateva tapia	Bulillo	Nativa	No listada	—	LC	5.00	0.1	Escasa	1
Heliocarpus terebinthinaceus	Majahua	Nativa	No listada	—	LC	5.00	0.1	Escasa	1
Total						**3,610.0**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). La abundancia relativa se obtiene del cociente entre la abundancia de cada especie y el total de 3,610.0 ind·ha⁻¹; su valor máximo, 21.5 %, reproduce el índice de Berger-Parker de 0.215 que el motor reporta para este estrato, lo que confirma la lectura de la tabla. Categorías de la NOM-059: `P` en peligro de extinción, `A` amenazada, `Pr` sujeta a protección especial. † La frecuencia de la hectárea-tipo es la suma de los sitios en que la especie aparece como adulto y de aquellos en que aparece como renuevo, de modo que su máximo es 8 y no 4.

Cuarenta y cuatro especies leñosas, más del doble que las dieciocho del Área del Proyecto, sobre una abundancia de 3,610 ind·ha⁻¹. El remanente forestal del Área de Influencia es un rodal genuinamente rico, y su composición es la de una selva baja caducifolia bien conservada: **treinta especies nativas, once endémicas** —el 25 % de la riqueza— y solo tres exóticas —el tabachín, el tamarindo y el neem, esta última invasora—, todas marginales, con un individuo cada una. La carga normativa es notable y contrasta con el predio: **cinco especies del estrato están listadas en la NOM-059** —el culebro, el capire y la higuerilla

amatillo como amenazadas, el cedro rojo sujeto a protección especial y el **granadillo, *Platymiscium lasiocarpum*, en peligro de extinción**, la categoría más severa de la norma—. Tres figuran en el apéndice II de la CITES —cóbano, primavera y cedro rojo— y cuatro están amenazadas o en peligro según la UICN.

La dominancia recae en *Apoplanesia paniculata*, el llora sangre, con 775 ind·ha⁻¹ y el 21.5 % de la abundancia, pese a registrarse en solo tres de las ocho lecturas de frecuencia. Esa combinación —muchos individuos concentrados en pocos sitios— anticipa lo que el índice de valor de importancia confirmará: se trata de un banco de renuevos, no de una población de adultos estructurantes. Tras las once especies más abundantes, el estrato despliega una **cola larga de treinta y dos especies con 50 ind·ha⁻¹ o menos**, casi todas registradas en un solo sitio: es la firma de una comunidad diversa muestreada sobre cuatro sitios, donde cada punto aporta especies propias.

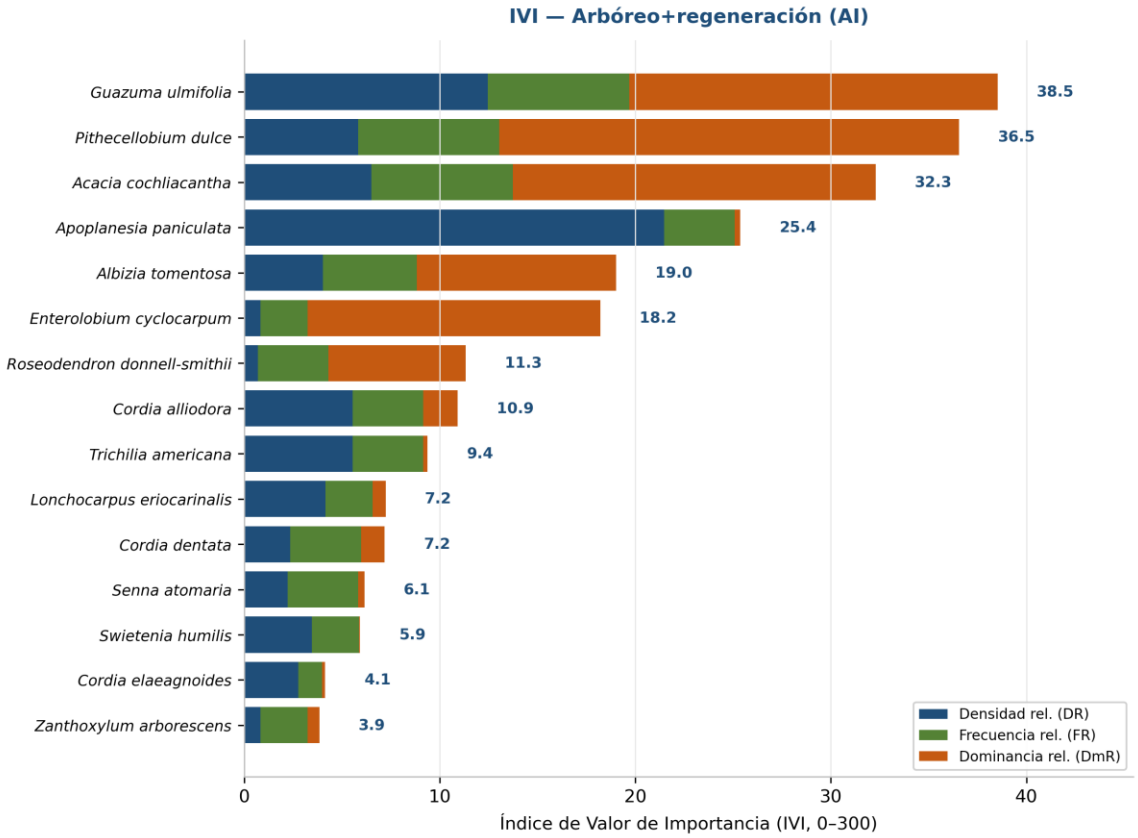


Figura 94. Índice de valor de importancia del estrato arbóreo y regeneración del Área de Influencia, en barras horizontales apiladas por densidad, frecuencia y dominancia relativas. *Guazuma ulmifolia* encabeza con un IVI de 38.5 sobre 300.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

La figura invierte el orden de la tabla y explica por qué. **La guásima encabeza con un IVI de 38.5**, seguida del guamúchil (36.5) y del espino blanco (32.3): las tres reúnen densidad, frecuencia máxima —seis de ocho lecturas— y copas amplias. El llora sangre, primero en abundancia, **cae al cuarto lugar con 25.4**, porque su cobertura de copa suma apenas 5.17 m² de los 1,893.13 m² del estrato: son renuevos. La lectura opuesta la ofrece la **parota**: con el 0.8 % de la abundancia asciende a un IVI de 18.2, sostenido casi por completo por sus 283.5 m² de copa. En un estrato leñoso la abundancia cuenta individuos y el IVI cuenta biomasa aérea; cuando ambos divergen, es el segundo el que describe la estructura del rodal.

El caso del cóbano merece enunciarse aparte. Sus 125 ind·ha⁻¹ soportan una cobertura de copa de **0.98 m² en todo el estrato**, cifra incompatible con la presencia de adultos: en el remanente del Área de Influencia la especie está representada casi exclusivamente por renuevos, y su IVI de 5.9 la sitúa en el tercio inferior. En

el Área del Proyecto, con un IVI de 59.2, es la especie estructurante. La misma especie ocupa dos posiciones ecológicas opuestas a uno y otro lado del límite del predio.

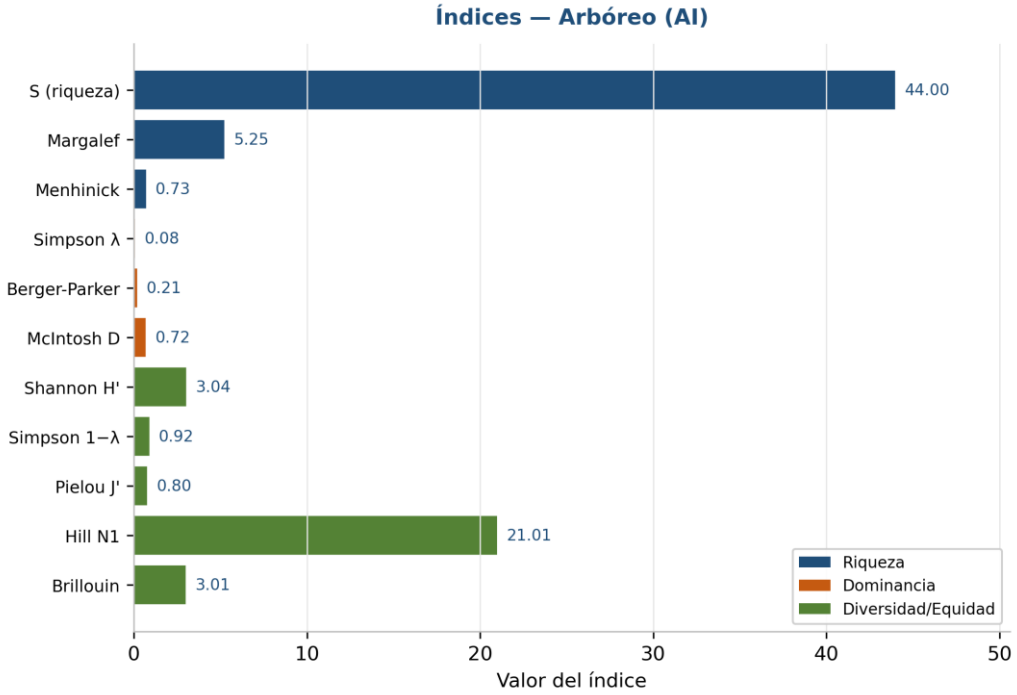


Figura 95. Índices de biodiversidad del estrato arbóreo y regeneración del Área de Influencia (Moreno, 2001): riqueza, dominancia, equidad y números de Hill. La equidad de Pielou de 0.805 y el Berger-Parker de 0.215 describen una comunidad diversa y poco dominada.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

La batería completa sitúa a este estrato muy por encima de su homólogo del predio en todos los ejes. La equidad de Pielou de **0.805** supera a la de 0.719 del Área del Proyecto, y el Shannon de 3.045 al de 2.079. Los números de Hill lo traducen sin ambigüedad: de las cuarenta y cuatro especies presentes, `$N_1$` = 21.01 son efectivas y `$N_2$` = 11.94 verdaderamente abundantes, contra 8.00 y 5.21 en el predio. **El remanente sostiene más del doble de especies efectivas que el polígono a remover.** La varianza de Shannon, 0.0004, es la más baja de toda la flora del Área de Influencia: con 3,610 ind·ha^{-1} la estimación es sólida y no admite el matiz de inestabilidad que sí requieren los estratos siguientes.

III.5.3.2 Flora — estrato arbustivo

Tabla 68. Abundancia del estrato arbustivo del Área de Influencia.

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Citharexylum affine	Cuadrado	Nativa	11	30.6	Dominante	4
Plumbago zeylanica	Aretitos	Nativa	4	11.1	Abundante	2
Tournefortia mutabilis	Huele de noche	Nativa	4	11.1	Abundante	2
Acacia farnesiana	Huizache	Nativa	3	8.3	Común	3
Dalea foliosa	Escobilla	Nativa	3	8.3	Común	1
Celtis iguanaea	Granjeno	Nativa	2	5.6	Común	1

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Rauvolfia tetraphylla	Sarna de perro	Nativa	2	5.6	Común	2
Randia armata	Crucillo	Nativa	1	2.8	Escasa	1
Triumfetta semitriloba	Abrojo	Nativa	1	2.8	Escasa	1
Senna fruticosa	Senna	Nativa	1	2.8	Escasa	1
Urera caracasana	Quemadora caracasana	Nativa	1	2.8	Escasa	1
Guettarda elliptica	Limoncillo tronco de guayabo	Nativa	1	2.8	Escasa	1
Hyperbaena ilicifolia	Gorda dura	Endémica	1	2.8	Escasa	1
Calliandra houstoniana	Calindra rosei	Nativa	1	2.8	Escasa	1
Total			**36**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G), sobre 0.0400 ha muestreadas. Ninguna especie está listada en la NOM-059 ni en la CITES; una, Hyperbaena ilicifolia, es endémica, y otra, el limoncillo (Guettarda elliptica), figura como en peligro crítico en la Lista Roja de la UICN. La abundancia relativa máxima, 30.6 %, reproduce el Berger-Parker de 0.306 que reporta el motor.

Catorce especies y treinta y seis individuos: nueve especies más que el estrato arbustivo del predio, y el doble que las siete de la versión anterior del muestreo. La diferencia decisiva está en el reparto. Aquí el dominante, el cuadrado, retiene el 30.6 % de los individuos; en el Área del Proyecto el huizache retenía el 65.9 %. Y el propio **huizache —la pionera espinosa que gobierna el arbustivo del predio— aquí es la cuarta especie, con tres individuos**. Ocho de las catorce especies aparecen con un solo individuo, y entre ellas hay una **endémica**, la gorda dura, y el limoncillo, catalogado en peligro crítico por la UICN. El estrato arbustivo del remanente no está gobernado por una pionera de terreno abierto, sino por un arbusto de sotobosque sobre una cola larga de especies raras.

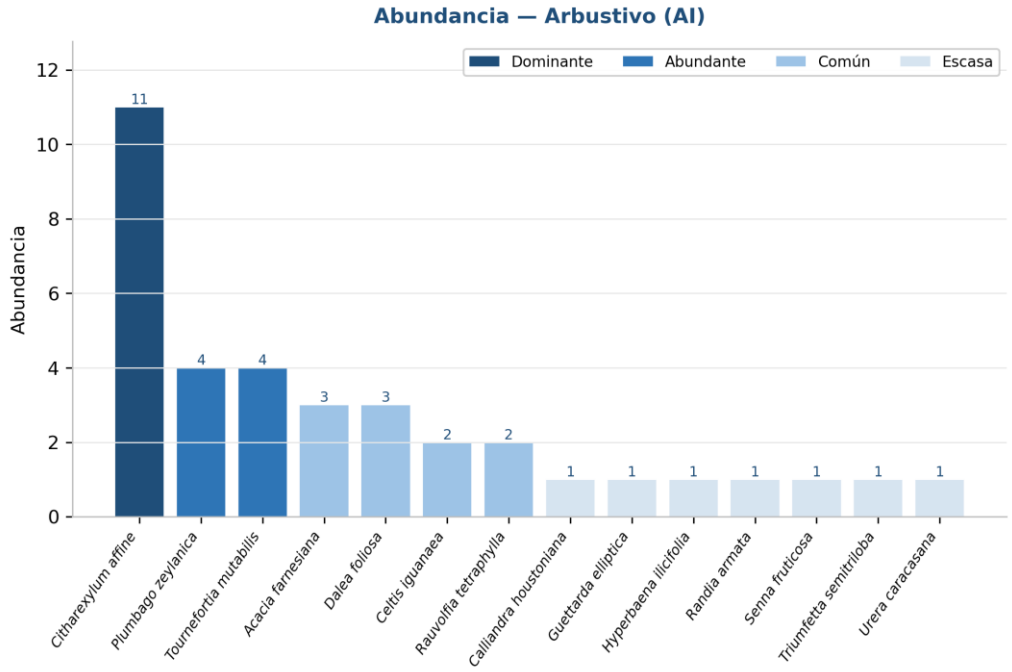


Figura 96. Abundancia por especie del estrato arbustivo del Área de Influencia, ordenada de mayor a menor. *Citharexylum affine* concentra once de los treinta y seis individuos.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

El perfil de barras no cae en picado, como el del predio, sino en escalones: una primera barra de once individuos, dos de cuatro, y una **cola larga de diez especies con dos o un individuo cada una**. Ese reparto es la firma gráfica de la equidad que los índices cuantificarán. El cuadrado, *Citharexylum affine*, es un arbusto de sotobosque tolerante a la sombra, no una colonizadora heliófila; su predominio indica que el remanente conserva dosel suficiente para sostener un estrato inferior estructurado y diverso.

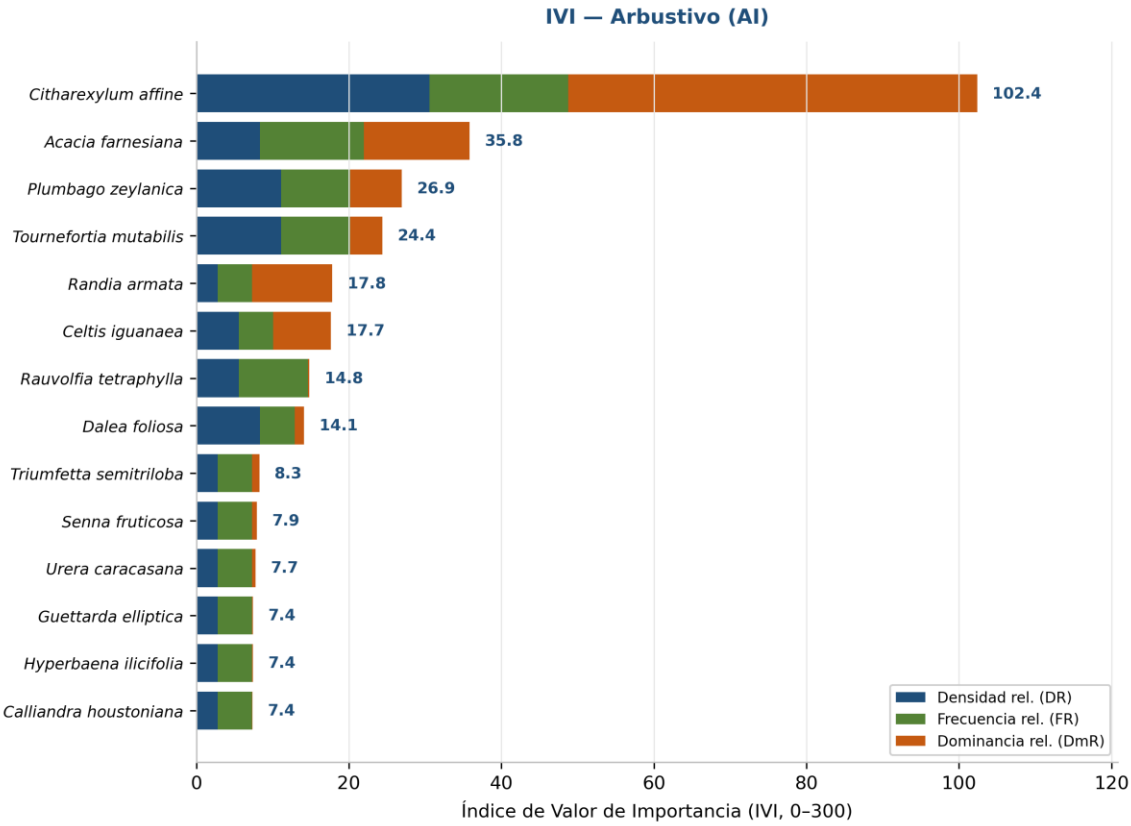


Figura 97. Índice de valor de importancia del estrato arbustivo del Área de Influencia. *Citharexylum affine* alcanza un IVI de 102.4 sobre 300.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Un IVI de **102.4 sobre 300** es alto, pero está a más de cien puntos del 213.3 que el huizache alcanza en el predio: el arbustivo del remanente tiene un líder, no un monopolio. El cuadrado debe su posición a la cobertura y a estar presente en los cuatro sitios. Tras él, el **huizache alcanza el segundo IVI (35.8) con solo tres individuos**, porque aparece en tres sitios: su ubicuidad sobrevive a su escasez. Le siguen los aretitos (26.9) y el huele de noche (24.4). En un estrato de treinta y seis individuos, la presencia en más de un sitio pesa tanto como el número de ejemplares.

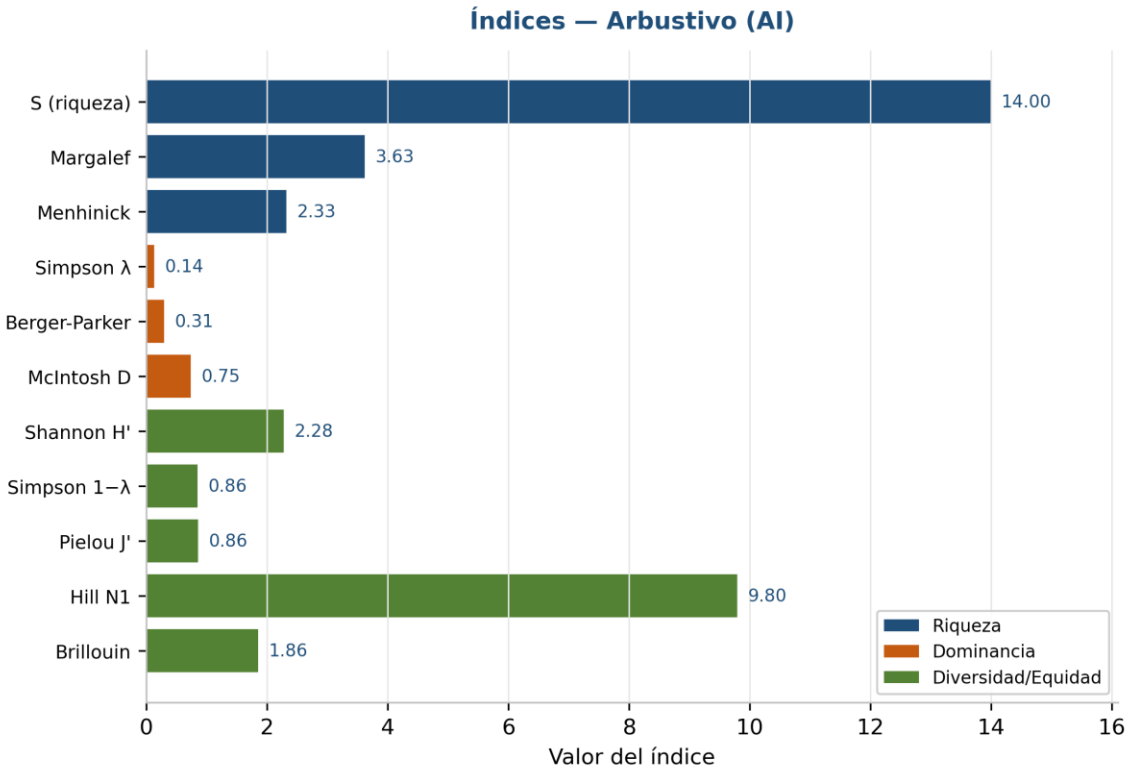


Figura 98. Índices de biodiversidad del estrato arbustivo del Área de Influencia. Con catorce especies, la equidad de Pielou es de 0.865 y los números de Hill descienden hasta `$N_2$` = 6.97.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Los índices confirman la lectura y obligan a una cautela. El Shannon de 2.283 y la equidad de 0.865 superan con holgura los del predio (1.106 y 0.687), y los números de Hill —catorce presentes, 9.80 efectivas, 6.97 abundantes— describen una comunidad diversa y bien repartida. Pero la **varianza de Shannon, 0.0257, es la más alta de la flora del Área de Influencia**: con treinta y seis individuos la estimación es inestable, y ninguna de estas cifras debe sostener por sí sola una conclusión. Lo que sí sostiene la comparación, por ser cualitativo, es la sustitución del dominante: pionera espinosa en el predio, arbusto de sotobosque en el remanente.

III.5.3.3 Flora — estrato de otras formas de vida

Tabla 69. Abundancia del estrato de otras formas de vida del Área de Influencia (trepadoras, epífitas y suculentas).

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Cissus verticillata	Bejuco tripa de vaca	Nativa	12	26.1	Dominante	3
Amphilophium crucigerum	Bejuco lengua de vaca	Nativa	10	21.7	Dominante	3
Celastrus pringlei	Bejuco matapalo	Nativa	7	15.2	Abundante	3
Cynophalla flexuosa	Bejuco margarito	Nativa	7	15.2	Abundante	2
Antigonon flavescens	Zarzal morado	Nativa	6	13.0	Abundante	2
Aristolochia taliscana	Bejuco corchozo	Endémica	4	8.7	Común	2
Total			**46**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). Ninguna especie está listada. El máximo relativo, 26.1 %, reproduce el Berger-Parker de 0.261.

Seis especies, todas trepadoras leñosas, igual que en el predio, pero con una composición distinta y un reparto mucho más parejo. Comparten con el Área del Proyecto el bejuco tripa de vaca, el bejuco lengua de vaca y la endémica *Aristolochia taliscana*; el remanente aporta además el bejuco matapalo y el bejuco margarito, ausentes del predio. **Ninguna especie baja de la clase común**, y el descenso desde 12 hasta 4 individuos es el más suave de los cuatro estratos. Como en el predio, su existencia depende por completo del arbolado que las sostiene.

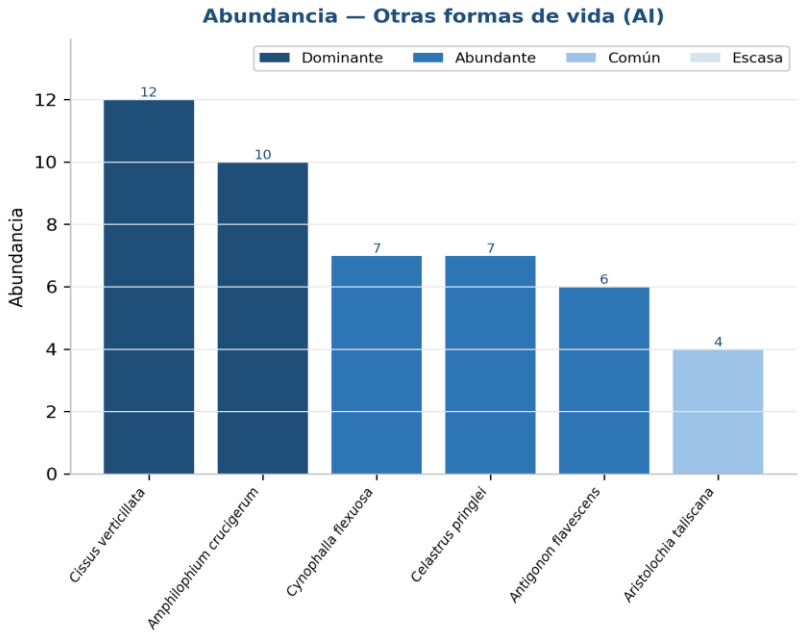


Figura 99. Abundancia por especie del estrato de otras formas de vida del Área de Influencia. Las seis especies se reparten entre 12 y 4 individuos, sin cola de especies escasas.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La gráfica carece de la cola larga que caracteriza a los demás estratos: es una escalera regular de seis peldaños. Dos especies superan el umbral de dominancia de Moreno, pero lo hacen por márgenes estrechos —26.1 % y 21.7 %— frente al 54.8 % que alcanza el bejuco tripa de vaca en el predio. La ausencia de una trepadora hegemónica, unida a la presencia de lianas de interior de bosque como el bejuco matapalo, sugiere un dosel menos abierto que el del Área del Proyecto, cuya cobertura arbórea el motor cifra en 42.85 %.

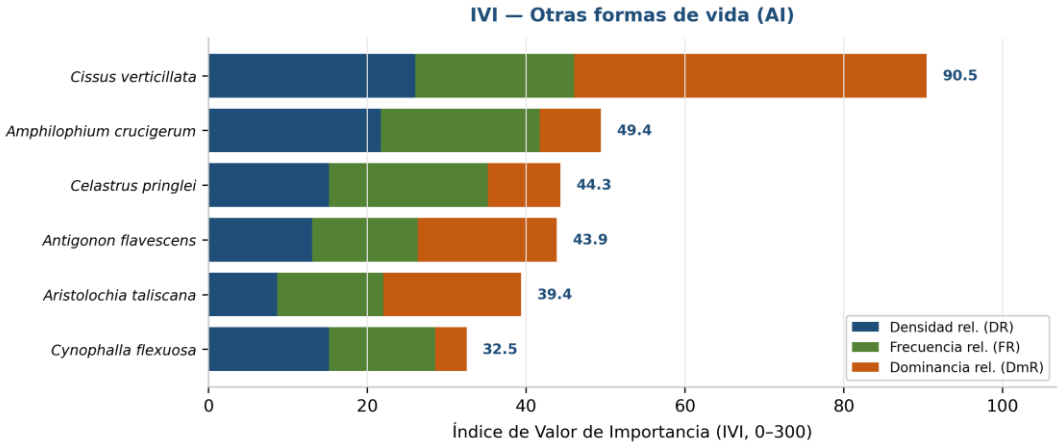


Figura 100. Índice de valor de importancia del estrato de otras formas de vida del Área de Influencia. *Cissus verticillata* alcanza un IVI de 90.5 sobre 300.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El IVI del bejuco tripa de vaca, **90.5**, equivale a poco menos de un tercio del peso estructural del estrato, y contrasta con los 147.6 que la misma especie alcanza en el predio: aquí no llega a la mitad del estrato. Merece atención la posición de la endémica **_Aristolochia taliscana_: última en abundancia con cuatro individuos, asciende al cuarto puesto del IVI con 39.4**, porque su cobertura relativa (17.4) duplica su densidad relativa (8.7). Es el único endemismo no arbóreo del levantamiento, y su peso estructural es mayor de lo que su conteo sugiere.

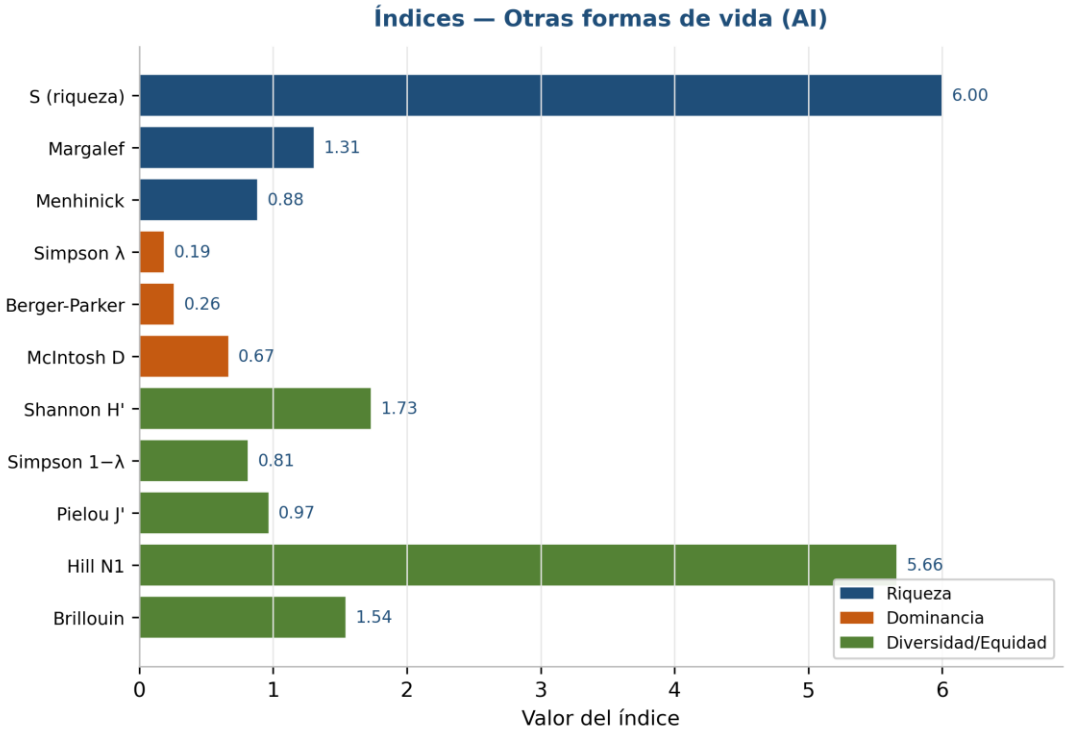


Figura 101. Índices de biodiversidad del estrato de otras formas de vida del Área de Influencia. Seis especies, equidad de Pielou de 0.967 y `$N_2$` = 5.37 de un máximo de 6.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Con una equidad de Pielou de **0.967**, éste es **el estrato más equitativo de todo el capítulo**, por encima incluso de la avifauna. Los números de Hill lo expresan sin ambigüedad: seis especies presentes, 5.66 efectivas y 5.37 verdaderamente abundantes. Prácticamente ninguna especie es marginal. El Shannon de 1.733 está limitado por la riqueza, no por el reparto, y su máximo teórico —1.792— queda a tres centésimas. La varianza de 0.0036 respalda la estimación. Frente al 0.710 de Pielou en el predio, la diferencia no es de riqueza sino de equilibrio.

III.5.3.4 Flora — estrato herbáceo

Tabla 70. Abundancia del estrato herbáceo del Área de Influencia.

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Elytraria imbricata	Cordoncillo	Nativa	29	13.1	Abundante	4
Petiveria alliacea	Arriscale patrás	Nativa	28	12.6	Abundante	4
Dicliptera resupinata	Maleza de las lomas	Nativa	23	10.4	Abundante	4
Sida glabra	Guinar escobero	Nativa	21	9.5	Común	4
Cucurbita argyrosperma	Calabacilla	Nativa	13	5.9	Común	3
Hyptis suaveolens	Chan	Nativa	10	4.5	Escasa	3
Cleome viscosa	Cola de rata	Exótica	10	4.5	Escasa	3

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Malachra fasciata	Malva jamaiquilla	Nativa	10	4.5	Escasa	3
Cynodon dactylon	Grama	**Exótica invasora**	9	4.1	Escasa	3
Gronovia scandens	Arroz de leche	Nativa	9	4.1	Escasa	3
Martynia annua	Uña de gato	Nativa	9	4.1	Escasa	3
Indigofera suffruticosa	Frijolillo vaina	Exótica	8	3.6	Escasa	3
Desmodium tortuosum	Frijolillo	Nativa	8	3.6	Escasa	3
Senna occidentalis	Retama	Nativa	6	2.7	Escasa	3
Sicyos barbatus	Chayotillo tronador	Nativa	6	2.7	Escasa	2
Abutilon trisulcatum	Acapán	Nativa	6	2.7	Escasa	2
Galinsoga parviflora	Manzanilla silvestre	Nativa	5	2.3	Escasa	3
Ipomoea purpurea	Campanilla morada	Endémica	4	1.8	Escasa	2
Momordica charantia	Pepinillo amarillo	**Exótica invasora**	4	1.8	Escasa	2
Macroptilium atropurpureum	Frijolillo fino	Nativa	2	0.9	Escasa	1
Panicum maximum	Pasto tanzania	**Exótica invasora**	2	0.9	Escasa	1
Total			**222**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G), sobre 0.0020 ha muestreadas. El máximo relativo, 13.1 %, reproduce el Berger-Parker de 0.131.

Veintiuna especies y **ninguna alcanza la clase dominante**: es el único estrato del levantamiento en que el umbral del 20 % queda desierto. Tres especies nativas encabezan la lista con abundancias casi idénticas —29, 28 y 23 individuos— y el descenso hasta las dos últimas es paulatino. Las **tres exóticas invasoras del predio reaparecen aquí** —grama, pepinillo amarillo y pasto tanzania— pero suman **quince individuos, el 6.8 % de la abundancia herbácea, contra el 15.0 % que alcanzan en el Área del Proyecto**. Se registran además dos exóticas no invasoras, la cola de rata y el frijolillo vaina, y una endémica, la campanilla morada.

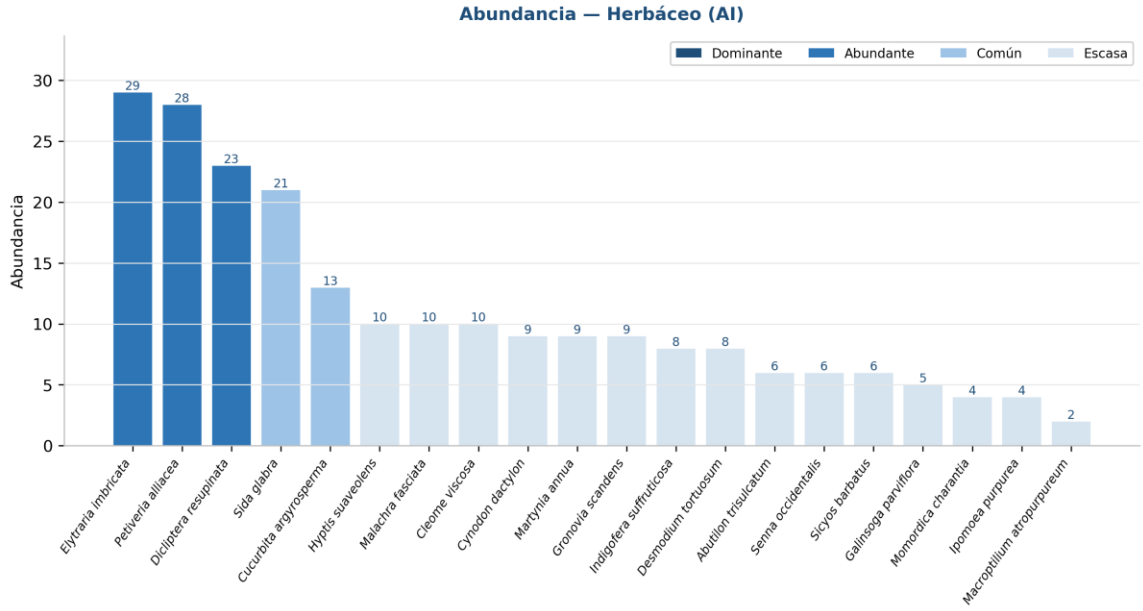


Figura 102. Abundancia por especie del estrato herbáceo del Área de Influencia. El descenso desde 29 hasta 2 individuos es gradual y sin escalones.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura muestra la distribución más plana del capítulo: veintiuna barras que descienden sin ruptura, sin el pico único del arbustivo ni la codominancia del herbáceo del predio. Lo que la gráfica permite ver, y la tabla solo insinúa, es que **las cuatro primeras barras son todas nativas** y que la primera exótica —la cola de rata— no aparece hasta la séptima posición. En el Área del Proyecto esa misma especie ocupa el segundo lugar en abundancia y el primero en valor de importancia. La presión de las exóticas sobre el estrato herbáceo se atenúa al cruzar el límite del predio.

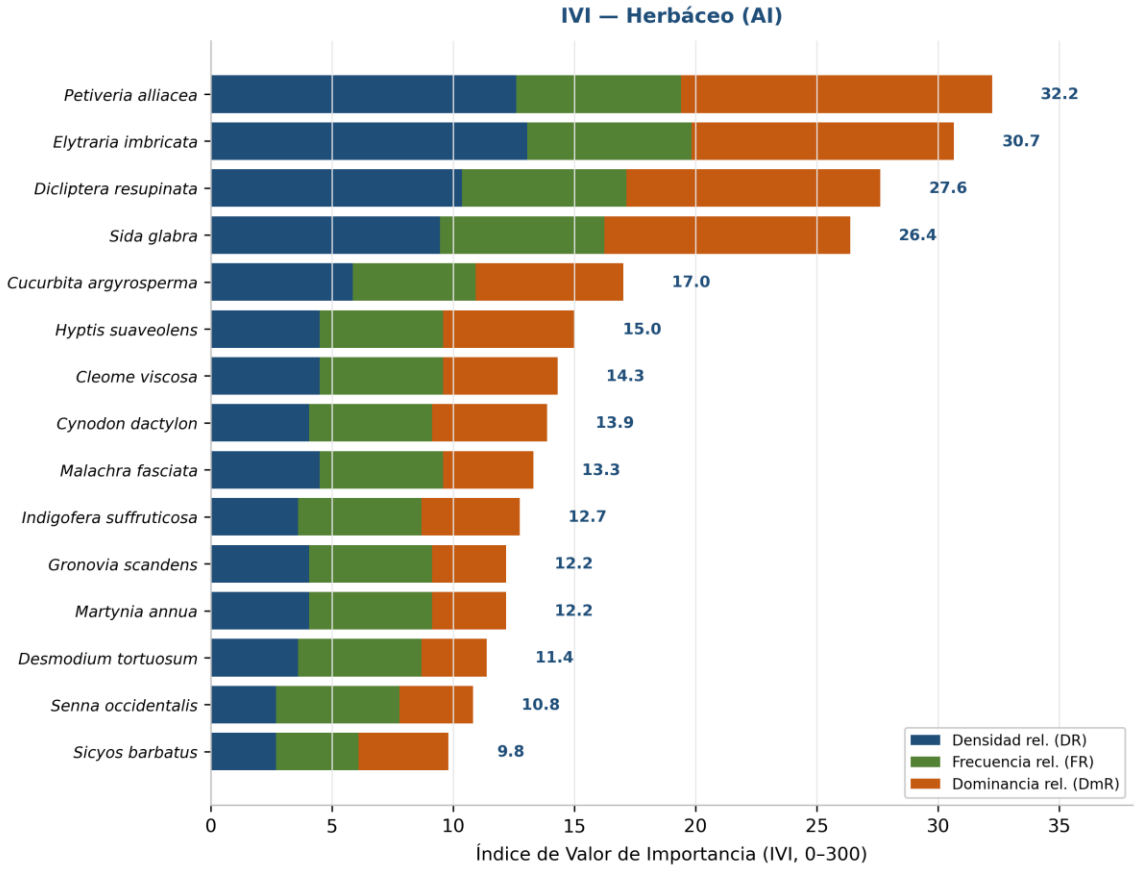


Figura 103. Índice de valor de importancia del estrato herbáceo del Área de Influencia. *Petiveria alliacea* encabeza con un IVI de 32.2 sobre 300, pese a no ser la más abundante.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El desacople se repite, pero con el signo invertido respecto del predio. Allí la especie de mayor valor de importancia era *Cleome viscosa*, **una exótica**; aquí es *Petiveria alliacea*, **una nativa**, con un IVI de 32.2 que debe a su cobertura (12.8 puntos de dominancia relativa) más que a su densidad. El cordoncillo, más abundante, la sigue con 30.7. La cola de rata, primera en importancia en el Área del Proyecto con 40.1, aquí cae al séptimo puesto con 14.3. **La misma exótica que estructura el herbáceo del predio es, en el remanente, una especie más de la cola.**

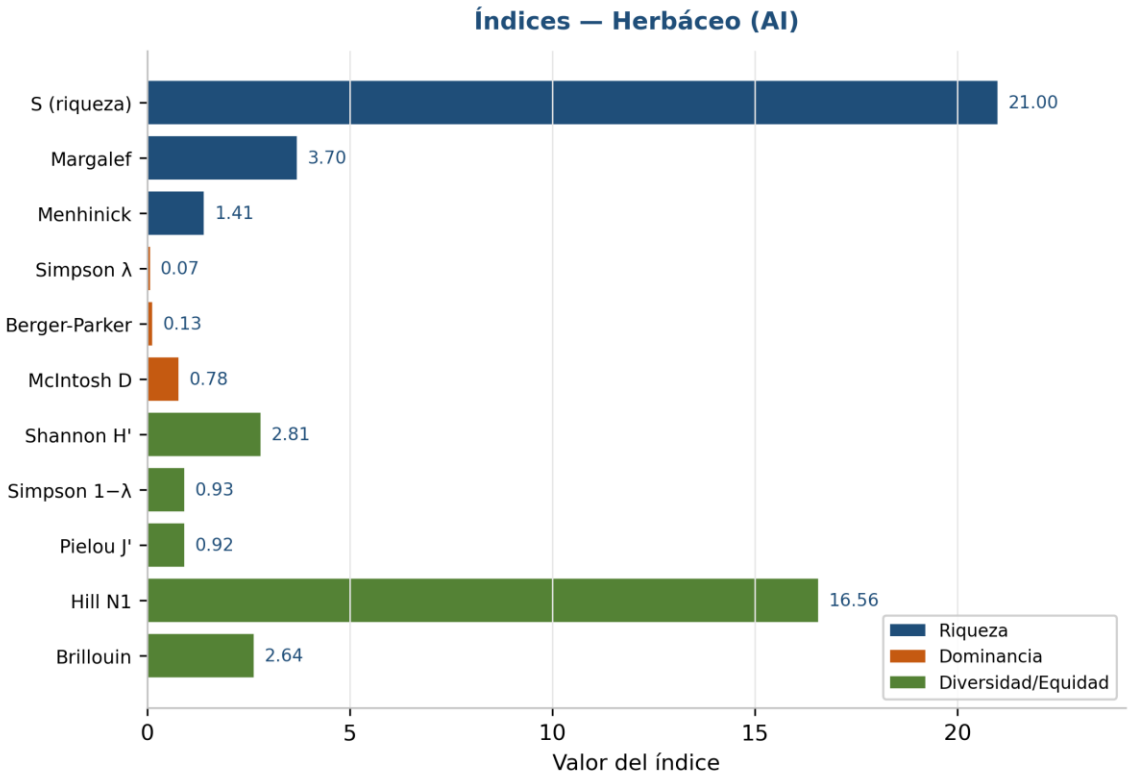


Figura 104. Índices de biodiversidad del estrato herbáceo del Área de Influencia. Es el estrato de mayor riqueza (21), mayor Shannon (2.807) y menor dominancia (Berger-Parker 0.131).

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Todos los índices son mutuamente coherentes y todos superan a los del predio. El Shannon de 2.807 es el más alto de la flora del Área de Influencia; la equidad de Pielou, 0.922, es la segunda del capítulo tras el estrato de trepadoras; el Simpson de 0.927 y el Berger-Parker de 0.131 confirman una dominancia mínima. Los números de Hill son elocuentes: `$N_0$` = 21, `$N_1$` = 16.56 y `$N_2$` = 13.66, de modo que **dos de cada tres especies herbáceas son efectivamente abundantes**, contra poco más de una de cada tres en el predio. La varianza de 0.0022, sobre 222 individuos, sostiene la estimación.

III.5.3.5 Flora — análisis integrado del Área de Influencia

Tabla 71. Comparativa de índices de diversidad entre los estratos de flora del Área de Influencia.

Estrato	`S`	`N`	`DMg`	`DMn`	`λ`	`1−λ`	`d` (Berger-Parker)	`D` (McIntosh)	`H'`	`H'max`	`Var H'`	`J'`	`HB` (Brillouin)	`$N_0$`	`$N_1$`	`$N_2$`	IVI dominante
Arbóreo + regeneración	44	3,610	5.25	0.73	0.084	0.916	0.215	0.723	3.045	3.784	0.0004	0.805	3.012	44	21.01	11.94	*Guazuma ulmifolia* (38.5)
Herbáceo	21	222	3.70	1.41	0.073	0.927	0.131	0.782	2.807	3.045	0.0022	0.922	2.636	21	16.56	13.66	*Petiveria alliacea* (32.2)
Otras formas de vida	6	46	1.31	0.88	0.186	0.814	0.261	0.667	1.733	1.792	0.0036	0.967	1.545	6	5.66	5.37	*Cissus verticillata* (90.5)
Arbustivo	14	36	3.63	2.33	0.144	0.856	0.306	0.745	2.283	2.639	0.0257	0.865	1.858	14	9.80	6.97	*Citharexylum affine* (102.4)

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I). La abundancia del estrato arbóreo se expresa en ind·ha $^{-1}$; la de los demás, en individuos sobre el área muestreada. No se incluye columna de completitud: a esta escala no se ajustan curvas de acumulación.

La tabla ordena los cuatro estratos del remanente y responde las preguntas del análisis integrado. **La mayor riqueza corresponde al arbóreo** (44 especies), más del doble que el herbáceo (21) —lo contrario de lo que ocurre en el predio, donde el herbáceo supera al leñoso—. **La mayor diversidad efectiva es también del**

arbóreo (`$N_1$` = 21.01). **La mayor equidad es del estrato de trepadoras** (`J'` = 0.967), y no del herbáceo, a diferencia del predio. **La mayor dominancia es del arbustivo** (`d` = 0.306), seguido de las trepadoras (0.261) y el arbóreo (0.215).

Los índices son coherentes entre sí en los cuatro estratos: donde el Berger-Parker sube, el Pielou baja y el Simpson `1−λ` se reduce. Y la comparación con el Área del Proyecto es sistemática, no puntual: **los cuatro estratos del remanente superan a sus homólogos del predio en riqueza y en equidad, y ninguno lo hace por un margen estrecho**. El contraste más nítido es el arbóreo, cuya riqueza pasa de dieciocho a cuarenta y cuatro especies; y el arbustivo, donde el Berger-Parker cae de 0.659 a 0.306 al tiempo que la riqueza sube de cinco a catorce especies. La flora del remanente forestal del Área de Influencia es una comunidad mucho menos simplificada que la del polígono destinado a la remoción.

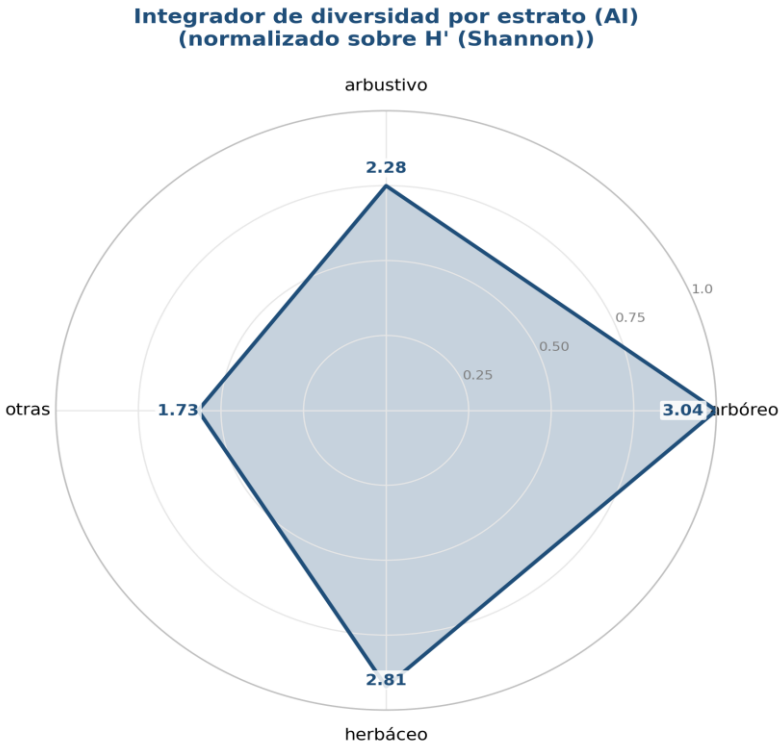


Figura 105. Integrador de diversidad por estrato del Área de Influencia: riqueza, Shannon, Simpson, Pielou y Margalef en ejes normalizados.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El radar del remanente no se colapsa por ningún vértice. Frente al polígono del Área del Proyecto, donde el estrato arbustivo se contrae hasta casi desaparecer de la figura, aquí los cuatro estratos conservan superficie: el herbáceo y el arbóreo la extienden por riqueza y diversidad, y los dos estratos menores la sostienen por equidad. La consecuencia para la evaluación es directa. **El remanente forestal del Área de Influencia constituye el referente de estructura vegetal que el predio de compensación debería reproducir**, y no el Área del Proyecto, cuya comunidad ya está simplificada antes de que la obra comience.

III.5.3.6 Fauna — Aves

Tabla 72. Índices de diversidad del grupo Aves en el Área de Influencia.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	44	Muy alta	El grupo más rico de la escala

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Abundancia `N` (eventos)	264	—	Suma de las dos temporadas
Margalef `DMg`	7.71	Muy alta	Riqueza elevada respecto de la abundancia
Menhinick `DMn`	2.71	Alta	Coherente con Margalef
Simpson `λ`	0.044	Muy baja	Dominancia mínima
Simpson `1−λ`	0.956	Muy alta	Comunidad muy diversa
Berger-Parker `d`	0.121	Baja	Ninguna especie supera el 13 %
McIntosh `D`	0.843	Alta	Reparto homogéneo
Shannon `H'`	3.473	Muy alta	La mayor de la escala
`H'max`	3.784	—	Máximo teórico con 44 especies
Varianza de `H'`	0.0029	Baja	Estimación estable
Pielou `J'`	0.918	Muy alta	Equidad elevada
Brillouin `HB`	3.204	Alta	Confirma a Shannon
Hill N_0 / N_1 / N_2	44 / 32.24 / 22.90	—	32 especies efectivas de 44

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I), tabla de índices (Moreno, 2001).

Cuarenta y cuatro especies de aves en seis recorridos, cinco más que las treinta y nueve del Área del Proyecto obtenidas en doce: el remanente concentra más avifauna con la mitad del esfuerzo. La equidad de Pielou, 0.918, es alta pero **inferior a la del predio** (0.955), y los números de Hill lo matizan: 32.24 especies efectivas de 44 presentes, contra 33.08 de 39 en el Área del Proyecto. La lectura es que el remanente añade especies —muchas de ellas raras en el registro— sin repartir mejor los individuos. El Berger-Parker de 0.121 mantiene a la comunidad lejos de cualquier dominancia.

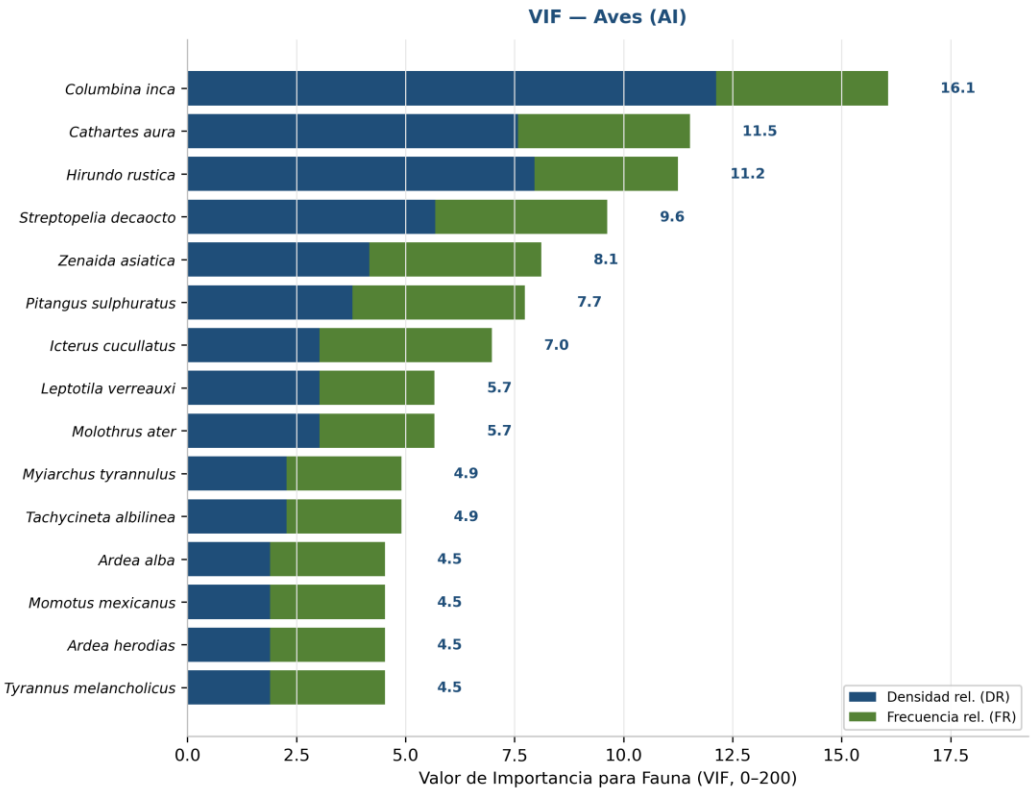


Figura 106. Valor de importancia de fauna del grupo Aves en el Área de Influencia, en barras horizontales por densidad y frecuencia relativas. *Columbina inca* encabeza con un VIF de 16.1 sobre 200; las especies de la NOM-059 llevan estrella roja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

La tortolita cola larga encabeza con un VIF de **16.1**, seguida del buitre americano cabecirrojo (11.5) y de la golondrina tijereta (11.2). El dato que la figura obliga a registrar está en el cuarto puesto: **_Streptopelia decaocto_, la paloma turca de collar, es una exótica invasora y alcanza un VIF de 9.6**, por delante de la paloma de alas blancas. Ninguna de las tres especies de la NOM-059 del Área de Influencia figura entre las diez primeras. Como en el predio, ninguna ave estructura por sí sola la comunidad; a diferencia del predio, una de las especies de mayor peso no es nativa.

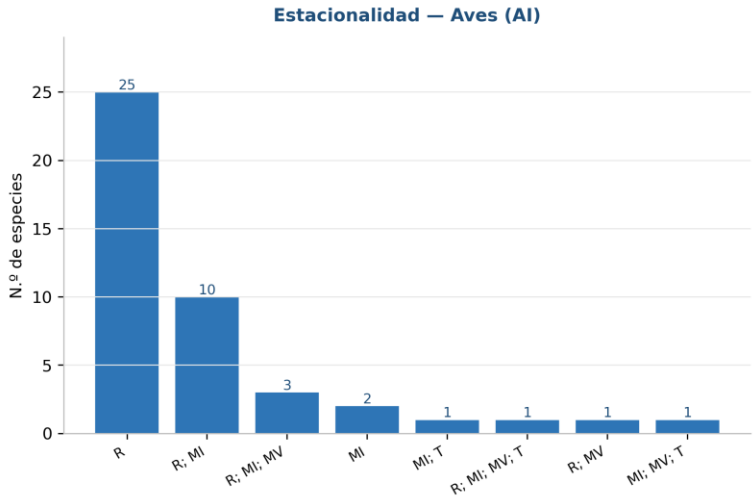


Figura 107. Estacionalidad de las especies de aves del Área de Influencia. De las cuarenta y cuatro especies, veinticinco son exclusivamente residentes y diecinueve presentan algún componente migratorio.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura desglosa un contingente migratorio mayor que el del predio: **veinticinco especies residentes, diez residentes que además reciben poblaciones migratorias invernales**, tres con componentes invernal y de verano, dos exclusivamente migratorias de invierno, y cuatro más con combinaciones que incluyen paso de tránsito. En total, diecinueve de las cuarenta y cuatro especies —el 43 %— dependen del Área de Influencia en alguna fase de su ciclo migratorio, y **cuatro de ellas no son residentes en absoluto**. El remanente funciona como escala migratoria, no solo como hábitat permanente.

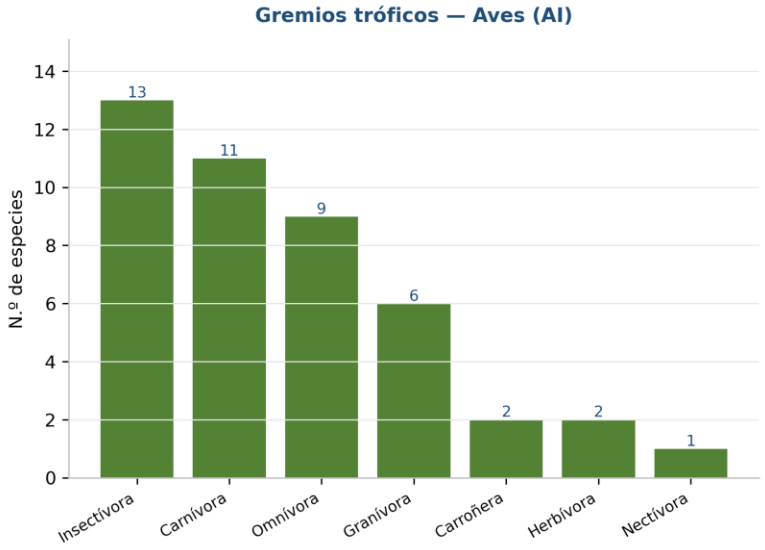


Figura 108. Gremios tróficos de las aves del Área de Influencia. El gremio insectívoro domina con trece especies, sobre un total de siete gremios representados.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Siete gremios tróficos —insectívoro con trece especies, carnívoro con once, omnívoro con nueve, granívoro con seis, carroñero y herbívoro con dos cada uno y nectarívoro con una— componen la red trófica más compleja de todo el levantamiento. El contingente carnívoro merece subrayarse: once especies, entre ellas cuatro rapaces diurnas y un tecolote endémico. Una comunidad que sostiene once especies carnívoras exige una base de presas que el predio, con 3.4 ha, no puede ofrecer por sí sola. **El remanente forestal alimenta a los depredadores que se observan sobre el Área del Proyecto.**

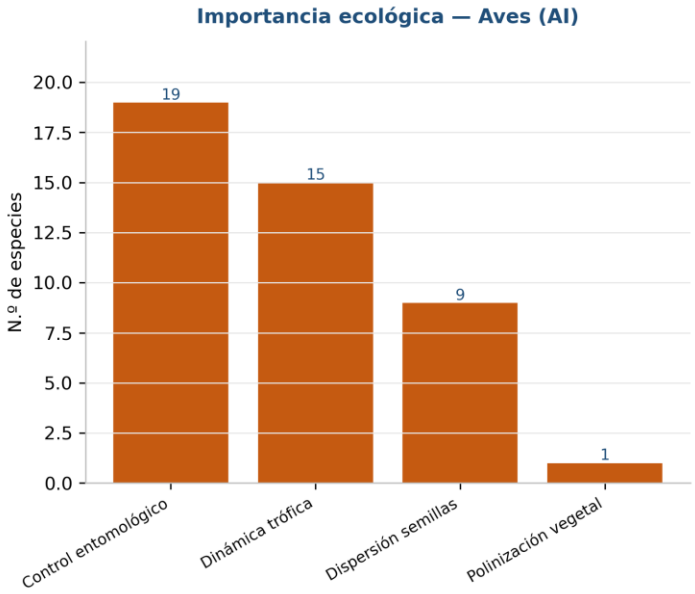


Figura 109. Importancia ecológica de las aves del Área de Influencia. Diecinueve especies cumplen funciones de control entomológico.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

De las cuarenta y cuatro especies, **diecinueve prestan servicio de control entomológico, quince participan en la dinámica trófica, nueve dispersan semillas y una poliniza**. Es un reparto más equilibrado que el del predio, donde el control entomológico concentra el grueso de la función. La presencia de nueve dispersoras de semillas tiene consecuencia directa sobre la restauración: son las que reintroducen propágulos arbóreos en un terreno desmontado, y su permanencia en el remanente es la condición para que la reforestación del predio de compensación reciba aporte natural de semilla.

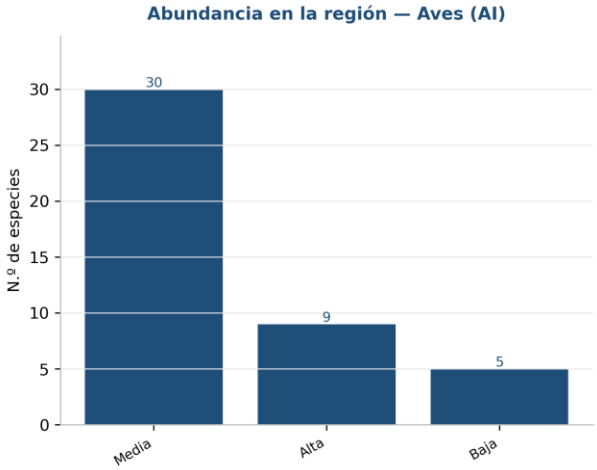


Figura 110. Abundancia regional de las especies de aves registradas en el Área de Influencia. Treinta especies de abundancia media, nueve de abundancia alta y cinco de abundancia baja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Cinco especies de aves del Área de Influencia son de abundancia regional baja, y su identidad no es casual: cuatro son rapaces —gavilán pecho canela, aguililla cola corta, gavilán rastrero y tecolote colimense— y la quinta es la monjita americana. Tres de las cinco están además listadas en la NOM-059. La coincidencia entre rareza regional, posición trófica alta y categoría de riesgo concentra la prioridad de conservación del remanente en un conjunto muy pequeño de especies, todas dependientes de la permanencia del arbolado.

III.5.3.7 Fauna — Mamíferos

Tabla 73. Índices de diversidad del grupo Mamíferos en el Área de Influencia.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	16	Media	Segundo grupo más rico, empatado con reptiles
Abundancia `N` (eventos)	70	—	Suma de las dos temporadas
Margalef `DMg`	3.53	Media-alta	Riqueza moderada
Menhinick `DMn`	1.91	Alta	Coherente con Margalef
Simpson `λ`	0.073	Baja	Dominancia baja
Simpson `1−λ`	0.927	Alta	Comunidad diversa
Berger-Parker `d`	0.129	Baja	La dominante no llega al 13 %
McIntosh `D`	0.830	Alta	Reparto homogéneo
Shannon `H'`	2.699	Alta	—
`H'max`	2.773	—	Máximo teórico con 16 especies
Varianza de `H'`	0.0037	Baja	Estimación estable
Pielou `J'`	0.974	Muy alta	La mayor equidad de la fauna del AI
Brillouin `HB`	2.367	Media-alta	Confirma a Shannon
Hill N_0 / N_1 / N_2	16 / 14.87 / 13.76	—	15 especies efectivas de 16

Fuente: la misma.

Dieciséis especies y setenta eventos, con una equidad de Pielou de **0.974: la más alta de los cuatro grupos faunísticos del Área de Influencia**, y superior a la del predio (0.949). Los números de Hill —14.87 especies efectivas y 13.76 abundantes, de dieciséis presentes— no dejan margen para especies marginales: prácticamente todas contribuyen por igual. Ninguna de las dieciséis figura en la NOM-059; cuatro son endémicas y una, el coatí, está listada en el apéndice III de la CITES.

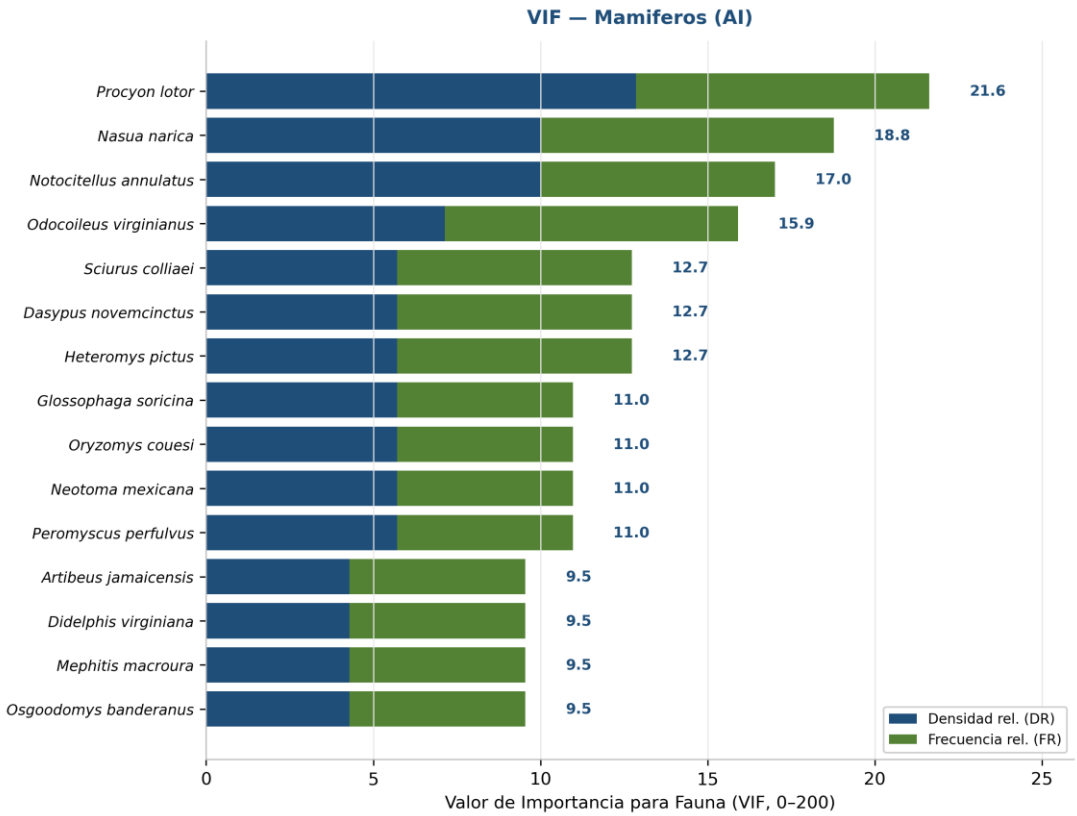


Figura 111. Valor de importancia de fauna del grupo Mamíferos en el Área de Influencia. *Procyon lotor* encabeza con un VIF de 21.6 sobre 200.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El mapache encabeza con un VIF de **21.6**, seguido del coatí (18.8), el tesmo (17.0) y el venado de cola blanca (15.9). El perfil es más aplanado que el del predio, donde la ardilla de tierra anillada alcanza 32.6. Cuatro especies **están ausentes del Área del Proyecto**: el venado de cola blanca, el pecarí de collar, el coatí y el murciélago frutero. Son, salvo el último, la fauna de mayor talla del levantamiento, y su registro exclusivo en el remanente indica que las 3.4 ha del predio no bastan para sostener sus ámbitos hogareños.

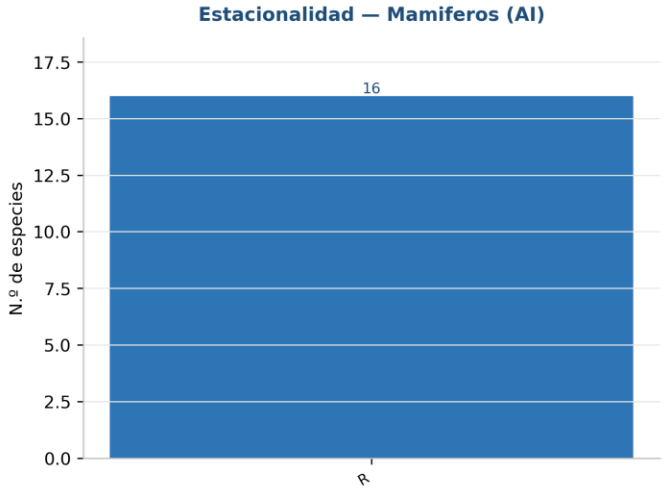


Figura 112. Estacionalidad de las especies de mamíferos del Área de Influencia. Las dieciséis especies son residentes.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Como en el predio, la figura muestra una sola categoría: **las dieciséis especies son residentes permanentes**, sin componente migratorio. El desglose por temporada del motor añade un matiz operativo: trece especies se detectaron en la temporada seca y las dieciséis en la húmeda, con dieciocho eventos contra cincuenta y dos. La residencia es total, pero la detectabilidad no lo es; un programa de ahuyentamiento planificado sobre registros de secas subestimaría el elenco de mamíferos presente.

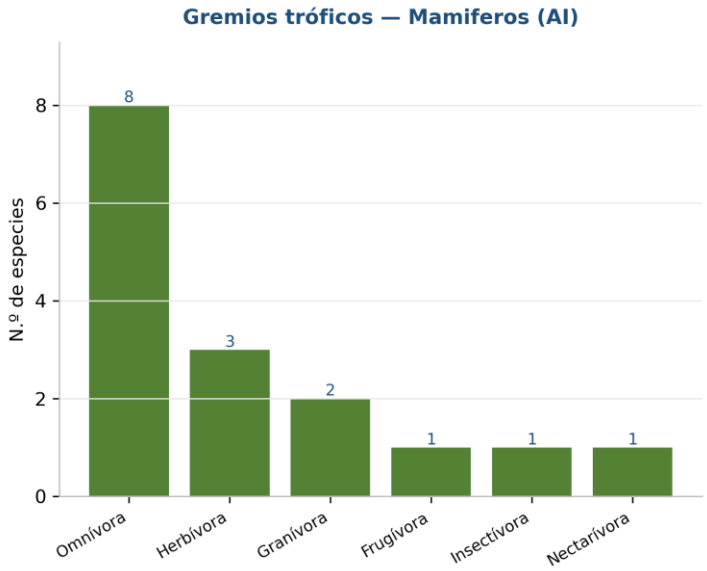


Figura 113. Gremios tróficos de los mamíferos del Área de Influencia. El gremio omnívoro domina con ocho especies.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Ocho de las dieciséis especies son **omnívoras**, la misma proporción que en el predio —la mitad del grupo— , y la figura añade tres herbívoras, dos granívoras, una frugívora, una insectívora y una nectarívora. El predominio de omnívoros generalistas es el mismo indicador de ambiente perturbado o de borde que se registra en el Área del Proyecto, y aquí encuentra su explicación en la matriz: 145.27 ha de zona urbana rodean a las 18.95 ha de selva. **El remanente es más rico que el predio, pero no deja de ser un fragmento periurbano.**

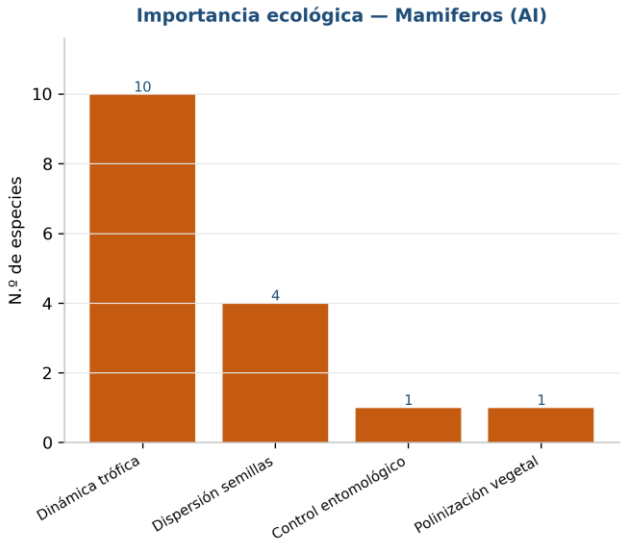


Figura 114. Importancia ecológica de los mamíferos del Área de Influencia. Diez especies cumplen funciones de dinámica trófica.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Diez de las dieciséis especies participan en la dinámica trófica, cuatro dispersan semillas, una ejerce control entomológico y una poliniza. La aportación funcional distingue a este grupo del de las aves: donde aquéllas concentran el control de insectos, los mamíferos sostienen la transferencia de energía entre niveles y la dispersión de propágulos de gran tamaño —función que ninguna ave del levantamiento cubre con frutos de semilla grande—. Los dos servicios se pierden con la remoción y ninguno sustituye al otro.

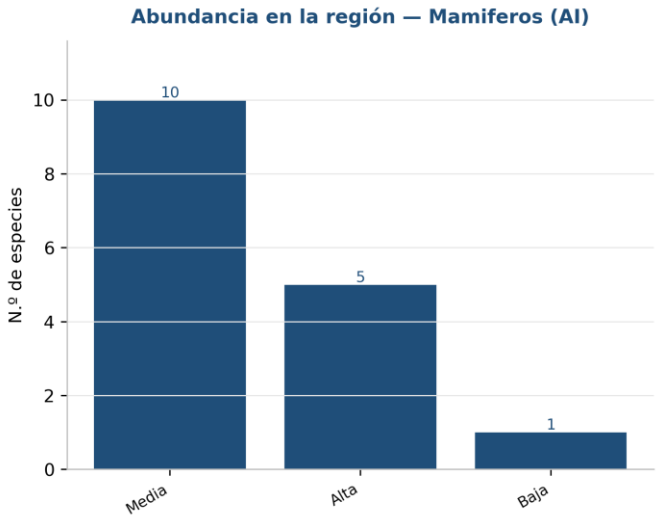


Figura 115. Abundancia regional de las especies de mamíferos registradas en el Área de Influencia. Diez especies de abundancia media, cinco de abundancia alta y una de abundancia baja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Una sola especie de mamífero es de abundancia regional baja, *Osgoodomys banderanus*, un roedor endémico. Es la misma proporción que en el predio, y por la misma razón: la comunidad de mamíferos está compuesta casi por entero por especies comunes en la Región Ecológica, capaces de recolonizar por sus propios medios. Para este grupo el ahuyentamiento sigue siendo la medida adecuada; el roedor endémico y escaso es la única excepción que reclama identificación y seguimiento específicos.

III.5.3.8 Fauna — Reptiles

Tabla 74. Índices de diversidad del grupo Reptiles en el Área de Influencia.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	16	Media	Empatado con mamíferos
Abundancia `N` (eventos)	104	—	Suma de las dos temporadas
Margalef `DMg`	3.23	Media	—
Menhinick `DMn`	1.57	Media	—
Simpson `λ`	0.138	Baja	—
Simpson `1−λ`	0.862	Alta	Comunidad diversa
Berger-Parker `d`	0.298	Media	La dominante supera el umbral de Moreno
McIntosh `D`	0.697	Media-alta	—
Shannon `H'`	2.350	Media-alta	—
`H'max`	2.773	—	Máximo teórico con 16 especies
Varianza de `H'`	0.0087	Media	Estimación menos estable
Pielou `J'`	0.847	Alta	La menor equidad de la fauna del AI
Brillouin `HB`	2.123	Media	—
Hill `$N_0$` / `$N_1$` / `$N_2$`	16 / 10.48 / 7.27	—	10 especies efectivas de 16

Fuente: la misma.

Dieciséis especies y ciento cuatro eventos, cuatro especies más que en el predio. Pero es **el grupo menos equitativo de la fauna del Área de Influencia**: un Pielou de 0.847 y un Berger-Parker de 0.298 que rebasa el umbral de dominancia de Moreno, frente al 0.189 del predio. Los números de Hill lo confirman: de dieciséis especies presentes solo 10.48 son efectivas y 7.27 verdaderamente abundantes. La herpetofauna del remanente es más rica y más desigual. Y su rasgo definitorio es el endemismo: **diez de las dieciséis especies son endémicas de México**, el 62.5 %, la proporción más alta de todo el levantamiento.

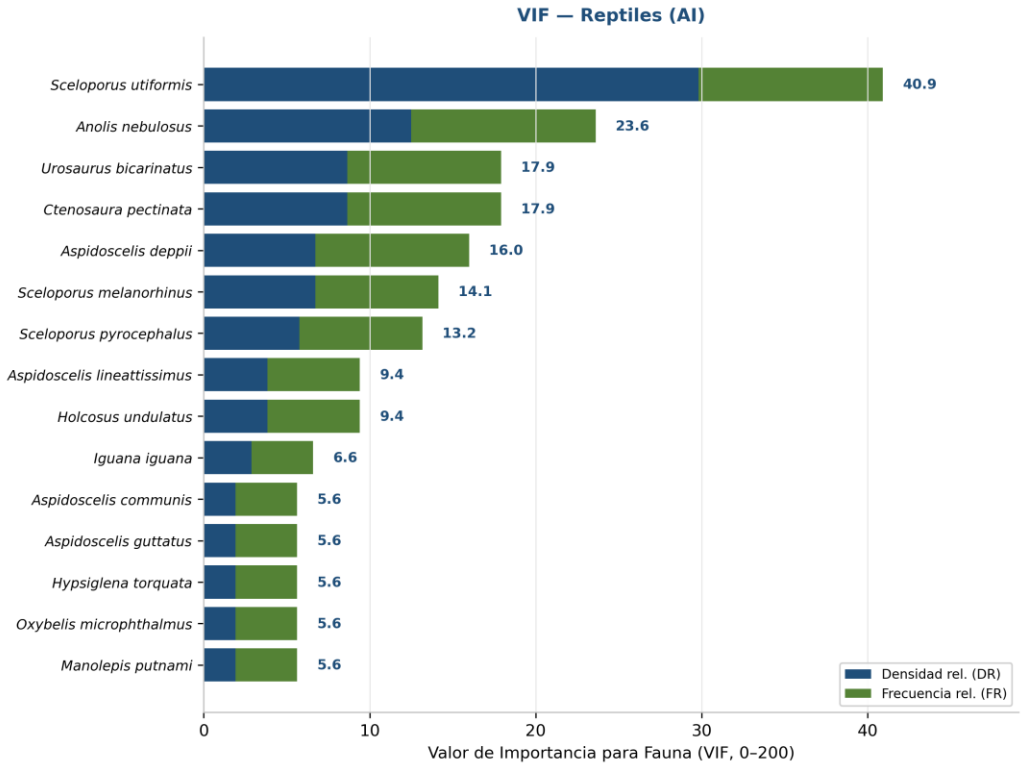


Figura 116. Valor de importancia de fauna del grupo Reptiles en el Área de Influencia. *Sceloporus utiformis* encabeza con un VIF de 40.9 sobre 200.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El roño de suelo alcanza un VIF de **40.9**, el mayor de la fauna del Área de Influencia y superior al 30.6 que obtiene en el predio: treinta y uno de los ciento cuatro eventos corresponden a esta única lagartija. Le siguen el roño de paño (23.6) y, empatados en 17.9, el roñito y la **iguana negra**, esta última amenazada en la NOM-059 y listada en el apéndice II de la CITES. A diferencia del predio, aquí una especie protegida sí figura entre las de mayor peso estructural, lo que acerca la prioridad ecológica a la normativa en lugar de separarlas.

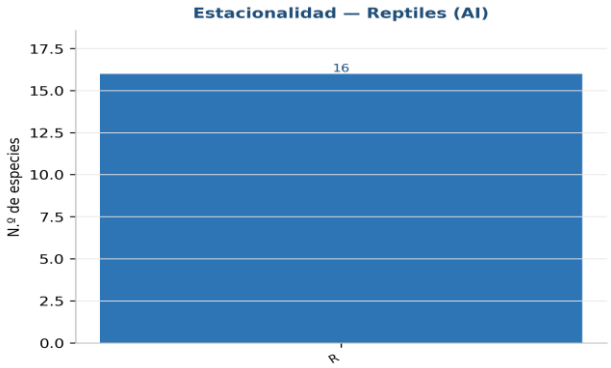


Figura 117. Estacionalidad de las especies de reptiles del Área de Influencia. Las dieciséis especies son residentes.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura declara **dieciséis especies residentes**, sin componente migratorio, igual que en el predio. La distinción entre residencia y actividad vuelve a ser la clave operativa: los reptiles habitan el remanente los doce meses del año, pero su detectabilidad depende de la temperatura y de la exposición. Un rescate herpetofaunístico ejecutado fuera de la ventana de actividad no encuentra a los animales, aunque estén presentes bajo refugio.

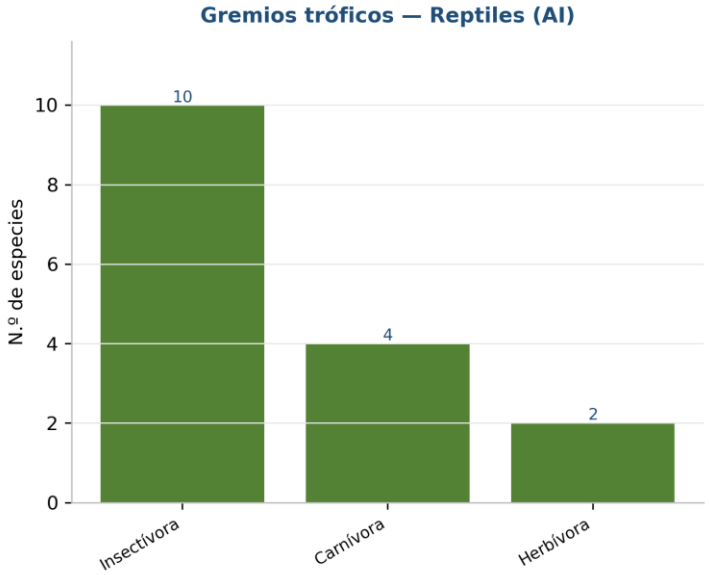


Figura 118. Gremios tróficos de los reptiles del Área de Influencia. El gremio insectívoro domina con diez especies.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Diez de las dieciséis especies son insectívoras, cuatro carnívoras y dos herbívoras. La red trófica es más ancha que la del predio, donde nueve de doce especies se agotaban en la insectivoría y no había herbívoros. La aparición de un gremio herbívoro —las dos iguanas— y de cuatro carnívoros —serpientes que depredan sobre lagartijas y roedores— añade dos niveles a la cadena. La dependencia de los artrópodos, y a través de ellos de la cubierta herbácea y de la hojarasca, sigue siendo dominante.

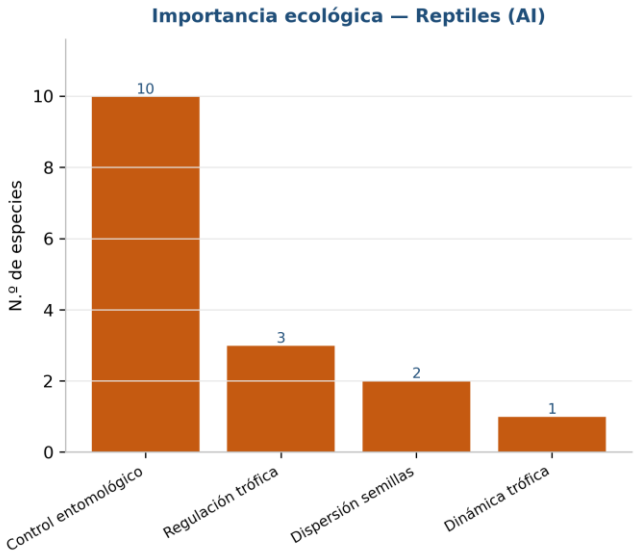


Figura 119. Importancia ecológica de los reptiles del Área de Influencia. Diez especies cumplen funciones de control entomológico.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Diez especies ejercen control entomológico, tres regulación trófica, dos dispersión de semillas y una dinámica trófica. La novedad respecto del predio son las **dos dispersoras de semillas**: las iguanas, herbívoras y frugívoras ocasionales, cumplen una función que en el Área del Proyecto ningún reptil aporta. Sumando las diecinueve aves, los diez reptiles, el mamífero insectívoro y los dos anfibios, **treinta y dos de las setenta y ocho especies de fauna del remanente prestan servicio de control entomológico**.

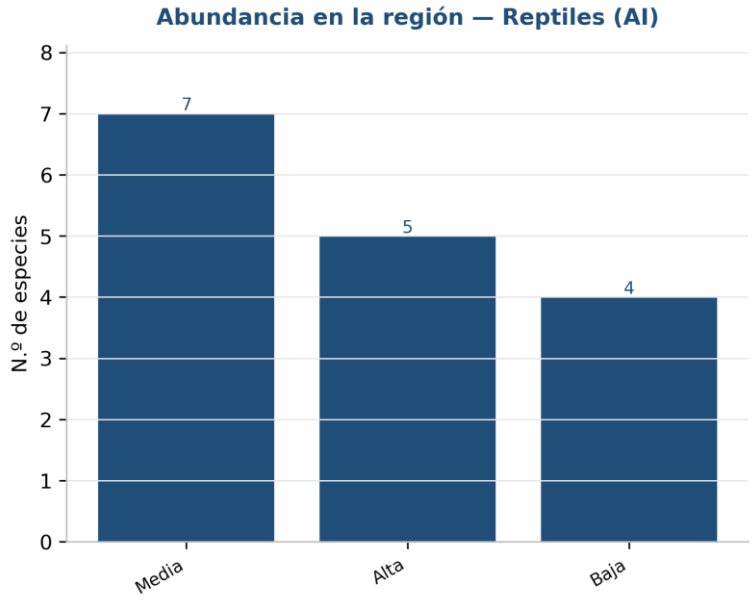


Figura 120. Abundancia regional de las especies de reptiles registradas en el Área de Influencia. Siete especies de abundancia media, cinco de abundancia alta y cuatro de abundancia baja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Cuatro especies de reptiles son de abundancia regional baja, y las cuatro son serpientes: la mazacuata, la culebra nocturna, la culebra cabeza surcada y la bejuquilla café. Tres de ellas son endémicas y dos están protegidas —la mazacuata por la CITES, la culebra nocturna por la NOM-059—. Las serpientes son además el conjunto que peor tolera el ahuyentamiento y el que mayor riesgo de mortalidad directa afronta durante el desmonte, por su lentitud y su querencia por los refugios. Concentran, por tanto, la prioridad de rescate del grupo.

III.5.3.9 Fauna — Anfibios

Tabla 75. Índices de diversidad del grupo Anfibios en el Área de Influencia.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	2	Muy baja	Grupo marginal en el remanente
Abundancia `N` (eventos)	7	—	Todos en temporada húmeda
Margalef `DMg`	0.51	Muy baja	—
Menhinick `DMn`	0.76	Baja	—
Simpson `λ`	0.510	Alta	Dominancia alta
Simpson `1−λ`	0.490	Baja	Diversidad mínima
Berger-Parker `d`	0.571	Alta	Una especie aporta cuatro de siete eventos
McIntosh `D`	0.459	Baja	—
Shannon `H'`	0.683	Muy baja	Limitado por `S` = 2
`H'max`	0.693	—	Máximo teórico con 2 especies
Varianza de `H'`	0.0131	Alta	Estimación poco estable

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Pielou `J'`	0.985	Muy alta	Artefacto de `S` = 2
Brillouin `HB`	0.508	Muy baja	—
Hill N_0 / N_1 / N_2	2 / 1.98 / 1.96	—	—

Fuente: la misma.

Dos especies y siete eventos: **los índices de este grupo deben interpretarse con extrema cautela**, igual que en el predio. El Pielou de 0.985 sugiere una equidad casi perfecta, pero con dos especies el índice se satura y no informa sobre la estructura de la comunidad; la varianza de Shannon, 0.0131, lo advierte. Lo único que estas cifras afirman con solidez es que **la comunidad de anfibios del remanente es tan marginal como la del predio**, y por la misma causa: no hay cuerpo de agua permanente en el Área de Influencia.

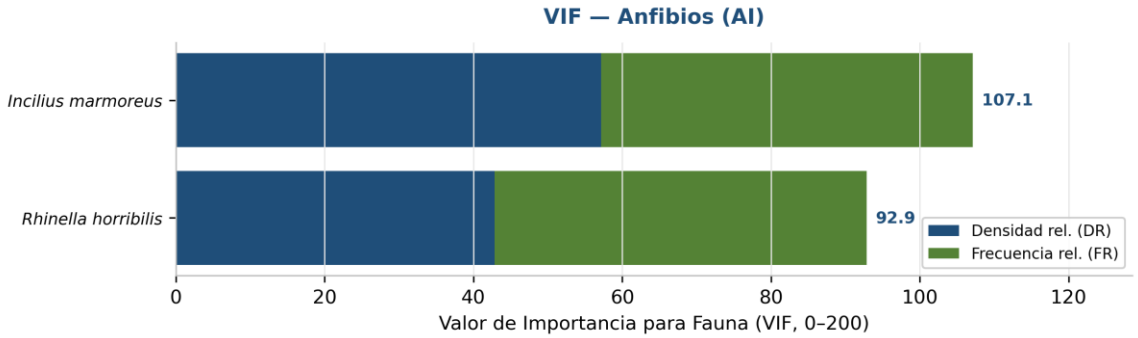


Figura 121. Valor de importancia de fauna del grupo Anfibios en el Área de Influencia. *Incilius marmoreus* encabeza con un VIF de 107.1 sobre 200.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Con solo dos especies el VIF se reparte entre ellas, y el **sapo jaspeado retiene 107.1 de los 200 puntos** frente a los 92.9 del sapo gigante. El valor no debe compararse con el de otros grupos: un VIF alto sobre dos especies no significa dominancia ecológica sino ausencia de competidoras en el registro. La composición sí merece registro. *Incilius marmoreus* es **endémica** y comparte presencia con el predio; en cambio, la rana verduzca *Agalychnis dacnicolor* —endémica, listada en la CITES y única especie de anfibio protegida del Área del Proyecto— **no se registró en el remanente**, que aporta en su lugar al sapo gigante.

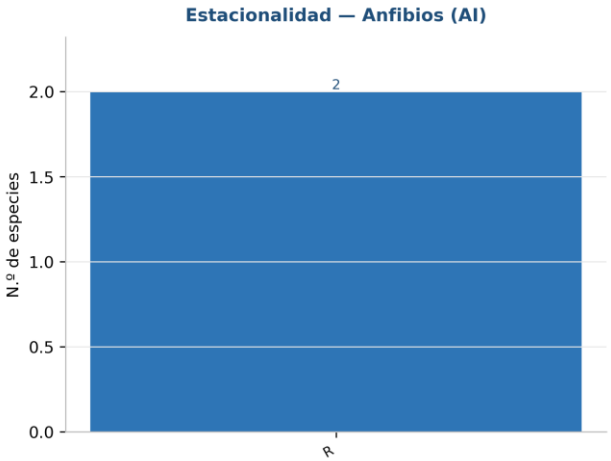


Figura 122. Estacionalidad de las especies de anfibios del Área de Influencia. Las dos especies son residentes.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura declara **dos especies residentes**, y el desglose por temporada del motor completa el cuadro: los dos recorridos de temporada seca no produjeron un solo registro, y los siete eventos se concentran íntegramente en los cuatro recorridos de temporada húmeda. La residencia es permanente y la detectabilidad

es estacional, exactamente como en el predio. Un levantamiento de una sola temporada, la seca, habría concluido que el Área de Influencia carece de anfibios.

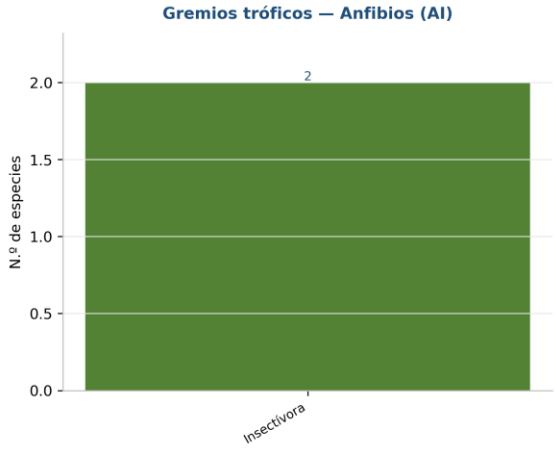


Figura 123. Gremios tróficos de los anfibios del Área de Influencia. Las dos especies son insectívoras.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Un solo gremio, el insectívoro, para las dos especies. La red trófica de los anfibios del remanente es la más simple del levantamiento, y su posición en el sistema es la de consumidores primarios de artrópodos y presa de reptiles y aves. Ambos son bufónidos de suelo, de hábitos crípticos y fosoriales durante la estación seca, lo que explica que no aparezcan en los recorridos de esa temporada pese a residir en el sitio todo el año.

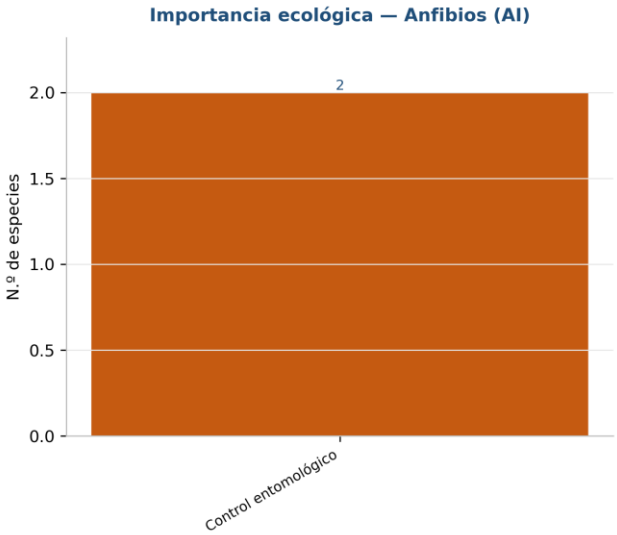


Figura 124. Importancia ecológica de los anfibios del Área de Influencia. Las dos especies cumplen funciones de control entomológico.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Las dos especies aportan **control entomológico**, sumándose a las diecinueve aves y a los diez reptiles con la misma función. Más relevante que su aportación cuantitativa —marginal, con siete eventos— es su valor como **bioindicadoras**: la piel permeable de los anfibios los hace especialmente sensibles a la contaminación del suelo y del agua, de modo que su presencia acredita que el remanente forestal no está químicamente degradado, pese a estar rodeado por 145.27 ha de zona urbana.

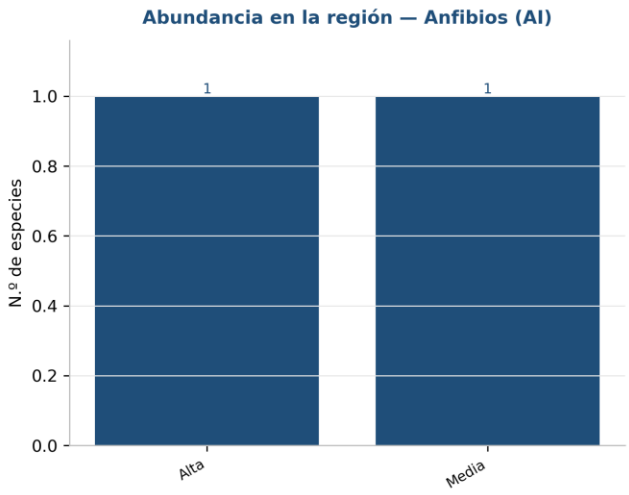


Figura 125. Abundancia regional de las especies de anfibios registradas en el Área de Influencia. Una especie de abundancia regional alta y una de abundancia media.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

El sapo gigante es de **abundancia regional alta** y el sapo jaspeado, endémico, de abundancia media. Ninguno es raro en la microcuenca. Frente al predio, donde ambos anfibios son de abundancia media y uno está protegido por la CITES, el remanente presenta un ensamble anfibio de menor valor de conservación. Es el único grupo faunístico en que el Área del Proyecto aventaja al Área de Influencia, y lo hace por una sola especie.

III.5.3.10 Fauna — análisis integrado del Área de Influencia

Tabla 76. Comparativa de índices de diversidad entre los grupos faunísticos del Área de Influencia.

Grupo	`S`	`N`	`DMg`	`DMn`	`λ`	`1−λ`	`d`	`D`	`H'`	`Var H'`	`J'`	`HB`	`$N_0$`	`$N_1$`	`$N_2$`	VIF dominante	NOM-059	Endémicas
Aves	44	264	7.71	2.71	0.044	0.956	0.121	0.843	3.473	0.0029	0.918	3.204	44	32.24	22.90	*Columbina inca* (16.1)	3	5
Mamíferos	16	70	3.53	1.91	0.073	0.927	0.129	0.830	2.699	0.0037	0.974	2.367	16	14.87	13.76	*Procyon lotor* (21.6)	0	4
Reptiles	16	104	3.23	1.57	0.138	0.862	0.298	0.697	2.350	0.0087	0.847	2.123	16	10.48	7.27	*Sceloporus utiformis* (40.9)	5	10
Anfibios	2	7	0.51	0.76	0.510	0.490	0.571	0.459	0.683	0.0131	0.985	0.508	2	1.98	1.96	*Incilius marmoreus* (107.1)	0	1

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I); categorías de riesgo, endemismo y abundancia regional, del listado de caracterización de fauna del mismo estudio (Anexo G). Las ocho especies del Área de Influencia listadas en la NOM-059 son Accipiter striatus (Pr), Calidris mauri (A) y Glaucidium palmarum (A) entre las aves, y Aspidoscelis communis (Pr), Aspidoscelis lineattissimus (Pr), Ctenosaura pectinata (A), Hypsiglena torquata (Pr) e Iguana iguana (Pr) entre los reptiles. No se incluye columna de completitud: a esta escala no se ajustan curvas de acumulación.

La tabla ordena los cuatro grupos y responde las preguntas del análisis integrado. **La mayor riqueza y la mayor diversidad son de las aves** (`S` = 44, `H'` = 3.473). **La mayor equidad es de los mamíferos** (`J'` = 0.974), y no de las aves, a diferencia del predio. **La mayor dominancia ecológicamente significativa es de los reptiles** (`d` = 0.298), único grupo que rebasa el umbral de Moreno una vez descartado el artefacto de los anfibios. Y **la mayor carga normativa recae sobre los reptiles**: cinco de sus dieciséis especies están en la NOM-059 —el 31.3 %— y diez son endémicas.

Los índices son coherentes entre sí: en los cuatro grupos un Berger-Parker bajo se acompaña de un Pielou alto y de un Simpson `1−λ` alto. El único caso que exige matiz es el de los anfibios, donde `S` = 2 distorsiona a Pielou hasta 0.985.

El diagnóstico integrado es que el remanente forestal del Área de Influencia sostiene una comunidad faunística más rica, más endémica y normativamente más comprometida que la del Área del Proyecto, sobre la mitad del esfuerzo de muestreo. Setenta y ocho especies contra sesenta y siete, ocho en la NOM-059 contra cinco, y veinte especies endémicas. Las tres evidencias que lo sostienen son: la avifauna, con siete gremios tróficos y once especies carnívoras que el predio no puede alimentar por sí solo; los mamíferos, cuyo elenco incorpora venado, pecarí y coatí, ausentes de las 3.4 ha del polígono; y los reptiles, con el 62.5 % de endemismo y cuatro serpientes escasas en la región. La estacionalidad completa el cuadro: **las treinta y cuatro especies de mamíferos, reptiles y anfibios son residentes permanentes**, y solo la avifauna aporta contingente migratorio, diecinueve especies, el 43 % de su riqueza.

La consecuencia para la evaluación es la que ya anticipaba la flora. El Área de Influencia no es un simple entorno del predio: es **el reservorio que abastece de fauna al Área del Proyecto**. Que se trate de un remanente ya presionado por 145.27 ha de zona urbana es, precisamente, la razón por la que la mitigación de la fauna no se hace descansar sobre la capacidad de ese fragmento para absorber a los individuos desplazados. Para la avifauna —grupo dominante y de mayor movilidad— la medida es el ahuyentamiento dirigido previo al desmonte, eficaz precisamente porque las aves se desplazan por vuelo propio a una escala muy superior a la del remanente contiguo y no quedan confinadas a él; para los mamíferos y reptiles, de desplazamiento lento, la medida es el programa de rescate y reubicación, que los traslada dirigidamente al sitio receptor. Ninguna de las dos hace descansar la mitigación en que el remanente vecino absorba a los individuos desplazados; ambas se detallan y se vinculan en el Capítulo IV.

III.5.4 Región Ecológica

La Región Ecológica abarca las 5,992.43 ha de la microcuenca en que se inscriben el predio y su entorno, y constituye el **marco de referencia regional** contra el cual se miden las dos escalas menores. Su levantamiento se ejecutó sobre **once sitios de flora** y **seis recorridos de fauna** —cuatro en temporada seca y dos en húmeda—. Registra **136 especies de flora**, de las cuales 23 son endémicas, ocho exóticas y cuatro exóticas invasoras, y **90 especies de fauna**, contra las 85 y 78 del Área de Influencia y las 48 y 68 del Área del Proyecto.

Dos advertencias de método gobiernan la lectura de este apartado. La primera: las **curvas de acumulación, sus estimadores y la completitud se calculan sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica**, tal como el motor declara, mientras que los índices alfa, el índice de valor de importancia y la abundancia se calculan siempre sobre la Región Ecológica sola. Por eso la riqueza observada que aparece en cada curva —67 especies leñosas, 24 arbustos, 50 aves— no coincide con la riqueza del apartado —65, 23 y 50—: la curva suma las especies exclusivas del Área de Influencia. La segunda: el grupo de los **anfibios es monoespecífico en esta escala**, de modo que sus índices de diversidad no aplican y así se declaran, en lugar de reportar ceros que sugerirían una diversidad medida y nula.

III.5.4.1 Flora — estrato arbóreo y regeneración (hectárea-tipo)

Tabla 77. Abundancia del estrato arbóreo y regeneración de la Región Ecológica (hectárea-tipo).

Especie	Nombre común	Distribución	NOM-059	CITES	UICN	Abundancia (ind·ha⁻¹)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Frecuencia †
Casearia corymbosa	Chamizo	Nativa	No listada	—	LC	281.82	9.3	Común	4
Roseodendron donnell-smithii	Primavera	Nativa	No listada	II	LC	158.18	5.2	Común	9

Especie	Nombre común	Distribución	NOM-059	CITES	UICN	Abundancia (ind·ha⁻¹)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Frecuencia †
Cordia elaeagnoides	Barcino	Endémica	No listada	—	LC	121.82	4.0	Escasa	9
Cordia alliodora	Botoncillo	Nativa	No listada	—	LC	120.00	4.0	Escasa	8
Lonchocarpus eriocarinalis	Cuero de indio	Endémica	No listada	—	LC	116.36	3.8	Escasa	8
Crateva tapia	Bulillo	Nativa	No listada	—	LC	103.64	3.4	Escasa	6
Guazuma ulmifolia	Guásima	Nativa	No listada	—	LC	90.91	3.0	Escasa	11
Heliocarpus terebinthinaceus	Majahua	Nativa	No listada	—	LC	90.91	3.0	Escasa	10
Lonchocarpus constrictus	Garrapato	Endémica	No listada	—	LC	90.91	3.0	Escasa	4
Lysiloma divaricatum	Tepemezquite	Nativa	No listada	—	LC	89.09	2.9	Escasa	7
Acacia cochliacantha	Espino blanco	Nativa	No listada	—	LC	85.45	2.8	Escasa	4
Swietenia humilis	Cóbano	Nativa	No listada	II	EN	85.45	2.8	Escasa	7
Handroanthus chrysanthus	Mapilla	Nativa	No listada	II	VU	78.18	2.6	Escasa	5
Albizia tomentosa	Parotilla morada	Nativa	No listada	—	—	78.18	2.6	Escasa	8
Gliricidia sepium	Cacanahual	Nativa	No listada	—	LC	65.45	2.2	Escasa	6
Senna atomaria	Vainillo	Nativa	No listada	—	LC	65.45	2.2	Escasa	4
Apoplanesia paniculata	Llora sangre	Nativa	No listada	—	LC	63.64	2.1	Escasa	5
Astronium graveolens	Culebro	Nativa	**A**	—	LC	56.36	1.9	Escasa	6
Tabebuia rosea	Rosa morada	Nativa	No listada	II	LC	52.73	1.7	Escasa	5
Cenostigma eriostachys	Iguanero	Nativa	No listada	—	LC	52.73	1.7	Escasa	5
Cedrela odorata	Cedro rojo	Endémica	**Pr**	II	VU	43.64	1.4	Escasa	6
Cochlospermum vitifolium	Panicua	Nativa	No listada	—	LC	41.82	1.4	Escasa	3
Bursera simaruba	Papelillo rojo	Nativa	No listada	—	LC	40.00	1.3	Escasa	6
Sideroxylon capiri	Capire	Nativa	**A**	—	LC	40.00	1.3	Escasa	5
Pithecellobium dulce	Guamúchil	Nativa	No listada	—	LC	38.18	1.3	Escasa	3
Tamarindus indica	Tamarindo	Exótica	No listada	—	—	36.36	1.2	Escasa	4
Cordia dentata	Tamborcillo	Nativa	No listada	—	LC	36.36	1.2	Escasa	3
Forchhammeria pallida	Olivillo	Endémica	No listada	—	LC	34.55	1.1	Escasa	5

Especie	Nombre común	Distribución	NOM-059	CITES	UICN	Abundancia (ind·ha⁻¹)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Frecuencia †
Thouinia serrata	Huesillo de cerro	Endémica	No listada	—	LC	32.73	1.1	Escasa	7
Jacaratia mexicana	Bonete	Nativa	No listada	—	LC	32.73	1.1	Escasa	6
Sapindus saponaria	Bolitario	Nativa	No listada	—	LC	30.91	1.0	Escasa	5
Luehea candida	Algodoncillo	Nativa	No listada	—	LC	30.91	1.0	Escasa	4
Delonix regia	Tabachín	Exótica	No listada	—	LC	30.91	1.0	Escasa	4
Sapium macrocarpum	Higuerilla amatillo	Nativa	**A**	—	LC	27.27	0.9	Escasa	7
Stemmadenia tomentosa	San Antonio	Endémica	No listada	—	LC	27.27	0.9	Escasa	3
Zanthoxylum arborescens	Zorrillo	Endémica	No listada	—	LC	27.27	0.9	Escasa	3
Azadirachta indica	Neem	Exótica invasora	No listada	—	—	25.45	0.8	Escasa	3
Spondia purpurea	Ciruelo	Nativa	No listada	—	LC	25.45	0.8	Escasa	7
Bursera copallifera	Copal	Endémica	No listada	—	LC	21.82	0.7	Escasa	4
Ficus velutina	Zalate	Nativa	No listada	—	LC	21.82	0.7	Escasa	4
Acacia hindsii	Huizcolote	Nativa	No listada	—	LC	21.82	0.7	Escasa	3
Nectandra salicifolia	Aguacatillo	Nativa	No listada	—	LC	21.82	0.7	Escasa	4
Coulteria platyloba	Coral	Endémica	No listada	—	LC	21.82	0.7	Escasa	4
Trichilia americana	Cola de zorra	Endémica	No listada	—	LC	21.82	0.7	Escasa	4
Cascabela ovata	Ayoyote	Nativa	No listada	—	LC	21.82	0.7	Escasa	3
Ceiba aesculifolia	Pochote	Nativa	No listada	—	LC	21.82	0.7	Escasa	4
Hura polyandra	Habillo	Nativa	No listada	—	LC	21.82	0.7	Escasa	3
Bursera grandifolia	Papelillo verde	Endémica	No listada	—	LC	21.82	0.7	Escasa	3
Diphysa americana	Hormiguillo	Nativa	No listada	—	LC	20.00	0.7	Escasa	3
Sideroxylon persimile	Huizilacate negro	Nativa	No listada	—	LC	18.18	0.6	Escasa	2
Parmentiera aculeata	Chote	Nativa	No listada	—	LC	18.18	0.6	Escasa	2
Acacia glomerosa	Espino monte	Nativa	No listada	—	—	18.18	0.6	Escasa	2
Brosimum alicastrum	Mojo	Nativa	No listada	—	LC	16.36	0.5	Escasa	4

Especie	Nombre común	Distribución	NOM-059	CITES	UICN	Abundancia (ind·ha⁻¹)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Frecuencia †
Leucaena leucocephala	Guajillo hoja grande	Endémica	No listada	—	LC	16.36	0.5	Escasa	5
Platymiscium lasiocarpum	Granadillo	Endémica	**P**	—	EN	14.55	0.5	Escasa	3
Margaritaria nobilis	Vidrillo	Nativa	No listada	—	LC	14.55	0.5	Escasa	5
Ipomoea murucoides	Ozote	Endémica	No listada	—	LC	12.73	0.4	Escasa	3
Enterolobium cyclocarpum	Parota	Nativa	No listada	—	LC	12.73	0.4	Escasa	3
Chloroleucon mangense	Borcelano	Nativa	No listada	—	LC	12.73	0.4	Escasa	3
Recchia mexicana	Manzanito	Endémica	No listada	—	LC	12.73	0.4	Escasa	3
Gyrocarpus jatrophifolius	Rebelero	Nativa	No listada	—	LC	12.73	0.4	Escasa	2
Spondia mombin	Jobo	Nativa	No listada	—	LC	10.91	0.4	Escasa	2
Morisonia americana	Zapotillo de cerro	Nativa	No listada	—	LC	9.09	0.3	Escasa	1
Styrax ramirezii	Azajar	Nativa	No listada	—	LC	9.09	0.3	Escasa	1
Albizia occidentalis	Parotilla china	Nativa	No listada	—	—	7.27	0.2	Escasa	2
Bursera sarcopoda	Tecomaca	Endémica	No listada	—	EN	5.45	0.2	Escasa	3
Amphipterygium adstringens	Cuachalalate	Nativa	No listada	—	VU	3.64	0.1	Escasa	1
Styrax argenteus var. ramirezii	Azajar	Nativa	No listada	—	LC	3.64	0.1	Escasa	2
Acacia polyphylla	Espino monte	Nativa	No listada	—	LC	3.64	0.1	Escasa	2
Xylosma panamensis	Huizcorón	Nativa	No listada	—	LC	3.64	0.1	Escasa	2
Total						**3,023.6**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). La abundancia relativa se obtiene del cociente entre la abundancia de cada especie y el total de 3,023.6 ind·ha⁻¹; su valor máximo, 9.3 %, reproduce el índice de Berger-Parker de 0.093 calculado para este estrato (Anexo I), lo que confirma la lectura de la tabla. † La frecuencia de la hectárea-tipo es la suma de los sitios en que la especie aparece como adulto y de aquellos en que aparece como renuevo, de modo que su máximo es 22 y no 11. Categorías de la NOM-059: `P` en peligro de extinción, `A` amenazada, `Pr` sujeta a protección especial.

Setenta especies leñosas, y **ninguna alcanza la clase dominante**. El chamizo, el más abundante, retiene el 9.3 % de los individuos, y solo otra especie —la primavera— supera el umbral del 5 %. Es el retrato de una comunidad madura y repartida, y contrasta punto por punto con las escalas menores: en el Área del Proyecto el cóbano concentra el 37.0 % y en el remanente del Área de Influencia el llora sangre el 21.5 %. La cola de especies escasas no es aquí un signo de degradación sino de riqueza: cincuenta y tres de las setenta especies caen por debajo del 2 %.

La composición confirma el diagnóstico. Cincuenta especies son nativas, **diecisiete endémicas** y solo tres exóticas —el tabachín, el tamarindo y el neem, esta última invasora—, todas con abundancias marginales. Y la carga normativa se concentra aquí: **cinco especies del estrato están listadas en la NOM-059** —el culebro, el capire y la higuerilla amatillo como amenazadas, el cedro rojo sujeto a protección especial y el **granadillo, *Platymiscium lasiocarpum*, en peligro de extinción**, la categoría más severa de la norma,

con 14.55 ind·ha⁻¹ en tres sitios—. Cinco más figuran en el apéndice II de la CITES y **seis llevan categoría de amenaza en la Lista Roja de la UICN** —tres en peligro y tres vulnerables—. Ninguna de las cinco especies de la NOM-059 se registró en el Área del Proyecto salvo el cedro rojo.

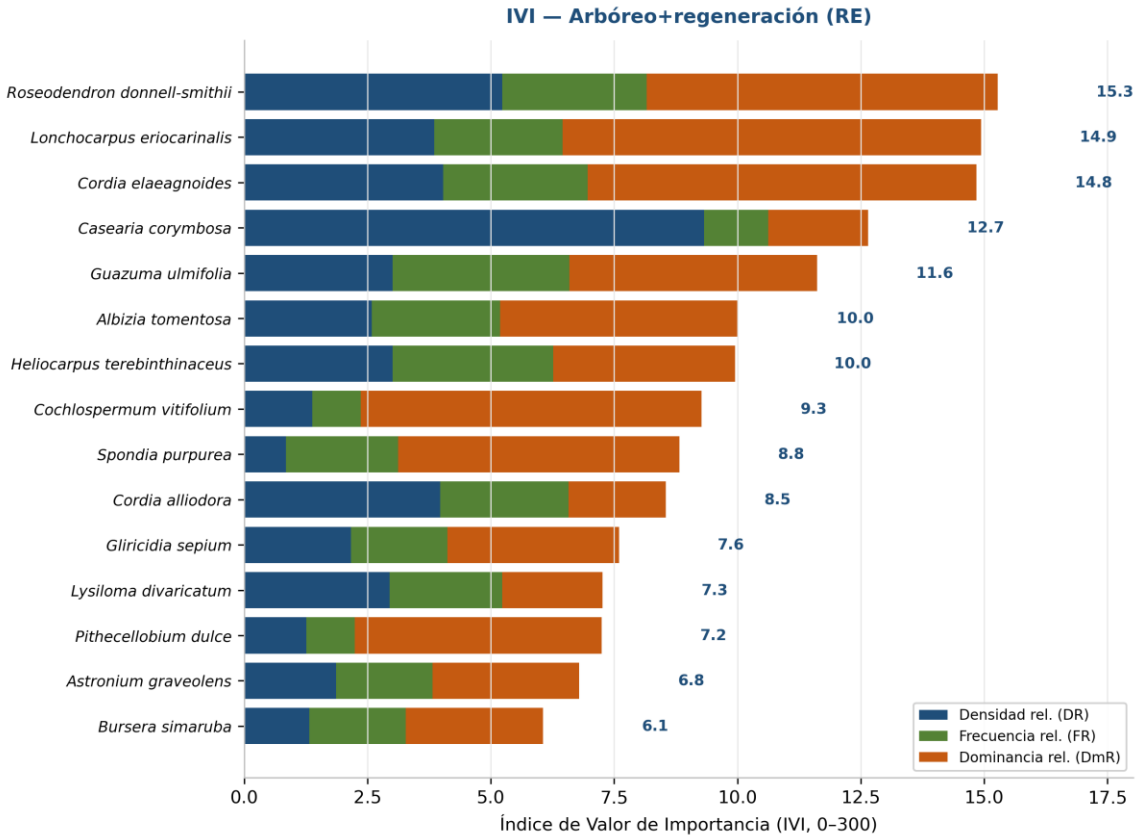


Figura 126. Índice de valor de importancia del estrato arbóreo y regeneración de la Región Ecológica, en barras horizontales apiladas por densidad, frecuencia y dominancia relativas. *Roseodendron donnell-smithii* encabeza con un IVI de 15.3 sobre 300; las especies de la NOM-059 llevan estrella roja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El dato de esta figura es su **aplanamiento**. El IVI máximo del estrato es de **15.3 sobre 300**, y las cinco primeras especies —primavera, cuero de indio, barcino, chamizo y guásima— se reparten entre 15.3 y 11.6. Compárese con el gradiente de las tres escalas: el cóbano alcanza un IVI de 59.2 en el Área del Proyecto, la guásima 38.5 en el remanente del Área de Influencia, y aquí la primera especie no llega a 16. **Cuanto más íntegra es la comunidad, más plano es su perfil de importancia estructural.** El chamizo, primero en abundancia con casi el doble de individuos que su seguidor, desciende al cuarto lugar del IVI porque aparece en apenas cuatro de las veintidós lecturas de frecuencia: es una especie localmente gregaria, no una dominante regional.

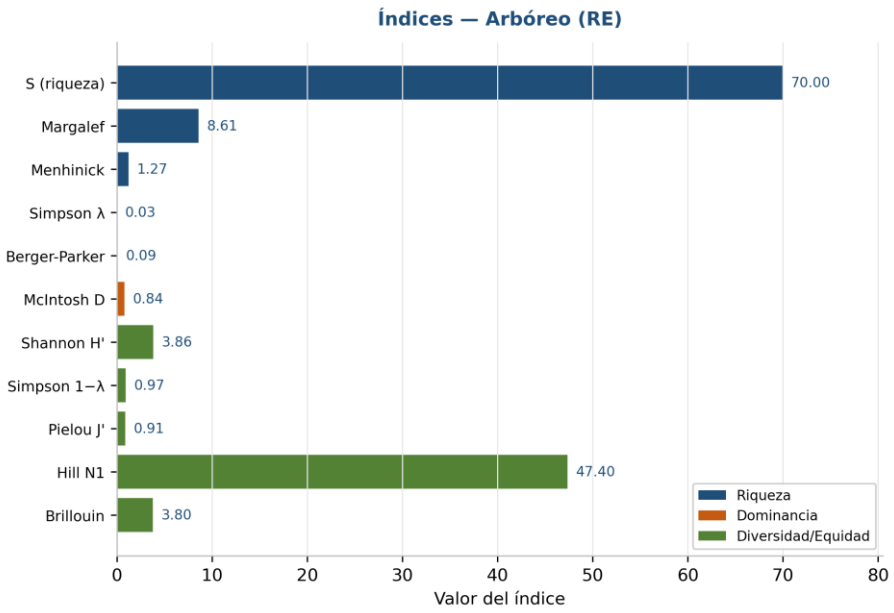


Figura 127. Índices de biodiversidad del estrato arbóreo y regeneración de la Región Ecológica (Moreno, 2001): riqueza, dominancia, equidad y números de Hill. La equidad de Pielou de 0.908 y el Berger-Parker de 0.093 describen una comunidad diversa y sin dominancia.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

La batería completa cierra el gradiente que las dos escalas menores anunciaban. El Shannon de **3.859** es el mayor de toda la flora del levantamiento, y la equidad de Pielou de **0.908** supera al 0.805 del Área de Influencia y al 0.719 del Área del Proyecto. Los números de Hill traducen la riqueza a diversidad efectiva: de las setenta especies presentes, `$N_1$` = 47.40 son efectivas y `$N_2$` = 34.13 verdaderamente abundantes —más de seis veces las 5.21 del predio—. El Margalef de 8.61 y la varianza de Shannon de 0.0002, la más baja de la flora regional, confirman que la estimación descansa sobre una muestra amplia.

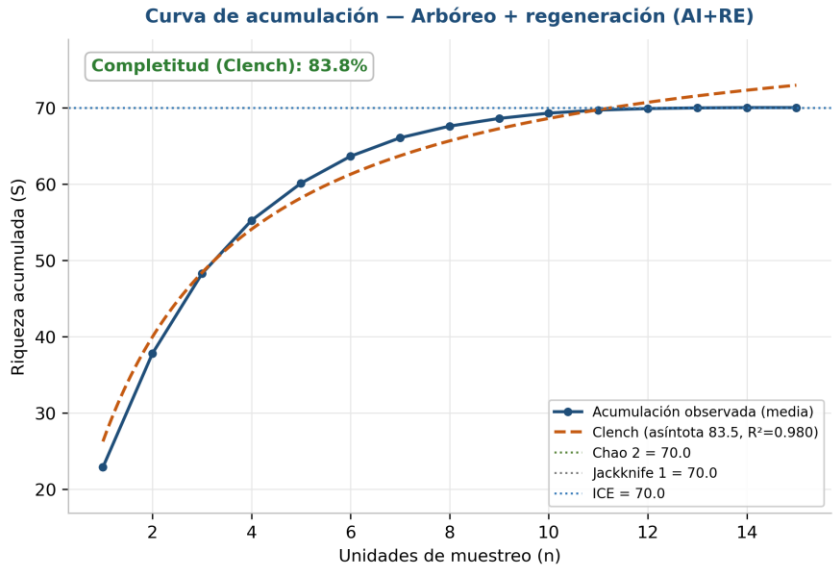


Figura 128. Curva de acumulación de la hectárea-tipo, construida sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica: quince sitios y setenta especies observadas, el 83.8 % de la asíntota de Clench (83.53).

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva **aún no se ha cerrado**, y es la del capítulo que más claramente lo declara. Su pendiente en el último sitio es de 0.62 especies por unidad de esfuerzo: cada sitio nuevo sigue aportando más de media especie leñosa. Los estimadores de incidencia **convergen ahora en la riqueza observada** —Chao 1, Chao 2, ICE y Jackknife 1 coinciden en 70.00, con el Jackknife 2 en 66.78 y el Bootstrap en 71.17—, señal de que apenas quedan especies vistas una sola vez; pero la asíntota de Clench se sitúa en 83.53, de donde sale la completitud del 83.8 %. La discrepancia entre los estimadores de incidencia, ya saturados, y el modelo de Clench, que sigue proyectando, indica que el estrato leñoso regional **conserva del orden de diez a quince especies por detectar** con mayor esfuerzo. La implicación es honesta y conviene enunciarla: la riqueza arbórea de la Región Ecológica está subestimada, lo que refuerza —no debilita— su papel de referente frente al predio, cuyo inventario sí está cerrado.

III.5.4.2 Flora — estrato arbustivo

Tabla 78. Abundancia del estrato arbustivo de la Región Ecológica.

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Verbesina oligantha	Vara prieta	Endémica	66	26.1	Dominante	5
Malvaviscus arboreus	Obelisco de cerro	Nativa	23	9.1	Común	6
Senna fruticosa	Senna	Nativa	20	7.9	Común	2
Rauvolfia tetraphylla	Sarna de perro	Nativa	19	7.5	Común	8
Verbesina fastigiata	Tacote blanco	Nativa	14	5.5	Común	4
Randia armata	Crucillo	Nativa	13	5.1	Común	8
Tournefortia mutabilis	Huele de noche	Nativa	13	5.1	Común	4
Acacia farnesiana	Huizache	Nativa	11	4.3	Escasa	5
Lasiacis divaricata	Otatillo	Nativa	9	3.6	Escasa	2
Rhipidocladum racemiflorum	Carricillo	Nativa	8	3.2	Escasa	5
Dalea foliosa	Escobilla	Nativa	8	3.2	Escasa	2
Urera caracasana	Quemadora caracasana	Nativa	6	2.4	Escasa	4
Hyperbaena ilicifolia	Gorda dura	Endémica	6	2.4	Escasa	4
Calliandra caeciliae	Calindra caeciliae	Nativa	6	2.4	Escasa	2
Roldana chapalensis	Rondala	Endémica	4	1.6	Escasa	4
Triumfetta semitriloba	Abrojo	Nativa	4	1.6	Escasa	3
Celtis iguanaea	Granjeno	Nativa	4	1.6	Escasa	3
Pisonia aculeata	Chorumo colmillo de puerco	Nativa	3	1.2	Escasa	3
Guettarda elliptica	Limoncillo tronco de guayabo	Nativa	3	1.2	Escasa	3
Bonellia macrocarpa subsp. pungens	Pica pendejos	Nativa	3	1.2	Escasa	3
Cnidoscolus multilobus	Quemadora palmeada	Nativa	3	1.2	Escasa	2
Piper hispidum	Piper lanceolado	Nativa	3	1.2	Escasa	2
Bonellia macrocarpa	Pica pendejos	Nativa	2	0.8	Escasa	2
Citharexylum affine	Cuadrado	Nativa	1	0.4	Escasa	1
Calliandra houstoniana	Calindra rosei	Nativa	1	0.4	Escasa	1
Total			**253**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). Ninguna especie está listada en la NOM-059 ni en la CITES; tres son endémicas y una, el limoncillo (Guettarda elliptica), figura en peligro crítico en la Lista Roja de la UICN. La abundancia relativa máxima, 26.1 %, reproduce el Berger-Parker de 0.261 (Anexo I).

Veinticinco especies y doscientos cincuenta y tres individuos: es, con diferencia, el estrato arbustivo más rico del levantamiento —cinco especies en el Área del Proyecto, catorce en el Área de Influencia—. Una sola especie alcanza la clase dominante, la **endémica *Verbesina oligantha***, *con el 26.1 %. El huizache, que*

*gobierna el arbustivo del predio con el 65.9 % de los individuos y un IVI de 213.3, aquí es la octava especie con once individuos y el 4.3 %**. Ese desplazamiento es el indicador más limpio de la condición sucesional: la pionera espinosa que domina el terreno perturbado ocupa, en la región conservada, un lugar marginal. Tres especies son endémicas y ninguna es exótica.

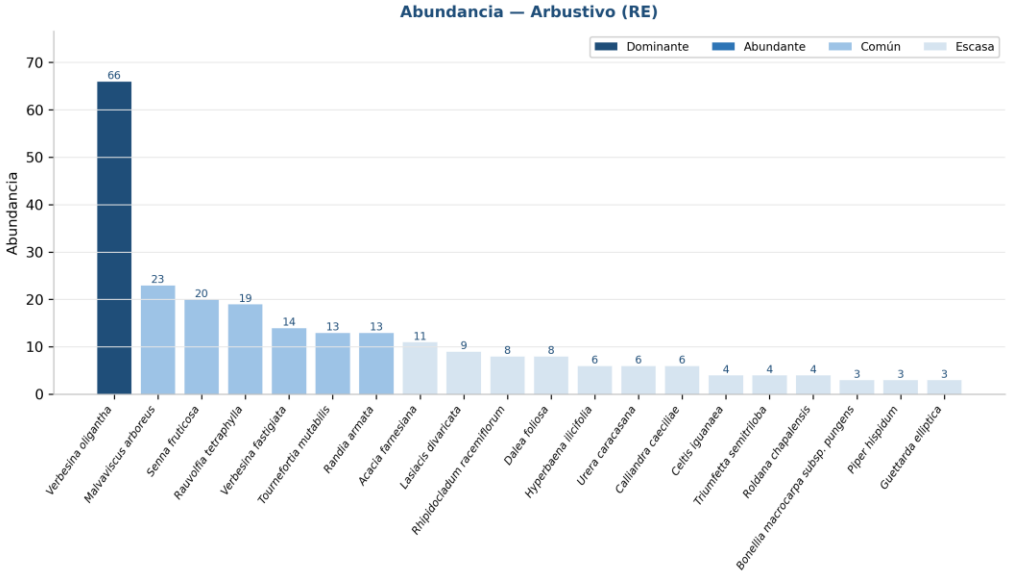


Figura 129. Abundancia por especie del estrato arbustivo de la Región Ecológica, ordenada de mayor a menor. *Verbesina oligantha* concentra sesenta y seis de los doscientos cincuenta y tres individuos.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

El perfil de barras cae con fuerza tras la primera especie y se estabiliza en una cola larga de veintitrés especies por debajo de los veinticinco individuos. Es el reparto característico de un sotobosque diverso con una especie localmente gregaria: la vara prieta, una compuesta arbustiva endémica de afinidad heliófila, se concentra en cinco de los once sitios. La sarna de perro y el crucillo, en cambio, están presentes en ocho cada una: son menos numerosas pero mucho más extendidas por la microcuenca.

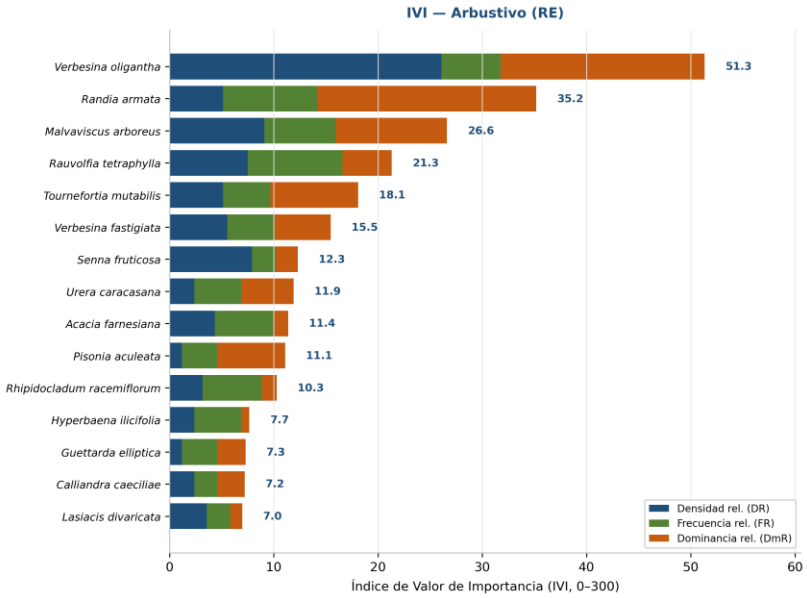


Figura 130. Índice de valor de importancia del estrato arbustivo de la Región Ecológica. *Verbesina oligantha* alcanza un IVI de 51.3 sobre 300.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Un IVI de **51.3 sobre 300** para la especie dominante, contra los 102.4 del cuadrado en el Área de Influencia y los 213.3 del huizache en el predio: el aplanamiento del perfil de importancia se repite aquí con la misma dirección que en el estrato leñoso. Tras la vara prieta, el **crucillo alcanza el segundo IVI (35.2) con trece individuos**, porque su presencia en ocho sitios le da la frecuencia relativa más alta del estrato. El obelisco de cerro y la sarna de perro completan un cuarteto que se reparte el peso estructural sin que ninguna especie lo acapare.

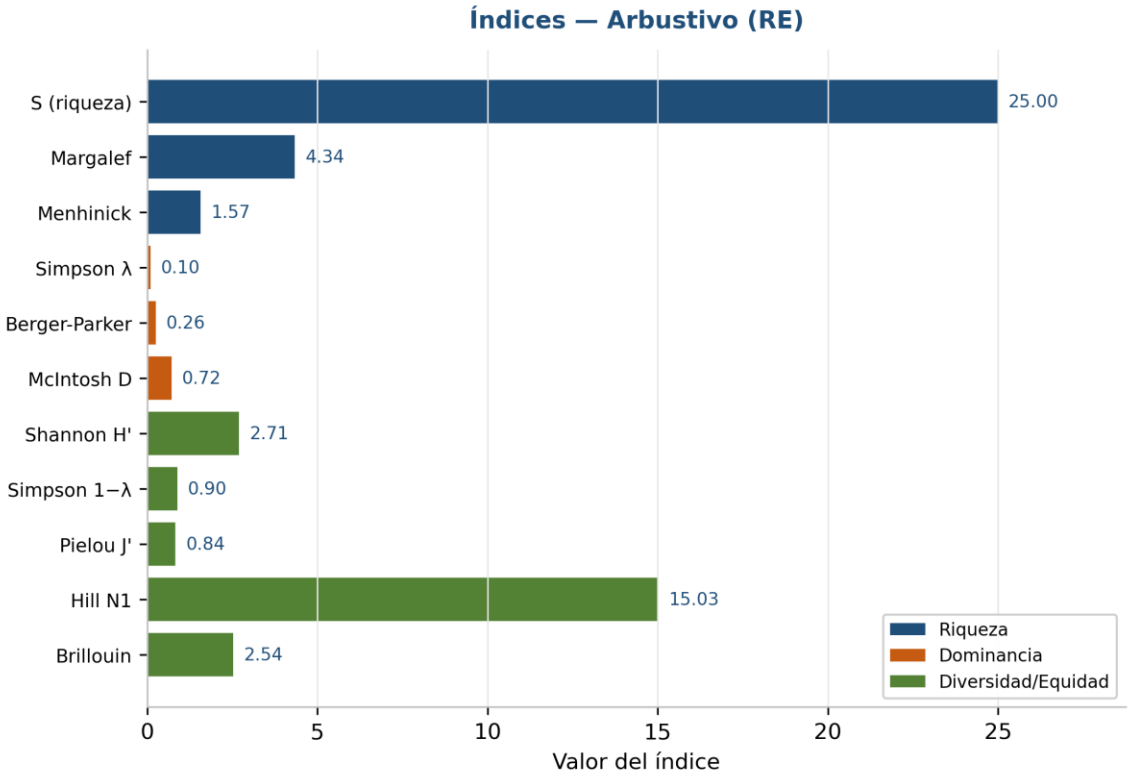


Figura 131. Índices de biodiversidad del estrato arbustivo de la Región Ecológica. Con veinticinco especies, la equidad de Pielou es de 0.842 y los números de Hill descienden hasta `$N_2$` = 9.53.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Con un Shannon de 2.710 y una equidad de 0.842, el arbustivo regional más que dobla en diversidad al del predio (1.106 y 0.687). Los números de Hill dan veinticinco especies presentes, 15.03 efectivas y 9.53 realmente abundantes. Es, sin embargo, **el estrato de mayor dominancia de la flora regional** (Berger-Parker 0.261), y la varianza de Shannon de 0.0042 —la segunda más alta de la flora de esta escala— recuerda que el peso de una sola especie sobre doscientos cincuenta y tres individuos introduce cierta inestabilidad en la estimación.

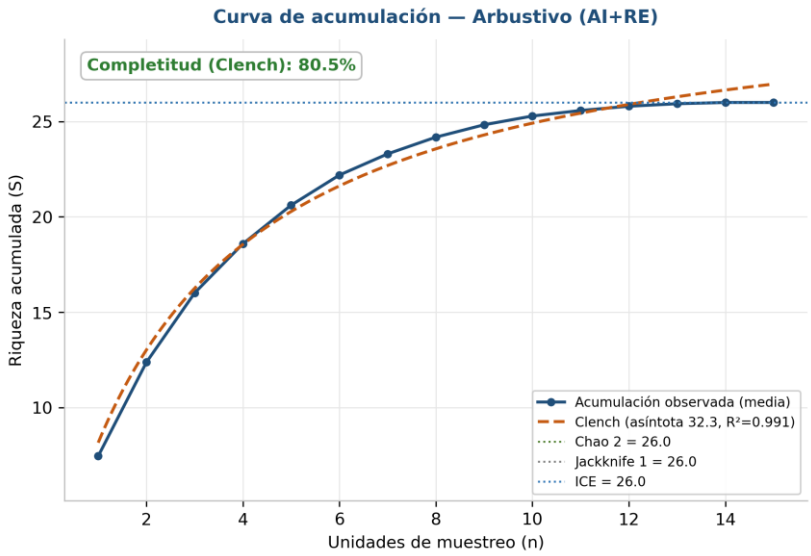


Figura 132. Curva de acumulación del estrato arbustivo sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica: quince sitios y veintiséis especies observadas, el 80.5 % de la asíntota de Clench (32.28).

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Esta curva exige la misma lectura cuidadosa que su homóloga del predio, y por la misma causa. **Chao 1, Chao 2, Jackknife 1 e ICE se detienen exactamente en 26.00**, la riqueza observada, porque casi no hay especies presentes en un solo sitio y los estimadores de incidencia se saturan; el Jackknife 2 cae incluso a 20.37, por debajo de lo observado, artefacto conocido del estimador cuando escasean los *duplicates*. Solo el modelo de Clench sigue proyectando, y su asíntota de 32.28 produce la **completitud del 80.5 %, la más baja de la flora**. Los dos diagnósticos no se contradicen: el inventario ha capturado a todas las especies detectables con este diseño, y el modelo advierte que un esfuerzo mayor encontraría más.

III.5.4.3 Flora — estrato de otras formas de vida

Tabla 79. Abundancia del estrato de otras formas de vida de la Región Ecológica (trepadoras, epífitas y suculentas).

Especie	Nombre común	Distribución	CITES	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Celastrus pringlei	Bejuco matapalo	Nativa	—	10	12.0	Abundante	5
Adenopodia gymnantha	Bejuco sierrilla	Nativa	—	10	12.0	Abundante	6
Cissus verticillata	Bejuco tripa de vaca	Nativa	—	9	10.8	Abundante	4
Aristolochia taliscana	Bejuco corchozo	Endémica	—	7	8.4	Común	4
Antigonon flavescens	Zarzal morado	Nativa	—	7	8.4	Común	4
Serjania brachycarpa	Bejuco serjania	Nativa	—	7	8.4	Común	4
Cynophalla flexuosa	Bejuco margarito	Nativa	—	6	7.2	Común	4
Combretum fruticosum	Bejuco peineta	Nativa	—	5	6.0	Común	3
Amphilophium crucigerum	Bejuco lengua de vaca	Nativa	—	5	6.0	Común	3
Pachycereus pecten-aboriginum	Pitayo ocho costillas	Endémica	II	5	6.0	Común	4

Especie	Nombre común	Distribución	CITES	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Attalea cohune	Palma de cayaco	Nativa	—	5	6.0	Común	2
Paullinia clavigera	Bejuco tres costillas	Nativa	—	3	3.6	Escasa	2
Acanthocereus tetragonus	Pitajaya	Nativa	II	2	2.4	Escasa	2
Antigonon leptopus	Zarzal morado	Nativa	—	2	2.4	Escasa	1
Total				**83**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). Ninguna especie está listada en la NOM-059 ni con categoría de amenaza de la UICN; dos cactáceas figuran en el apéndice II de la CITES. El máximo relativo, 12.0 %, reproduce el Berger-Parker de 0.120 (Anexo I).

Catorce especies, y este estrato deja de ser aquí lo que era en las escalas menores. En el predio y en el remanente del Área de Influencia todas sus especies eran trepadoras leñosas; en la Región Ecológica aparecen además **dos cactáceas columnares** —el pitayo de ocho costillas, endémico, y la pitajaya, ambas en el apéndice II de la CITES— y **una palma**, el cayaco. La categoría «otras formas de vida» recupera su sentido botánico completo: lianas, suculentas y una monocotiledónea arborescente. **Ninguna especie alcanza la clase dominante** y el descenso desde diez hasta dos individuos es el más suave del capítulo.

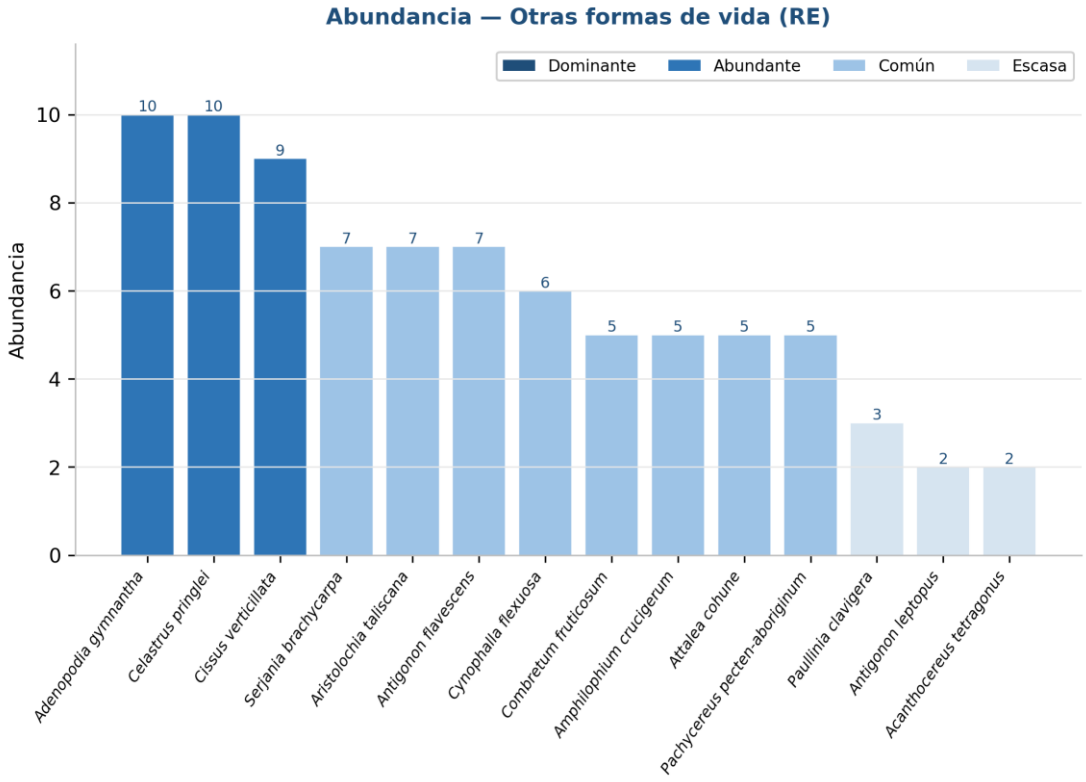


Figura 133. Abundancia por especie del estrato de otras formas de vida de la Región Ecológica. Las catorce especies se reparten entre 10 y 2 individuos, sin especie hegemónica.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La gráfica es una escalera casi continua de catorce peldaños, sin el pico único que caracteriza al estrato en el Área del Proyecto, donde el bejuco tripa de vaca acapara el 54.8 %. Aquí esa misma especie es la tercera, con el 10.8 %. Tres especies comparten la clase abundante y ocho la clase común. **Un estrato de trepadoras sin dominante es el correlato estructural de un dosel cerrado**: ninguna liana heliófila encuentra la ventaja de luz que le permitiría desbordarse sobre las demás.

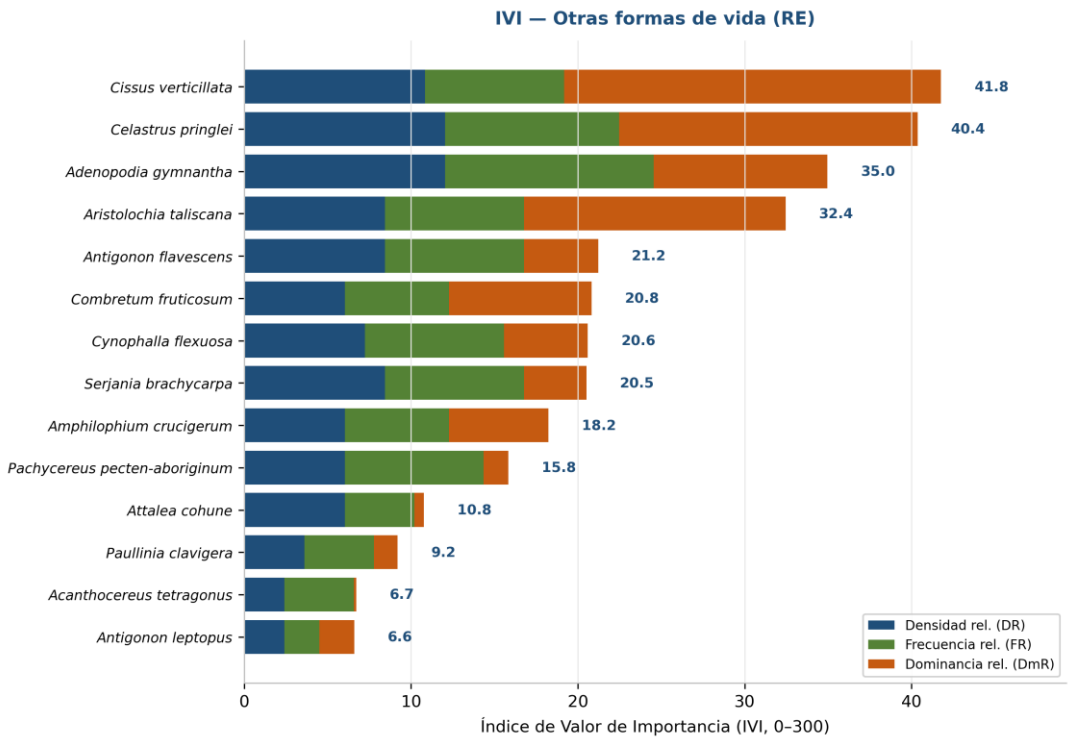


Figura 134. Índice de valor de importancia del estrato de otras formas de vida de la Región Ecológica. *Cissus verticillata* alcanza un IVI de 41.8 sobre 300.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El IVI del bejuco tripa de vaca, **41.8**, es menos de la tercera parte de los 147.6 que la misma especie alcanza en el predio, y apenas supera al bejuco matapalo (40.4) y al bejuco sierrilla (35.0). Merece señalarse de nuevo la posición de la endémica ***Aristolochia taliscana*: cuarta en importancia con 32.4**, por encima de especies más abundantes, gracias a su cobertura y a su presencia en cuatro sitios. Es la única especie del capítulo que aparece en las tres escalas y en todas ellas pesa más de lo que su conteo sugiere.

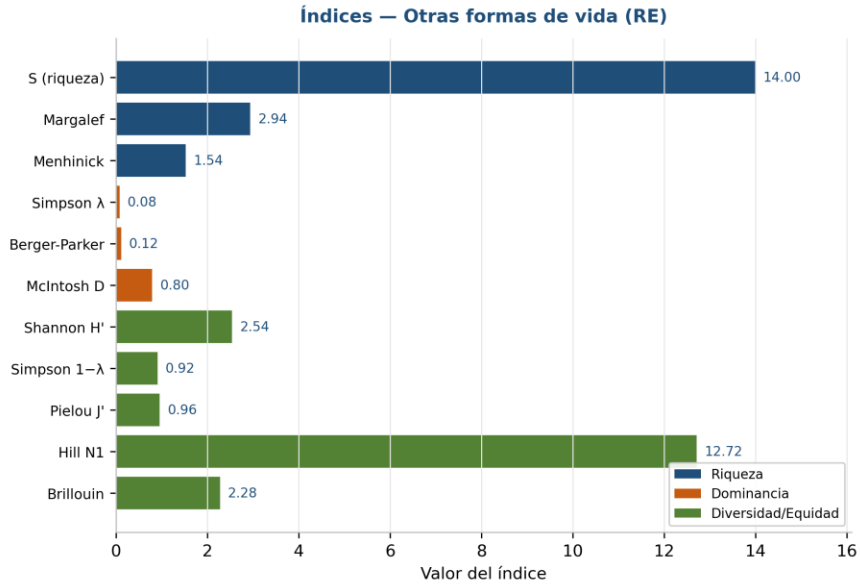


Figura 135. Índices de biodiversidad del estrato de otras formas de vida de la Región Ecológica. Catorce especies, equidad de Pielou de 0.964 y ` $N_2$ ` = 11.86 de un máximo de 14.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Con una equidad de Pielou de **0.964**, este estrato repite a escala regional lo que ya era cierto en el Área de Influencia (0.967): es el más equitativo de la flora. Los números de Hill lo confirman sin matices: catorce especies presentes, 12.72 efectivas y **11.86 verdaderamente abundantes**. Prácticamente ninguna especie es marginal. El Shannon de 2.543 está limitado por la riqueza, no por el reparto, y queda a menos de una décima de su máximo teórico de 2.639.

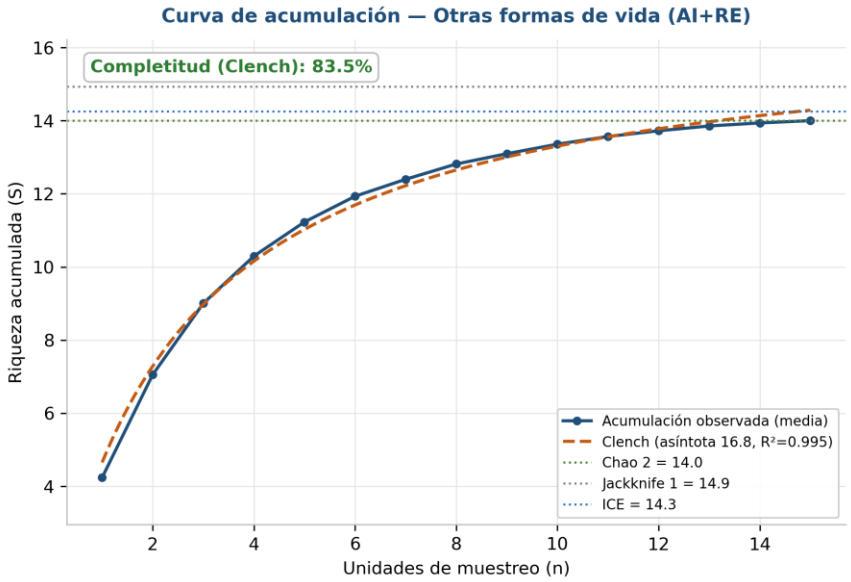


Figura 136. Curva de acumulación del estrato de otras formas de vida sobre el esfuerzo de contexto conjunto: quince sitios, catorce especies observadas, el 83.5 % de la asíntota de Clench (16.77).

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva se aplana pronto: **Chao 1 y Chao 2 coinciden en 14.00** con la riqueza observada, el ICE llega a 14.26 y el Jackknife 1 a 14.93, de modo que ningún estimador de incidencia sospecha más de una especie no detectada. La asíntota de Clench, en 16.77, da la completitud del 83.5 %. La pendiente final, 0.14 especies por sitio, es la segunda más baja de la flora. **El inventario de trepadoras, cactáceas y palmas de la Región Ecológica puede darse por suficiente**, a diferencia del leñoso y del arbustivo.

III.5.4.4 Flora — estrato herbáceo

Tabla 80. Abundancia del estrato herbáceo de la Región Ecológica.

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Oplismenus compositus	Pasto huevero	Nativa	81	12.4	Abundante	7
Elytraria imbricata	Cordoncillo	Nativa	75	11.5	Abundante	10
Cleome viscosa	Cola de rata	Exótica	45	6.9	Común	9
Sida glabra	Guinar escobero	Nativa	40	6.1	Común	8
Dicliptera resupinata	Maleza de las lomas	Nativa	39	6.0	Común	4
Gronovia scandens	Arroz de leche	Nativa	38	5.8	Común	8
Sicyos barbatus	Chayotillo tronador	Nativa	37	5.7	Común	6
Petiveria alliacea	Arriscale patrás	Nativa	35	5.4	Común	6
Lasiacis nigra	Pasto bolita	Nativa	34	5.2	Común	3
Abutilon trisulcatum	Acapán	Nativa	24	3.7	Escasa	4
Malachra fasciata	Malva jamaiquilla	Nativa	23	3.5	Escasa	5
Ipomoea purpurea	Campanilla morada	Endémica	21	3.2	Escasa	5

Especie	Nombre común	Distribución	Abundancia (N)	Abund. relativa (%)	Clase (Moreno)	Sitios con registro
Galinsoga parviflora	Manzanilla silvestre	Nativa	19	2.9	Escasa	5
Commelina diffusa	Tripa de pollo	Nativa	19	2.9	Escasa	4
Senna occidentalis	Retama	Nativa	17	2.6	Escasa	6
Momordica charantia	Pepinillo amarillo	**Exótica invasora**	16	2.5	Escasa	7
Macroptilium atropurpureum	Frijolillo fino	Nativa	16	2.5	Escasa	4
Lygodium venustum	Helecho enredadera	Nativa	14	2.1	Escasa	2
Martynia annua	Uña de gato	Nativa	12	1.8	Escasa	5
Abutilon abutiloides	Acapán aserrado	Nativa	10	1.5	Escasa	2
Cucurbita argyrosperma	Calabacilla	Nativa	9	1.4	Escasa	4
Indigofera suffruticosa	Frijolillo vaina	Exótica	7	1.1	Escasa	3
Panicum maximum	Pasto tanzania	**Exótica invasora**	5	0.8	Escasa	2
Begonia gracilis	Agrio	Nativa	5	0.8	Escasa	2
Desmodium tortuosum	Frijolillo	Nativa	4	0.6	Escasa	2
Mucuna sloanei	Pica pica	Nativa	4	0.6	Escasa	1
Cynodon dactylon	Grama	**Exótica invasora**	3	0.5	Escasa	1
Total			**652**	**100.0**		

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). El máximo relativo, 12.4 %, reproduce el Berger-Parker de 0.124 (Anexo I).

Veintisiete especies y **ninguna dominante**. Pero la cifra decisiva de esta tabla es la de las invasoras. Las tres exóticas invasoras que reaparecen en las tres escalas —pepinillo amarillo, pasto tanzania y grama— suman aquí **veinticuatro individuos, el 3.7 % de la abundancia herbácea**. En el Área de Influencia alcanzaban el 6.8 % y en el Área del Proyecto el 15.0 %. **La presión de las invasoras se cuadruplica al pasar de la región al predio**, y lo hace de forma monótona, sin excepciones. La grama, que es la tercera especie más abundante del herbáceo del predio con 143 individuos, aquí es la última de la lista con tres.

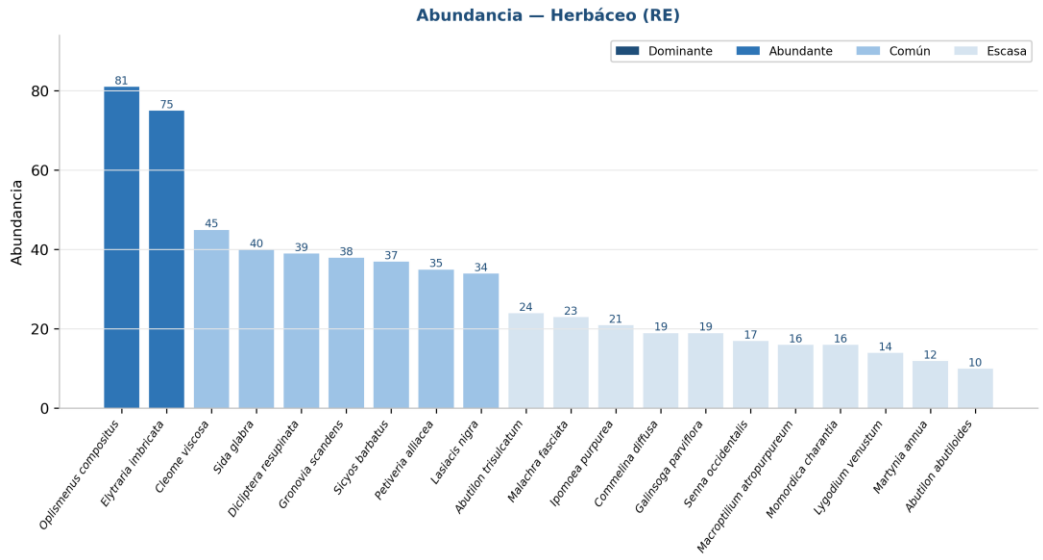


Figura 137. Abundancia por especie del estrato herbáceo de la Región Ecológica. El descenso desde 81 hasta 3 individuos es gradual, con nueve especies por encima del umbral de abundancia común.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Las dos primeras barras corresponden a gramíneas y acantáceas nativas de sotobosque —el pasto huevero y el cordoncillo—, y la primera exótica, la cola de rata, no aparece hasta la tercera posición con el 6.9 %. En el Área del Proyecto esa misma especie ocupa el segundo lugar en abundancia y **el primero en valor de importancia**. La figura permite ver, además, que nueve especies superan el umbral común del 5 %: el herbáceo regional reparte su abundancia entre un tercio de sus especies, mientras que el del predio la concentra en dos.

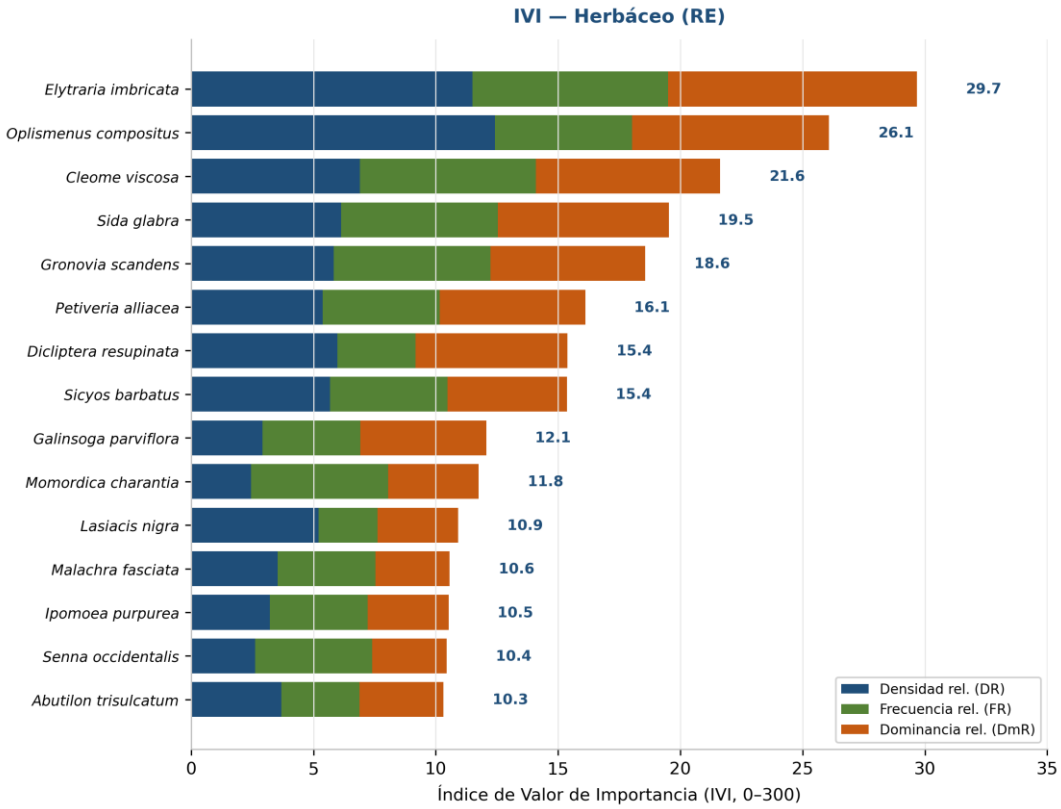


Figura 138. Índice de valor de importancia del estrato herbáceo de la Región Ecológica. *Elytraria imbricata* encabeza con un IVI de 29.7 sobre 300, pese a no ser la más abundante.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El desacople entre abundancia e importancia se repite por tercera vez, y su lectura es la misma en las tres escalas: manda la frecuencia. El **cordoncillo encabeza con un IVI de 29.7** pese a ser segundo en individuos, porque está presente en diez de los once sitios; el pasto huevero, más numeroso, se concentra en siete y queda en 26.1. La **cola de rata alcanza el tercer IVI (21.6)**, y es la única exótica del capítulo que figura entre las tres primeras de un estrato en las tres escalas: extendida en todas, pero dominante solo donde la comunidad está simplificada.

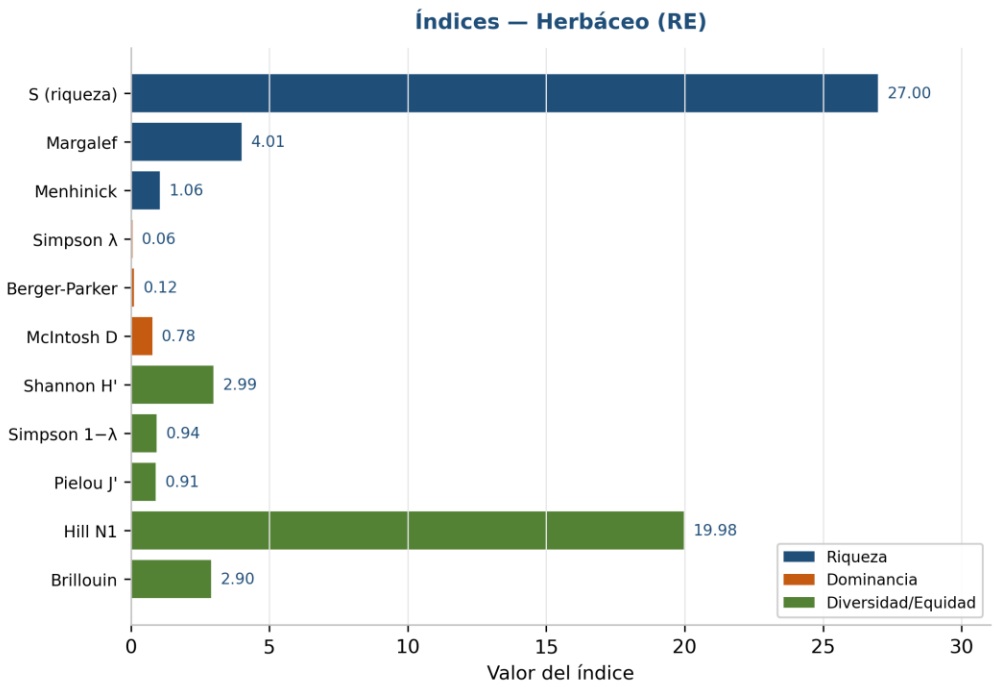


Figura 139. Índices de biodiversidad del estrato herbáceo de la Región Ecológica. Veintisiete especies, Shannon de 2.995 y equidad de Pielou de 0.909.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Todos los índices son mutuamente coherentes y todos superan a los de las escalas menores. El Shannon de 2.995, la equidad de 0.909 y el Simpson de 0.938 describen una comunidad rica y bien repartida; los números de Hill dan `$N_0$` = 27, `$N_1$` = 19.98 y `$N_2$` = 16.19, de modo que **tres de cada cinco especies herbáceas de la región son efectivamente abundantes**. La varianza de Shannon, 0.0008 sobre 652 individuos, es de las más bajas del capítulo: la estimación es sólida y admite ser usada como línea base.

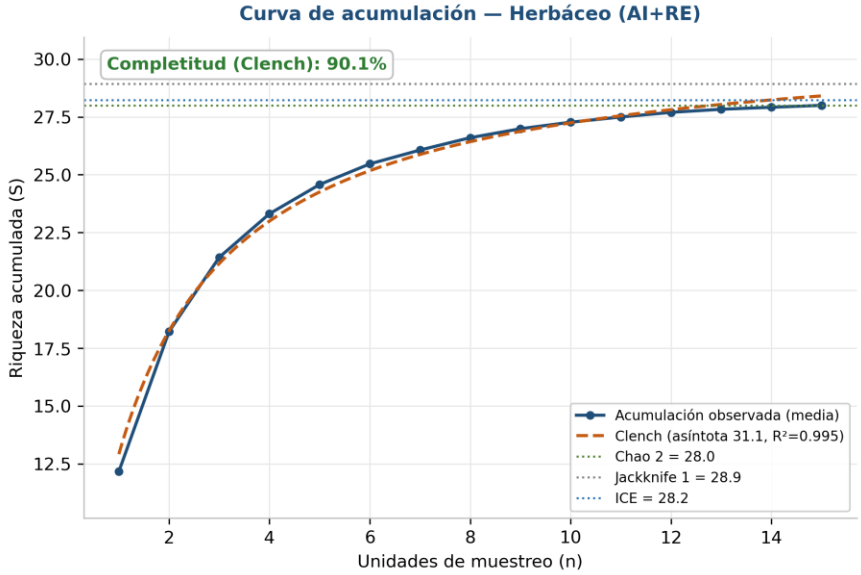


Figura 140. Curva de acumulación del estrato herbáceo sobre el esfuerzo de contexto conjunto: quince sitios, veintiocho especies observadas, el 90.1 % de la asíntota de Clench (31.07).

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva alcanza la asíntota antes que ninguna otra de la flora y su completitud del **90.1 %** es la más alta del estrato vegetal en cualquier escala. Chao 1, Chao 2 e ICE coinciden en 28.00 con la riqueza observada, y la pendiente final, de 0.16 especies por sitio, confirma la saturación. Ese cierre estadístico da respaldo a la conclusión que el diagnóstico ambiental empleará: **el gradiente de invasión herbácea —3.7 % en la región, 6.8 % en el remanente, 15.0 % en el predio— no es un artefacto de esfuerzo desigual**, porque el estrato está bien inventariado en las tres escalas.

III.5.4.5 Flora — análisis integrado de la Región Ecológica

Tabla 81. Comparativa de índices de diversidad entre los estratos de flora de la Región Ecológica.

Estrato	`S`	`N`	`DMg`	`DMn`	`λ`	`1−λ`	`d` (Berger-Parker)	`D` (McIntosh)	`H'`	`H'max`	`Var H'`	`J'`	`HB` (Brillouin)	N_0	N_1	N_2	IVI dominante	Completitud (%) †
Arbóreo + regeneración	70	3,024	8.61	1.27	0.029	0.971	0.093	0.844	3.859	4.248	0.0002	0.908	3.800	70	47.40	34.13	*Roseodendron donnell-smithii* (15.3)	83.8
Herbáceo	27	652	4.01	1.06	0.062	0.938	0.124	0.782	2.995	3.296	0.0008	0.909	2.904	27	19.98	16.19	*Elytraria imbricata* (29.7)	90.1
Arbustivo	25	253	4.34	1.57	0.105	0.895	0.261	0.721	2.710	3.219	0.0042	0.842	2.542	25	15.03	9.53	*Verbesina oligantha* (51.3)	80.5
Otras formas de vida	14	83	2.94	1.54	0.084	0.916	0.120	0.797	2.543	2.639	0.0029	0.964	2.282	14	12.72	11.86	*Cissus verticillata* (41.8)	83.5

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto — índices de diversidad (Anexo I); completitud (Anexo H). La abundancia del estrato arbóreo se expresa en ind·ha⁻¹; la de los demás, en individuos sobre el área muestreada. † La completitud, sus estimadores y la curva se calculan sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica (quince sitios), no sobre los once sitios de la Región Ecológica sola. La riqueza observada de esas curvas —70, 28, 26 y 14— incluye por tanto las especies exclusivas del Área de Influencia y no coincide con la columna `S`.

La tabla ordena los cuatro estratos regionales. **La mayor riqueza y la mayor diversidad corresponden al arbóreo** (`S` = 70, `H'` = 3.859), a diferencia de las dos escalas menores, donde el herbáceo encabezaba ambos ejes. **La mayor equidad es del estrato de trepadoras, cactáceas y palmas** (`J'` = 0.964), como en el Área de Influencia. **La mayor dominancia es del arbustivo** (`d` = 0.261), y **la mayor completitud del herbáceo** (90.1 %), frente al 80.5 % del arbustivo.

Los índices son coherentes entre sí y el patrón es sistemático: en los cuatro estratos, donde el Berger-Parker sube, el Pielou baja y el Simpson `1−λ` se reduce. Pero la comparación entre escalas es la que da sentido a este apartado. **Los cuatro estratos de la Región Ecológica superan a los del Área de Influencia en riqueza y en diversidad efectiva, y éstos a los del Área del Proyecto, sin una sola excepción.** El estrato leñoso pasa de 18 a 44 y a 70 especies; su equidad, de 0.719 a 0.805 y a 0.908; y el IVI de su especie dominante desciende de 59.2 a 38.5 y a 15.3.

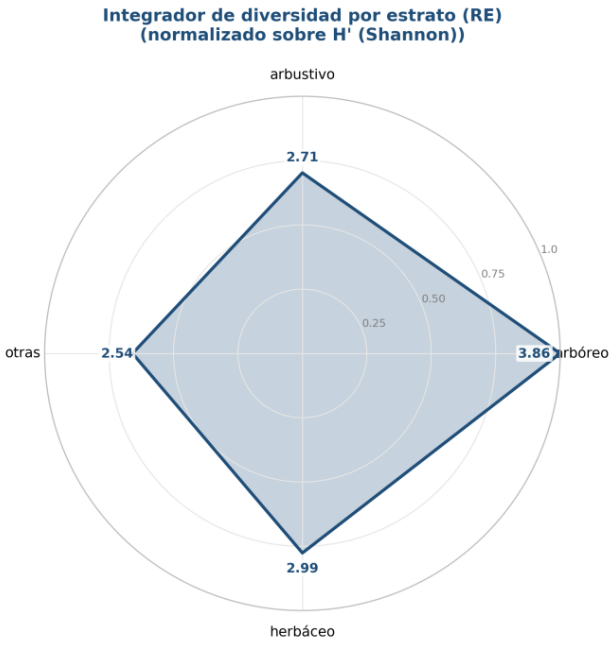


Figura 141. Integrador de diversidad por estrato de la Región Ecológica: riqueza, Shannon, Simpson, Pielou y Margalef en ejes normalizados.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El radar regional extiende su superficie por los cinco ejes, sin el colapso que el estrato arbustivo produce en el polígono del Área del Proyecto. El vértice de riqueza y el de Margalef los sostiene el arbóreo; el de equidad, las trepadoras. Ningún estrato se contrae. Esa geometría es la definición gráfica de un sistema de referencia: **el radar de la Región Ecológica es la forma que el predio de compensación debería aproximar, y contra la que se mide cuánto se aleja de ella el Área del Proyecto**.

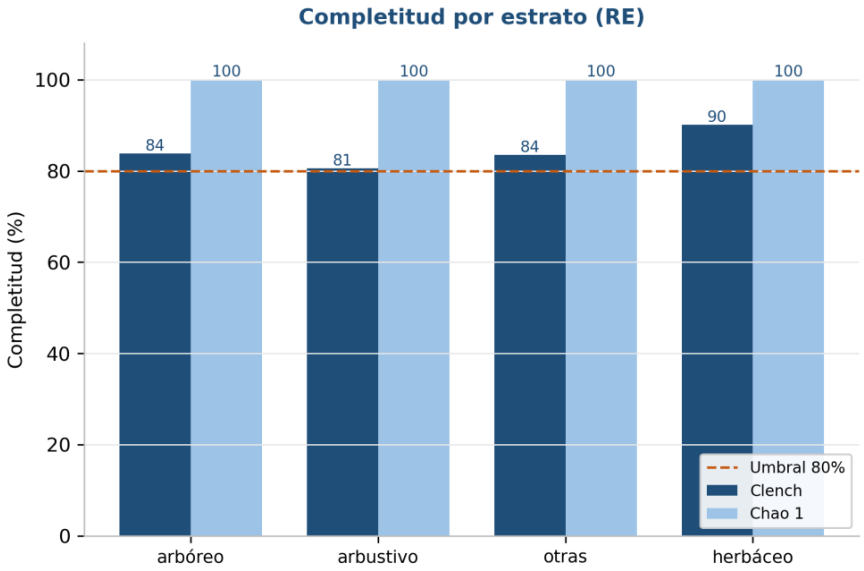


Figura 142. Completitud del muestreo por estrato, Clench frente a Chao 1, sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica. El herbáceo alcanza el 90.1 % y el arbustivo se queda en el 80.5 %.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La figura enfrenta los dos criterios y explica su divergencia. Según **Chao 1, los cuatro estratos alcanzan o rozan el 100 %** —el leñoso incluido, ahora que sus estimadores de incidencia convergen en la riqueza observada—; según **Clench, ninguno pasa del 90.1 %**. No es una contradicción sino una diferencia de

pregunta: Chao 1 estima cuántas especies quedan por detectar a partir de las que se vieron una y dos veces —y casi no hay singletons—, mientras que Clench extrapola la forma de la curva y proyecta el rendimiento de un esfuerzo mayor. Para un inventario forestal, la lectura prudente es la de Clench, y ésta indica que **el arbustivo y el arbóreo de la región siguen aportando especies**. El capítulo adopta la cifra de Clench en todas sus tablas.

Tabla 82. bis. Estimadores de riqueza de las ocho unidades de la Región Ecológica (curvas de acumulación).

Unidad	`S` obs	Chao 1	Chao 2	Jackknife 1	Jackknife 2	Bootstrap	ICE	R² Clench	Completitud
Arbóreo + regeneración	70	70.00	70.00	70.00	66.78	71.17	70.00	0.980	83.8 %
Arbustivo	26	26.00	26.00	26.00	20.37	27.02	26.00	0.991	80.5 %
Otras formas de vida	14	14.00	14.00	14.93	13.39	14.76	14.26	0.995	83.5 %
Herbáceo	28	28.00	28.00	28.93	27.39	28.84	28.23	0.995	90.1 %
Anfibios	3	3.00	3.00	3.00	2.47	3.12	3.00	0.964	73.5 %
Aves	50	50.00	50.00	50.00	46.21	50.60	50.00	0.972	90.5 %
Mamíferos	21	21.00	21.00	21.00	18.73	21.36	21.00	0.978	89.1 %
Reptiles	19	19.00	19.00	19.92	19.23	19.64	19.26	0.993	89.0 %

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H). Los siete estimadores de riqueza y la completitud de Clench se calculan sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica.

Los siete estimadores no paramétricos confirman la lectura de las curvas. En las ocho unidades, Chao 1, Chao 2 e ICE coinciden con la riqueza observada o la superan apenas —el inventario está casi cerrado—, mientras que **Jackknife 2**, el más sensible a las especies raras, es el único que se sitúa por debajo de la riqueza observada, sobre todo en el arbustivo (20.37 frente a 26). El **ajuste de Clench es excelente en todos los conjuntos** —R^2 entre **0.964** (anfibios) y **0.995** (herbáceo y otras formas de vida)—, lo que respalda las completitudes que el capítulo adopta.

III.5.4.6 Fauna — Aves

Tabla 83. Índices de diversidad del grupo Aves en la Región Ecológica.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	50	Muy alta	El grupo más rico del levantamiento
Abundancia `N` (eventos)	262	—	Suma de las dos temporadas
Margalef `DMg`	8.80	Muy alta	La mayor del capítulo
Menhinick `DMn`	3.09	Muy alta	Coherente con Margalef
Simpson `λ`	0.027	Muy baja	Dominancia mínima
Simpson `1−λ`	0.973	Muy alta	Comunidad muy diversa
Berger-Parker `d`	0.057	Muy baja	Ninguna especie supera el 6 %
McIntosh `D`	0.891	Muy alta	Reparto muy homogéneo
Shannon `H'`	3.765	Muy alta	La mayor de todo el capítulo
`H'max`	3.912	—	Máximo teórico con 50 especies
Varianza de `H'`	0.0015	Muy baja	Estimación robusta
Pielou `J'`	0.962	Muy alta	Equidad casi perfecta
Brillouin `HB`	3.455	Muy alta	Confirma a Shannon
Hill N_0 / N_1 / N_2	50 / 43.17 / 37.19	—	43 especies efectivas de 50

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto, tabla de índices (Anexo I; Moreno, 2001).

Cincuenta especies de aves en seis recorridos, la mayor riqueza y la mayor diversidad de todo el levantamiento. El Pielou de **0.962** y el Berger-Parker de **0.057** describen una comunidad donde ninguna

especie llega al 6 % de los registros, y los números de Hill confirman lo excepcional del reparto: de las cincuenta especies presentes, **43.17 son efectivas y 37.19 verdaderamente abundantes**, la proporción más alta del capítulo en cualquier escala y cualquier grupo. Cuatro especies figuran en la NOM-059, diez en la CITES y siete son endémicas.

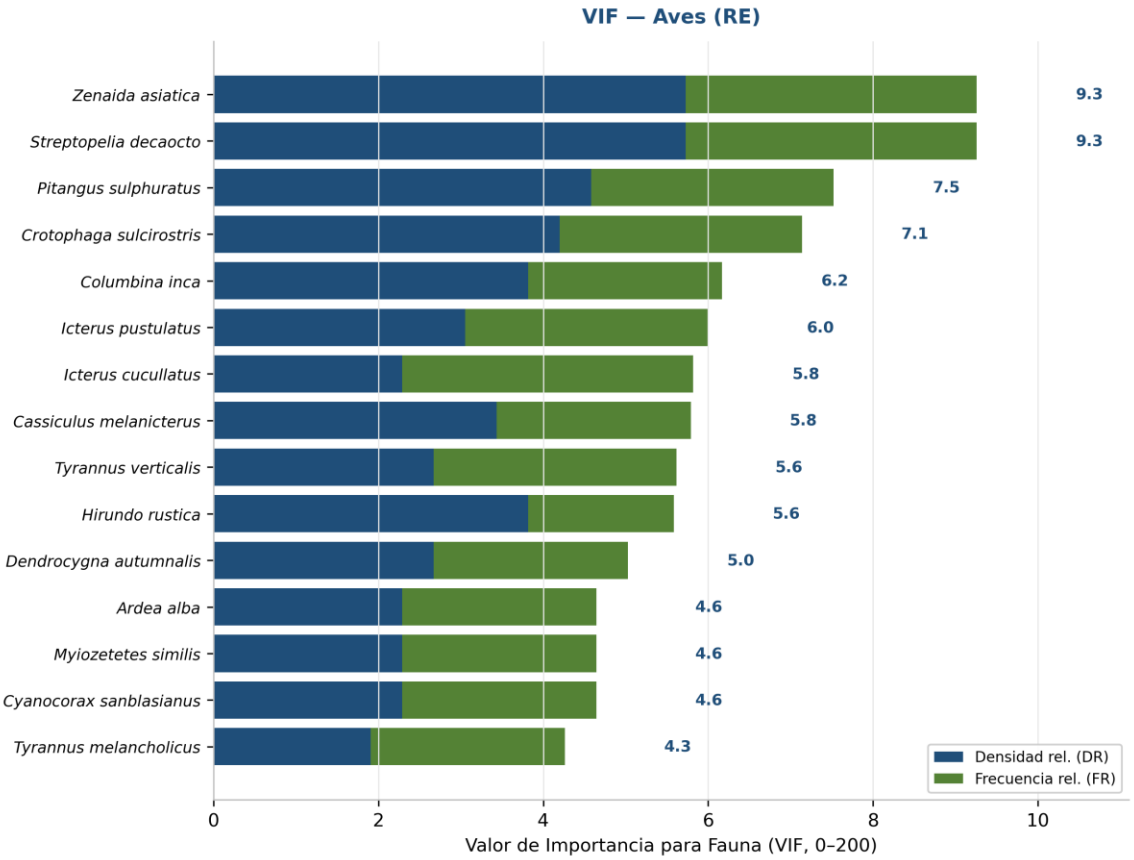


Figura 143. Valor de importancia de fauna del grupo Aves en la Región Ecológica, en barras horizontales por densidad y frecuencia relativas. *Zenaida asiatica* y *Streptopelia decaocto* empatan en la cabeza con un VIF de 9.3 sobre 200; las especies de la NOM-059 llevan estrella roja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Un VIF máximo de **9.3 sobre 200** es la cifra que mejor resume la equidad del grupo, y es la más baja de todo el capítulo. Pero la figura obliga a registrar un hecho incómodo: **la especie que empata en el primer puesto con la paloma de alas blancas es *Streptopelia decaocto*, la paloma turca de collar, una exótica invasora**, con quince eventos en los seis recorridos. Ya era la cuarta ave del Área de Influencia; aquí comparte la cabeza. Su presencia con igual peso estructural que la nativa más importante, y a escala de toda la microcuenca, sitúa la invasión aviar más allá del entorno urbano inmediato del predio.

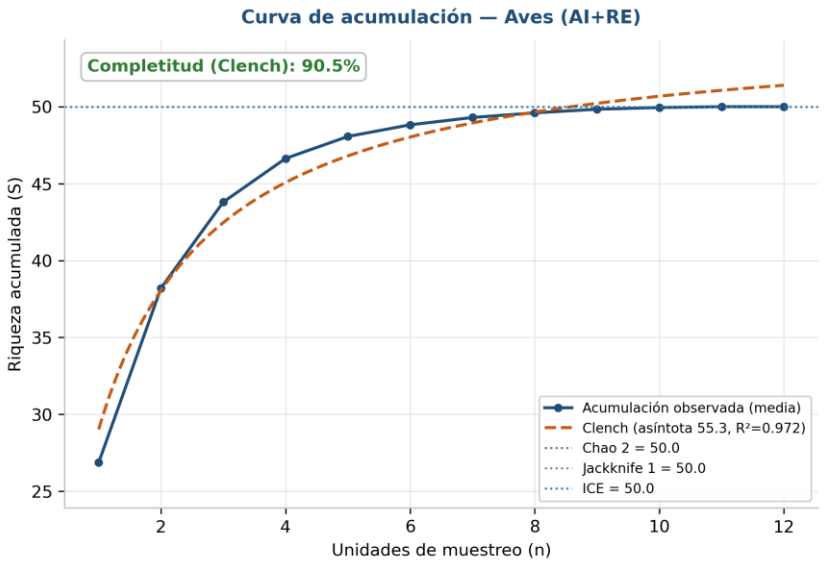


Figura 144. Curva de acumulación del grupo Aves sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica: doce recorridos, cincuenta especies observadas y una completitud del 90.5 %, la más alta del levantamiento.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

La curva se cierra con **Chao 1, Chao 2, Jackknife 1 e ICE clavados en 50.00**, la riqueza observada: sin un solo singleton en doce recorridos, ningún estimador de incidencia sospecha especies no detectadas. La asíntota de Clench, en 55.27, produce la completitud del 90.5 %, la mayor de las ocho unidades del apartado. La pendiente final, 0.30 especies por recorrido, es la más alta de la fauna, lo que indica que un esfuerzo adicional aún aportaría avifauna —previsiblemente rapaces y acuáticas, los grupos más difíciles de detectar— . **Doce recorridos bastaron para inventariar la avifauna de la microcuenca.**

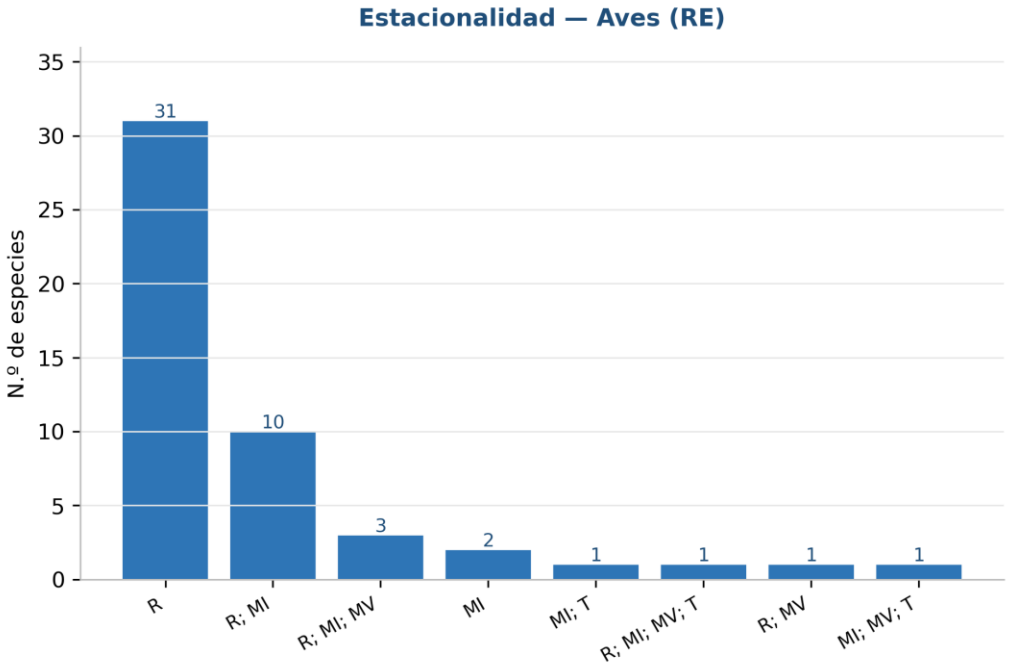


Figura 145. Estacionalidad de las especies de aves de la Región Ecológica. De las cincuenta especies, treinta y una son exclusivamente residentes y diecinueve presentan algún componente migratorio.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

El desglose reproduce, con once especies más, el patrón del Área de Influencia: **treinta y una residentes, diez residentes que además reciben poblaciones migratorias invernales**, tres con componentes invernal y de verano, dos exclusivamente migratorias de invierno y cuatro más con combinaciones que incluyen paso de tránsito. Diecinueve especies —el 38 %— dependen de la microcuenca en alguna fase de su ciclo migratorio, y **cuatro no son residentes en absoluto**. El contingente migratorio regional es idéntico en número al del remanente del Área de Influencia: las especies que migran usan ambas escalas por igual.

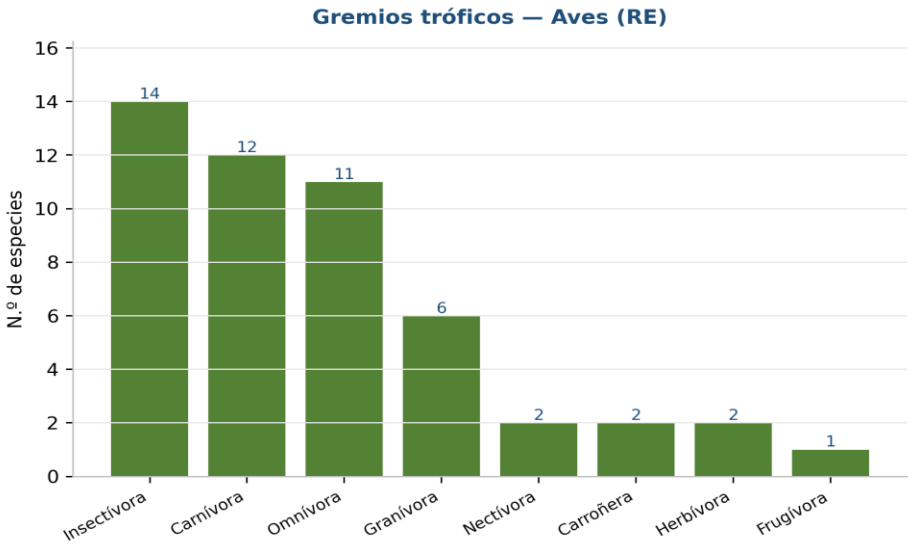


Figura 146. Gremios tróficos de las aves de la Región Ecológica. El gremio insectívoro domina con catorce especies, sobre un total de ocho gremios representados.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Ocho gremios tróficos —insectívoro con catorce especies, carnívoro con doce, omnívoro con once, granívoro con seis, nectarívoro, carroñero y herbívoro con dos cada uno, y frugívoro con una— componen la red trófica más compleja del capítulo, un gremio más que en el Área de Influencia. La aparición del gremio frugívoro, ausente en las dos escalas menores, es significativa: **la frugivoría exige árboles adultos en fructificación**, y su presencia solo a escala regional confirma que ni el predio ni el remanente sostienen un dosel maduro con esa capacidad.

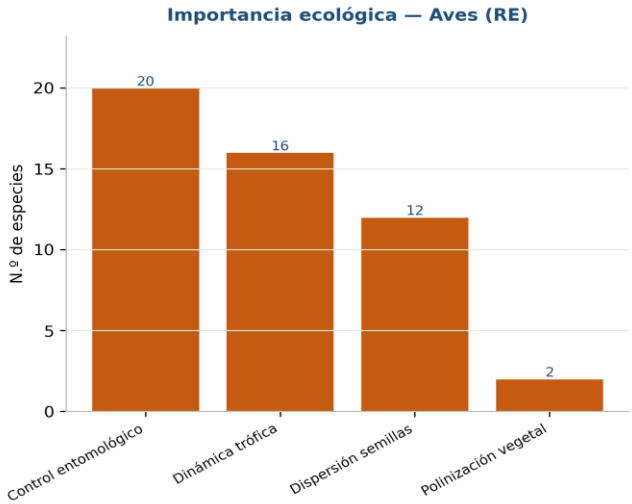


Figura 147. Importancia ecológica de las aves de la Región Ecológica. Veinte especies cumplen funciones de control entomológico y doce dispersan semillas.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

De las cincuenta especies, **veinte prestan servicio de control entomológico, dieciséis participan en la dinámica trófica, doce dispersan semillas y dos polinizan**. Las doce dispersoras son la cifra operativa de esta figura: son las que reintroducen propágulos arbóreos en un terreno desmontado, y son cuatro más que en el remanente del Área de Influencia. **La regeneración natural del predio de compensación depende de que esas doce especies conserven hábitat en la microcuenca**, no solo en el fragmento contiguo al proyecto.

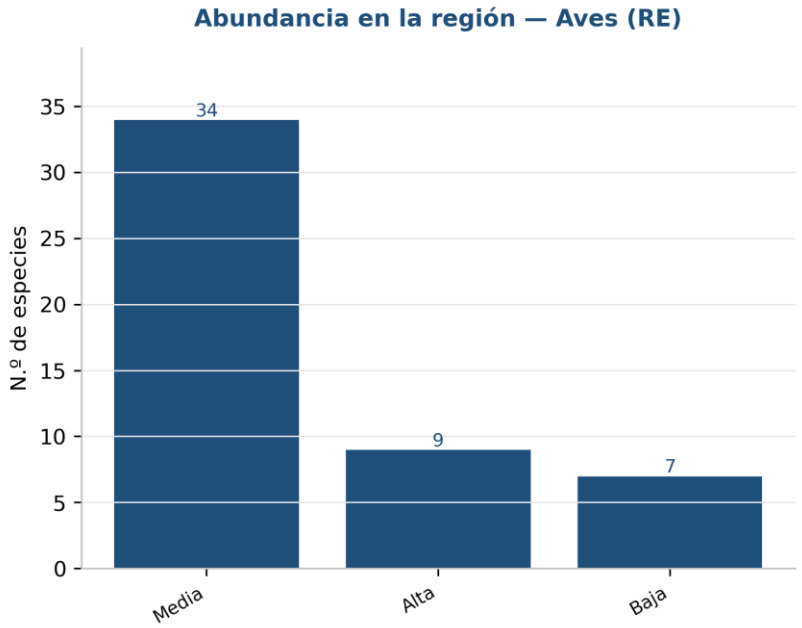


Figura 148. Abundancia regional de las especies de aves registradas en la Región Ecológica. Treinta y cuatro especies de abundancia media, nueve de abundancia alta y siete de abundancia baja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Siete especies de aves son de abundancia regional baja, dos más que en el Área de Influencia, y su composición es reveladora: cinco son rapaces —gavilán pecho canela, aguililla cola corta, aguililla gris, gavilán rastrero y tecolote colimense—, una es el carpintero lineado y la última la monjita americana. Tres de las siete están además listadas en la NOM-059. Que la rareza regional se concentre en depredadores tope y en un carpintero de gran talla, dependientes ambos de arbolado maduro, señala **dónde es más frágil el sistema: en la cúspide de la red trófica y en los árboles viejos que la sostienen**.

III.5.4.7 Fauna — Mamíferos

Tabla 84. Índices de diversidad del grupo Mamíferos en la Región Ecológica.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	21	Media-alta	Segundo grupo más rico
Abundancia `N` (eventos)	83	—	Suma de las dos temporadas
Margalef `DMg`	4.53	Alta	Riqueza elevada respecto de la abundancia
Menhinick `DMn`	2.31	Alta	Coherente con Margalef
Simpson `λ`	0.056	Muy baja	Dominancia mínima
Simpson `1−λ`	0.944	Muy alta	Comunidad muy diversa
Berger-Parker `d`	0.096	Muy baja	La dominante no llega al 10 %
McIntosh `D`	0.858	Alta	Reparto homogéneo
Shannon `H'`	2.964	Alta	—

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
`H'max`	3.045	—	Máximo teórico con 21 especies
Varianza de `H'`	0.0034	Baja	Estimación estable
Pielou `J'`	0.974	Muy alta	La mayor equidad de la fauna regional
Brillouin `HB`	2.599	Alta	Confirma a Shannon
Hill N_0 / N_1 / N_2	21 / 19.37 / 17.89	—	19 especies efectivas de 21

Fuente: la misma.

Veintiuna especies y ochenta y tres eventos, con una equidad de Pielou de **0.974: la mayor de la fauna regional**, e idéntica a la que el grupo alcanza en el Área de Influencia. Los números de Hill —19.37 efectivas y 17.89 abundantes, de veintiuna presentes— no dejan margen para especies marginales. Ninguna figura en la NOM-059; cuatro son endémicas y una, el coatí, está listada en el apéndice III de la CITES. La riqueza asciende de 14 en el predio a 16 en el remanente y a 21 aquí.

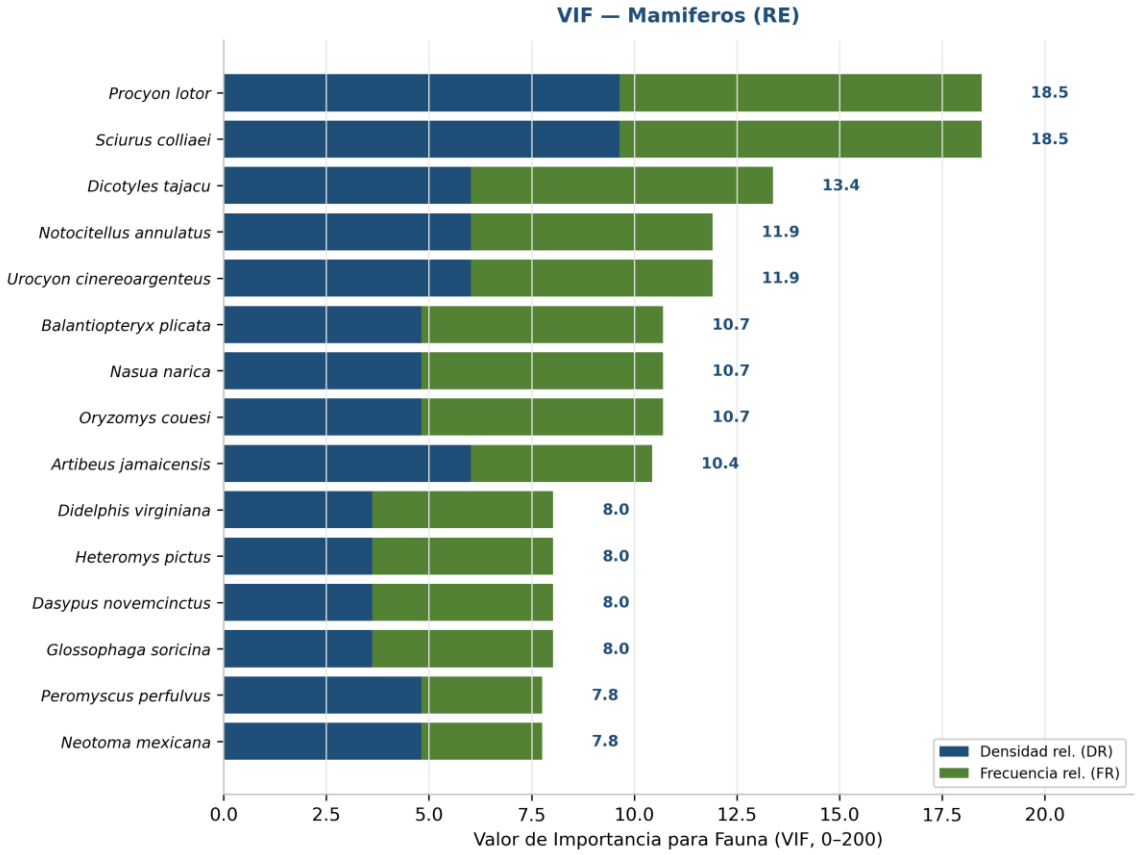


Figura 149. Valor de importancia de fauna del grupo Mamíferos en la Región Ecológica. *Procyon lotor* y *Sciurus colliaei* empatan en la cabeza con un VIF de 18.5 sobre 200.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El mapache y la ardilla gris del Pacífico empatan en **18.5**, seguidos por el **pecarí de collar (13.4)**, el tesmo y la **zorra gris**, ambos en 11.9. El perfil es aún más aplanado que el del Área de Influencia, donde el mapache alcanzaba 21.6, y muy lejos del 32.6 de la ardilla de tierra anillada en el predio. Dos especies merecen mención por lo que su presencia implica: el pecarí de collar y la zorra gris son mamíferos de ámbito hogareño amplio, **ausentes de las 3.4 ha del Área del Proyecto**, y su registro regular en la microcuenca acredita que ésta conserva superficie continua suficiente para sostenerlos.

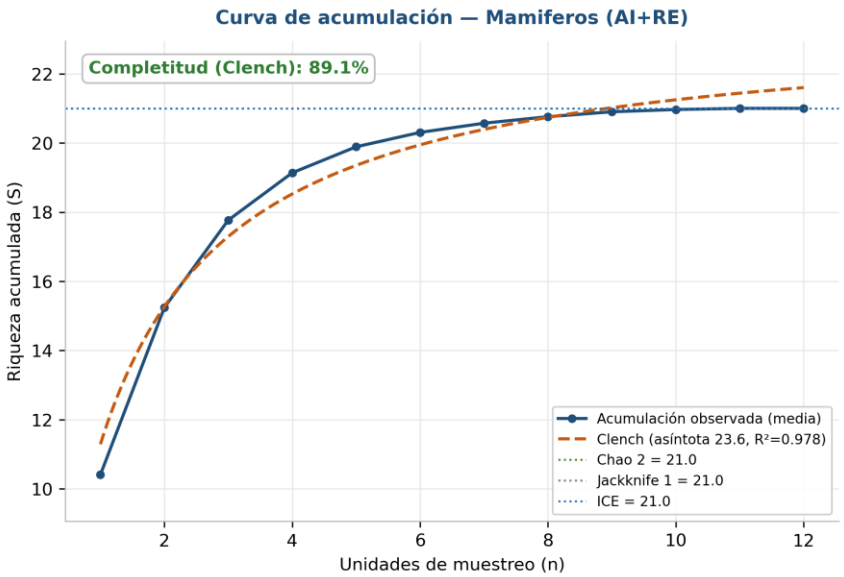


Figura 150. Curva de acumulación del grupo Mamíferos sobre el esfuerzo de contexto conjunto: doce recorridos, veintiuna especies observadas y una completitud del 89.1 %.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Como en el predio, el ascenso de la curva es **escalonado** y no suave: los mamíferos se detectan por fototrampeo y por rastro, y cada nuevo registro incorpora una especie de golpe. Chao 1, Chao 2, Jackknife 1 e ICE se estabilizan en 21.00 sin un solo singleton, y la asíntota de Clench queda en 23.56, de donde sale la completitud del 89.1 %. La pendiente final, de 0.15 especies por recorrido, indica saturación. **El elenco de mamíferos de la microcuenca puede darse por inventariado**, con una o dos especies crípticas —probablemente murciélagos— aún por detectar.

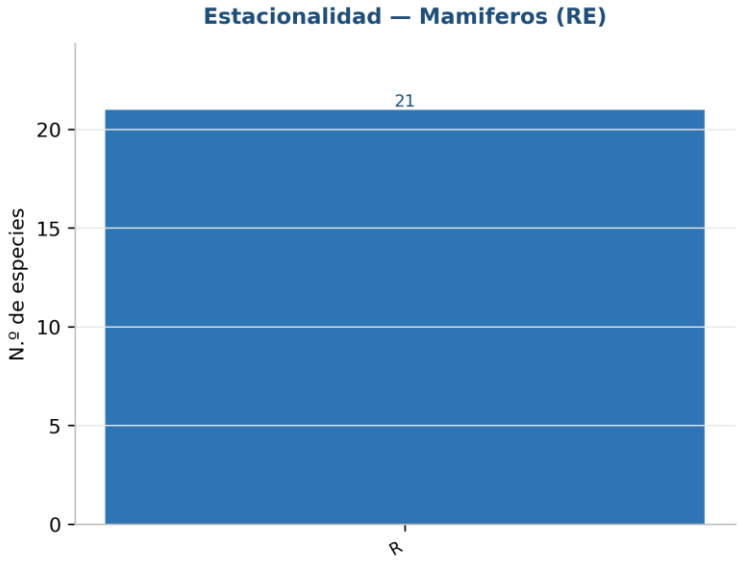


Figura 151. Estacionalidad de las especies de mamíferos de la Región Ecológica. Las veintiuna especies son residentes.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura muestra una sola categoría, como en las dos escalas menores: **las veintiuna especies son residentes permanentes**, sin componente migratorio. El desglose por temporada del motor añade el matiz operativo: dieciséis especies se detectaron en la temporada seca y veinte en la húmeda, con abundancias casi iguales —44 y 39 eventos—. La residencia es total y la detectabilidad apenas varía; a diferencia del Área

de Influencia, donde el contraste entre temporadas era de dieciocho contra cincuenta y dos eventos, aquí el esfuerzo regional captura al grupo con la misma eficacia en ambas.

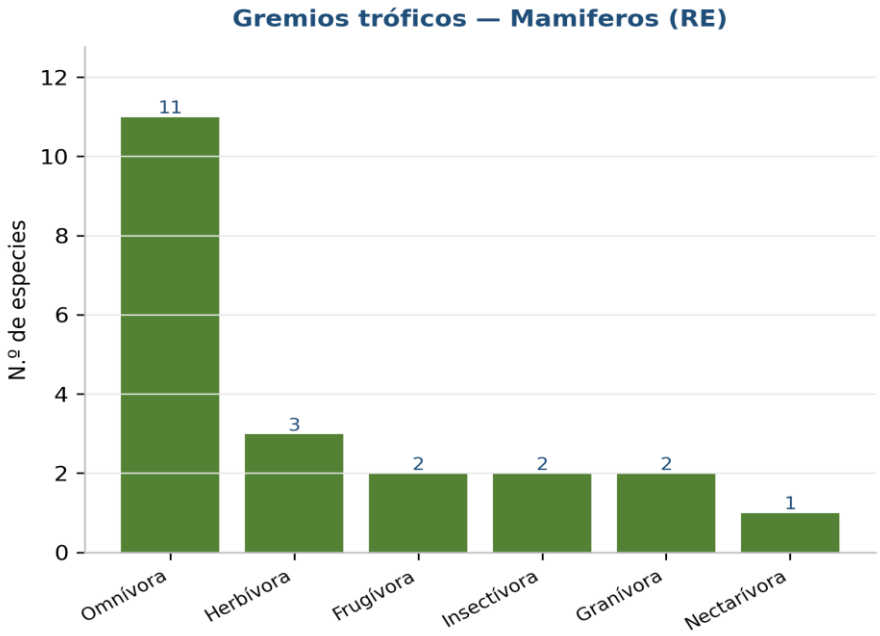


Figura 152. Gremios tróficos de los mamíferos de la Región Ecológica. El gremio omnívoro domina con once especies.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Once de las veintiuna especies son **omnívoras** —la misma proporción de la mitad que en el predio y en el remanente—, y la figura añade tres herbívoras, dos frugívoras, dos insectívoras, dos granívoras y una nectarívora. El predominio de omnívoros generalistas persiste incluso a escala de microcuenca, lo que matiza cualquier lectura idealizada de la Región Ecológica: **es un sistema de selva baja secundaria inserto en una matriz periurbana, no un interior de selva madura**. Lo que cambia con la escala no es el gremio dominante, sino la aparición de frugívoros y de fauna de mayor talla.

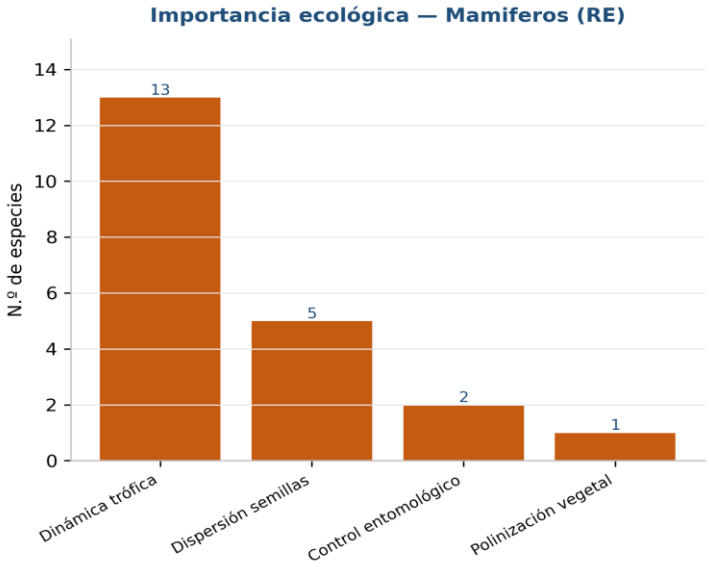


Figura 153. Importancia ecológica de los mamíferos de la Región Ecológica. Trece especies cumplen funciones de dinámica trófica.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Trece de las veintiuna especies participan en la dinámica trófica, cinco dispersan semillas, dos ejercen control entomológico y una poliniza. Frente a las aves, cuya aportación principal es el control de insectos, los mamíferos regionales sostienen la transferencia de energía entre niveles y la dispersión de propágulos de semilla grande —función que ninguna ave del levantamiento cubre—. Las cinco dispersoras, una más que en el Área de Influencia, son las que pueden mover semillas de las especies leñosas de mayor talla hacia el predio de compensación.

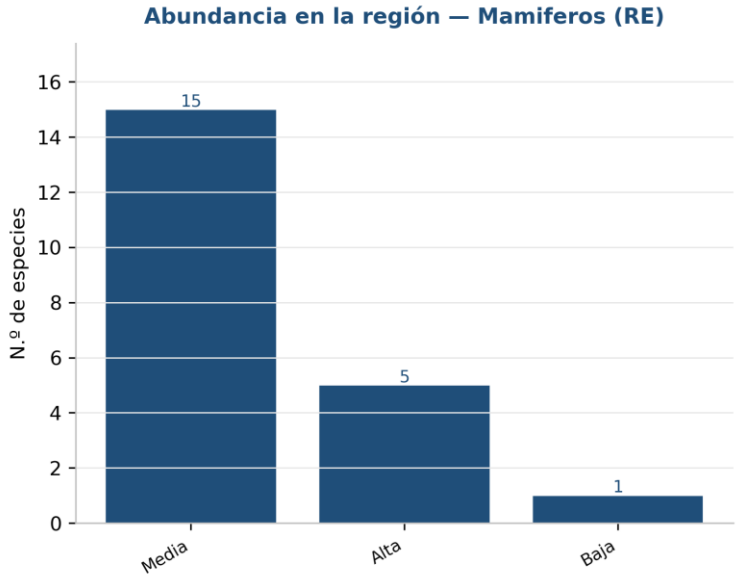


Figura 154. Abundancia regional de las especies de mamíferos registradas en la Región Ecológica. Quince especies de abundancia media, cinco de abundancia alta y una de abundancia baja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Una sola especie de mamífero es de abundancia regional baja, *Osgoodomys banderanus*, un roedor endémico —la misma que en las otras dos escalas—. Que el único mamífero escaso de la microcuenca esté presente también en el predio y en el remanente confiere a ese registro un valor de seguimiento: es la especie cuya trayectoria poblacional acusará antes que ninguna la pérdida de 3.4 ha de hábitat. Las cinco de abundancia alta recolonizarán el predio de compensación sin intervención.

III.5.4.8 Fauna — Reptiles

Tabla 85. Índices de diversidad del grupo Reptiles en la Región Ecológica.

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Riqueza `S`	18	Media-alta	—
Abundancia `N` (eventos)	78	—	Suma de las dos temporadas
Margalef `DMg`	3.90	Alta	—
Menhinick `DMn`	2.04	Alta	—
Simpson `λ`	0.091	Baja	—
Simpson `1−λ`	0.909	Alta	Comunidad diversa
Berger-Parker `d`	0.218	Media	La dominante rebasa el umbral de Moreno
McIntosh `D`	0.788	Alta	—
Shannon `H'`	2.665	Alta	—
`H'max`	2.890	—	Máximo teórico con 18 especies
Varianza de `H'`	0.0079	Media	Estimación menos estable
Pielou `J'`	0.922	Muy alta	Equidad alta
Brillouin `HB`	2.339	Media-alta	—

Índice	Valor	Clasificación	Interpretación ecológica
Hill `$N_0$` / `$N_1$` / `$N_2$`	18 / 14.36 / 11.02	—	14 especies efectivas de 18

Fuente: la misma.

Dieciocho especies y setenta y ocho eventos. Como en las otras dos escalas, la herpetofauna es el grupo con mayor dominancia relativa: el roño de suelo aporta diecisiete de los setenta y ocho registros y su Berger-Parker de 0.218 rebasa el umbral de Moreno. Pero la carga de conservación es la más alta del levantamiento: **nueve de las dieciocho especies son endémicas de México —el 50 %— y seis están listadas en la NOM-059, un tercio del grupo**. Tres figuran en el apéndice II de la CITES.

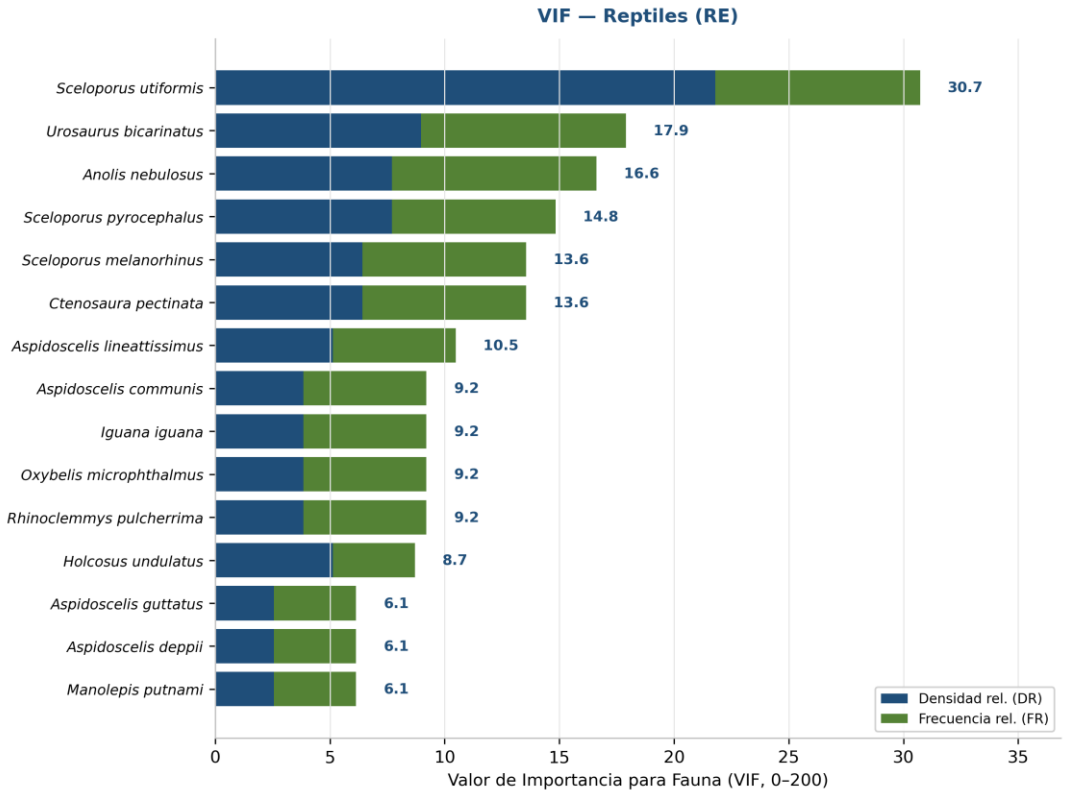


Figura 155. Valor de importancia de fauna del grupo Reptiles en la Región Ecológica. *Sceloporus utiformis* encabeza con un VIF de 30.7 sobre 200.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

El roño de suelo alcanza un VIF de **30.7**, prácticamente el mismo 30.6 que obtiene en el Área del Proyecto y por debajo del 40.9 del Área de Influencia. Le siguen el roñito (17.9), el roño de paño (16.6) y otros dos *Sceloporus*. La estructura del ensamble regional está gobernada por lagartijas heliófilas de suelo y de tronco, ninguna de ellas protegida. **La especie estructuralmente más importante no es la protegida**, igual que en el predio: la prioridad ecológica y la normativa apuntan a conjuntos distintos, y el programa de rescate debe atender ambas.

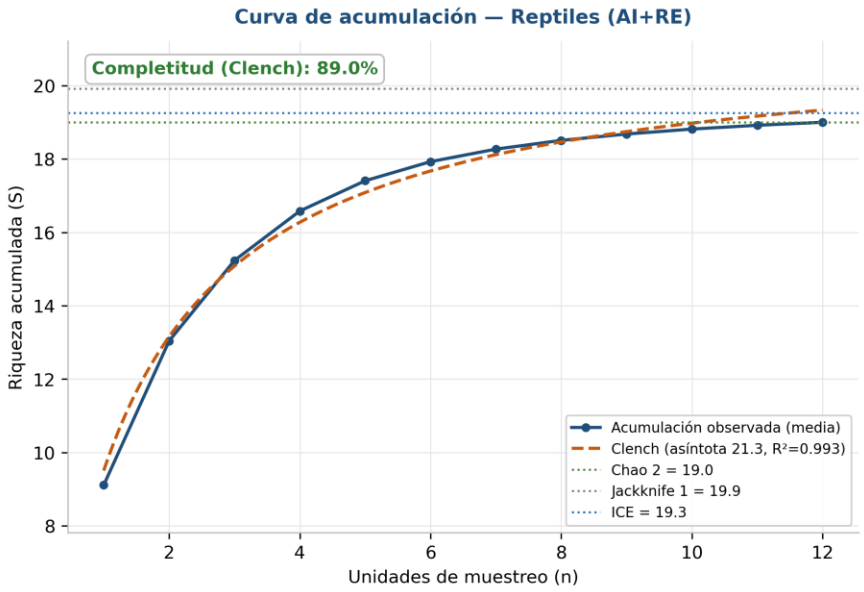


Figura 156. Curva de acumulación del grupo Reptiles sobre el esfuerzo de contexto conjunto: doce recorridos, diecinueve especies observadas y una completitud del 89.0 %.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Con un singleton y un *unique* en doce recorridos, los estimadores se agrupan estrechamente: Chao 1 y Chao 2 en 19.00, ICE en 19.26, Jackknife 2 en 19.23 y Jackknife 1 en 19.92. La asíntota de Clench, en 21.34, da la completitud del 89.0 % y la pendiente final es de 0.15 especies por recorrido. El inventario está esencialmente cerrado, con dos o tres especies por detectar —serpientes crípticas, casi con certeza—. **La herpetofauna regional está bien caracterizada, y su alto endemismo no es un artefacto de muestreo.**

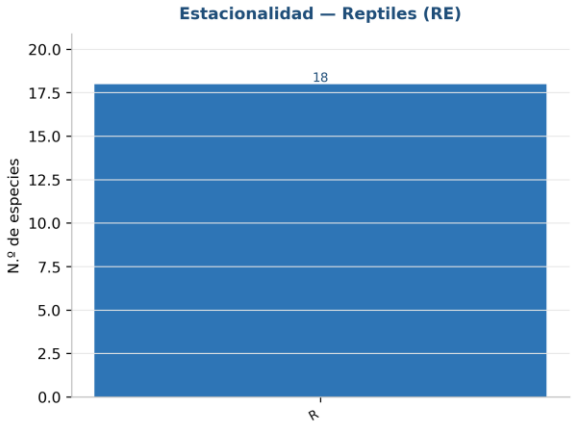


Figura 157. Estacionalidad de las especies de reptiles de la Región Ecológica. Las dieciocho especies son residentes.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura declara **dieciocho especies residentes**, sin componente migratorio. El desglose por temporada revela el mismo sesgo de actividad que en el predio, y más marcado: **cincuenta y cuatro de los setenta y ocho eventos ocurrieron en temporada seca**, contra veinticuatro en la húmeda, pese a que la seca solo tuvo cuatro recorridos y la húmeda dos. Residencia permanente y actividad estacional no son lo mismo. Los reptiles habitan la microcuenca todo el año, pero solo se exponen —y por tanto solo son detectables y rescatables— cuando la temperatura los obliga.

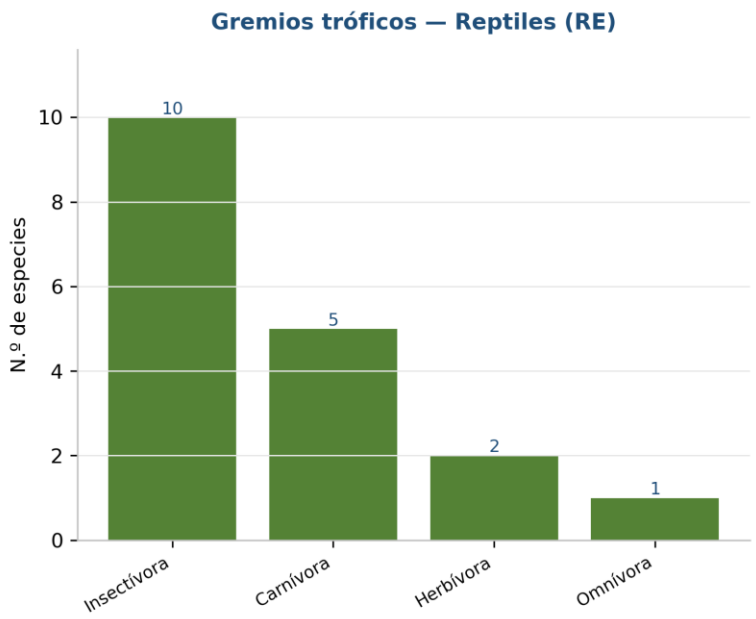


Figura 158. Gremios tróficos de los reptiles de la Región Ecológica. El gremio insectívoro domina con diez especies.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Diez de las dieciocho especies son insectívoras, cinco carnívoras, dos herbívoras y una omnívora. La red trófica es la más ancha que el grupo alcanza en las tres escalas: en el predio se agotaba en la insectivoría, con nueve de doce especies y sin herbívoros. La aparición de un gremio omnívoro —la tortuga de monte pintada— y el refuerzo del carnívoro con cinco serpientes añaden niveles a la cadena. La dependencia de los artrópodos, y a través de ellos de la hojarasca y la cubierta herbácea, sigue siendo dominante.

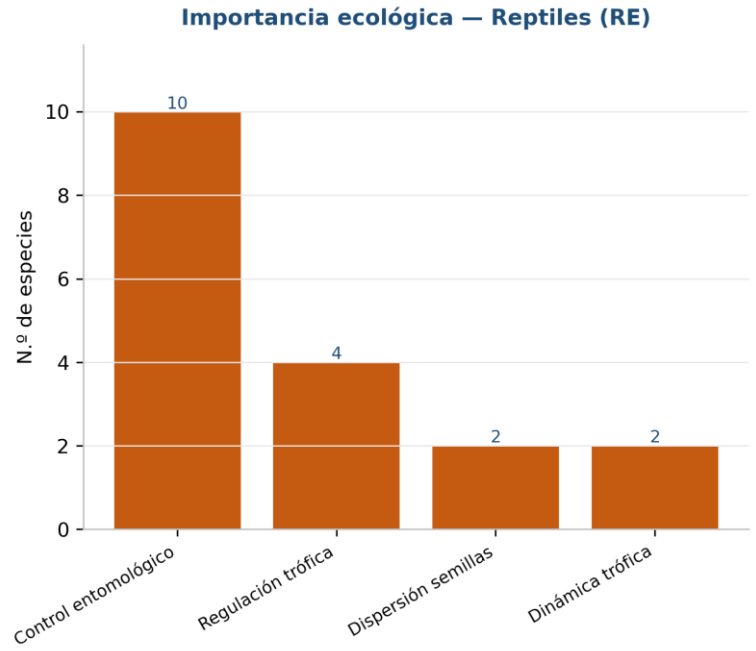


Figura 159. Importancia ecológica de los reptiles de la Región Ecológica. Diez especies cumplen funciones de control entomológico y cuatro de regulación trófica.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Diez especies ejercen control entomológico, cuatro regulación trófica, dos dispersión de semillas y dos dinámica trófica. Sumando las veinte aves, los diez reptiles, los dos mamíferos y el anfibio, **treinta y tres de**

las noventa especies de fauna de la Región Ecológica prestan servicio de control entomológico: es la función ecológica más representada de la microcuenca, exactamente como lo era en las dos escalas menores. Las cuatro serpientes reguladoras son el contrapeso que mantiene a raya las poblaciones de roedores.

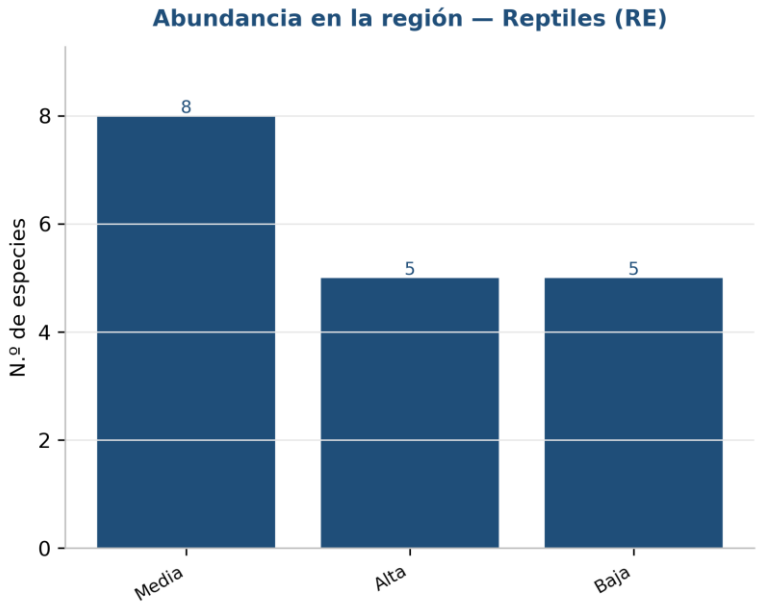


Figura 160. Abundancia regional de las especies de reptiles registradas en la Región Ecológica. Ocho especies de abundancia media, cinco de abundancia alta y cinco de abundancia baja.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Cinco especies de reptiles son de abundancia regional baja, y su identidad concentra el riesgo del grupo: cuatro son serpientes —culebra nocturna, culebra cabeza surcada, bejuquilla verde y bejuquilla café— y la quinta es la **tortuga de monte pintada, *Rhinoclemmys pulcherrima*, amenazada en la NOM-059, listada en la CITES y registrada solo en esta escala**. Las serpientes son además el conjunto que peor tolera el ahuyentamiento y el que mayor mortalidad directa sufre durante un desmonte, por su lentitud y su querencia por los refugios. En ellas se concentra la prioridad de rescate del grupo.

III.5.4.9 Fauna — Anfibios

Tabla 86. Registro del grupo Anfibios en la Región Ecológica.

Índice	Valor	Observación
Riqueza `S`	1	*Agalychnis dacnicolor*, única especie registrada
Abundancia `N` (eventos)	2	Ambos en temporada húmeda
Margalef `DMg`	—	No aplica: grupo monoespecífico
Menhinick `DMn`	—	No aplica: grupo monoespecífico
Simpson `λ` / `1−λ`	—	No aplica: grupo monoespecífico
Berger-Parker `d`	—	No aplica: grupo monoespecífico
McIntosh `D`	—	No aplica: grupo monoespecífico
Shannon `H'`	—	No aplica: grupo monoespecífico
Varianza de `H'`	—	No aplica: grupo monoespecífico
Pielou `J'`	—	No aplica: grupo monoespecífico
Brillouin `HB`	—	No aplica: grupo monoespecífico
Hill N_0 / N_1 / N_2	1 / 1 / 1	Trivialmente iguales a la riqueza
Distribución	Endémica	Listada en el apéndice II de la CITES

*Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G; índices, Anexo I). El cálculo emite ceros para los índices de un grupo con una sola especie (`H'` = −0.000, `J'` = 0.000, `1−λ` = 0.000); conforme al criterio declarado en el apartado III.5.1, esos ceros **no se reportan como diversidad***

__medida__: los índices no aplican y así se consignan. La completitud del grupo, 73.5 % (Anexo H), sí se calcula, porque su curva se construye sobre el esfuerzo conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica, donde se observan tres especies.

Una sola especie y dos eventos: **la Región Ecológica es la escala más pobre en anfibios de las tres**, con menos riqueza que el Área del Proyecto (dos especies) y que el Área de Influencia (dos). El resultado es contraintuitivo y hay que decir por qué se produce: los seis recorridos de fauna de esta escala se distribuyeron cuatro en temporada seca y solo dos en la húmeda, que es la única en que los anfibios son detectables. El diseño de muestreo, y no la ausencia de anfibios, explica el registro. **Lo que sí es un dato positivo es la identidad de la especie**: *Agalychnis dacnicolor*, la ranita verduzca, endémica y listada en la CITES, la misma que habita el Área del Proyecto y que está ausente del remanente del Área de Influencia.

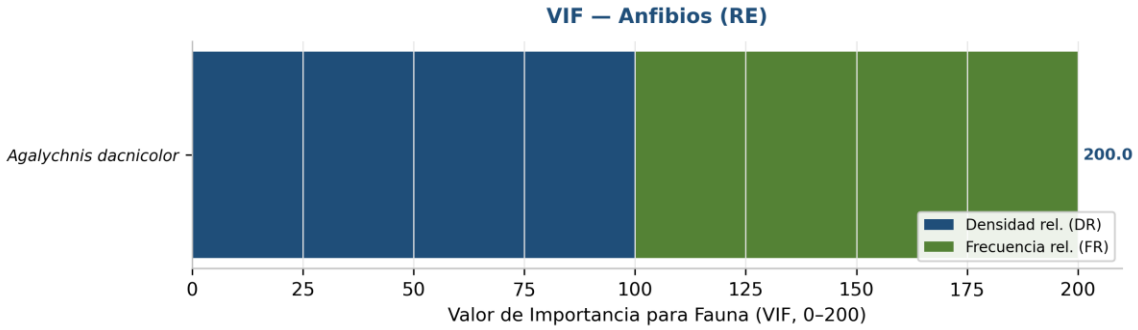


Figura 161. Valor de importancia de fauna del grupo Anfibios en la Región Ecológica. *Agalychnis dacnicolor* alcanza, por ser única, el máximo teórico de 200 sobre 200.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Un VIF de **200.0 sobre 200** no expresa dominancia ecológica alguna: es la consecuencia aritmética de que la densidad relativa y la frecuencia relativa de la única especie de un grupo valgan, ambas, cien. La figura no debe compararse con la de ningún otro grupo ni con la de los anfibios de las otras escalas, donde el valor se reparte entre dos especies. Su única lectura legítima es la que ya da la tabla: en la Región Ecológica se registró un solo anfibio, y es la ranita verduzca.

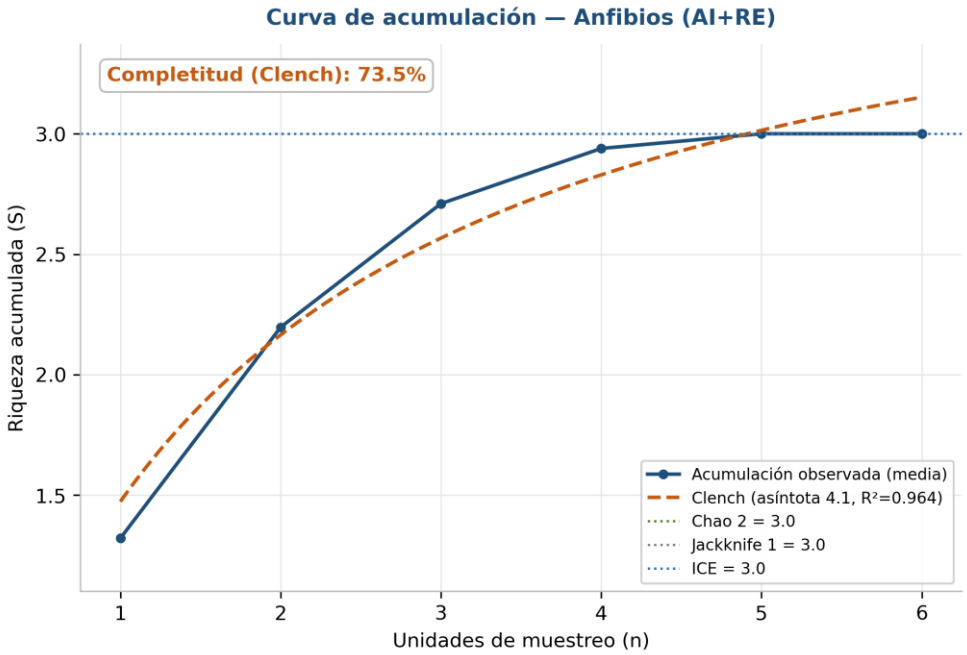


Figura 162. Curva de acumulación del grupo Anfibios sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica: doce recorridos, tres especies observadas y una completitud del 73.5 %, la más baja del levantamiento.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo H).

Esta curva es la única del apartado cuya riqueza observada —**tres especies**— triplica la de su escala, porque se construye sobre el esfuerzo conjunto y recoge también a las dos especies del Área de Influencia: la ranita verduzca, el sapo jaspeado y el sapo gigante. Chao 1, Chao 2 e ICE coinciden en 3.00 y la asíntota de Clench se sitúa en 4.08, de donde sale la **completitud del 73.5 %, la más baja de las ocho unidades**. Con dos eventos en la Región Ecológica y siete en el Área de Influencia, la herpetofauna anfibia del sistema está inventariada de forma precaria, y así conviene declararlo.

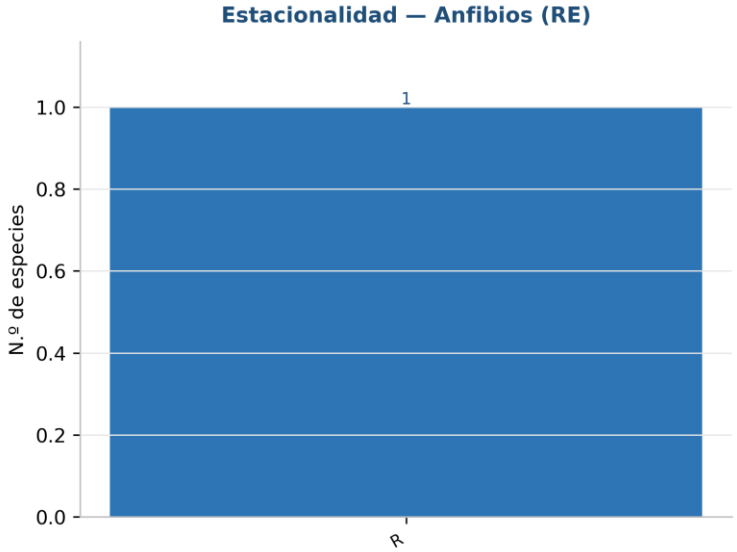


Figura 163. Estacionalidad de las especies de anfibios de la Región Ecológica. La única especie es residente.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura declara **una especie residente**, y el desglose por temporada completa el cuadro: los cuatro recorridos de temporada seca no produjeron un solo registro, y los dos eventos se concentran en los dos recorridos de temporada húmeda. Residencia permanente y detectabilidad estacional, como en las otras dos escalas. Un levantamiento regional ejecutado solo en secas habría concluido que la microcuenca carece de anfibios, pese a albergar una especie endémica y protegida por la CITES.

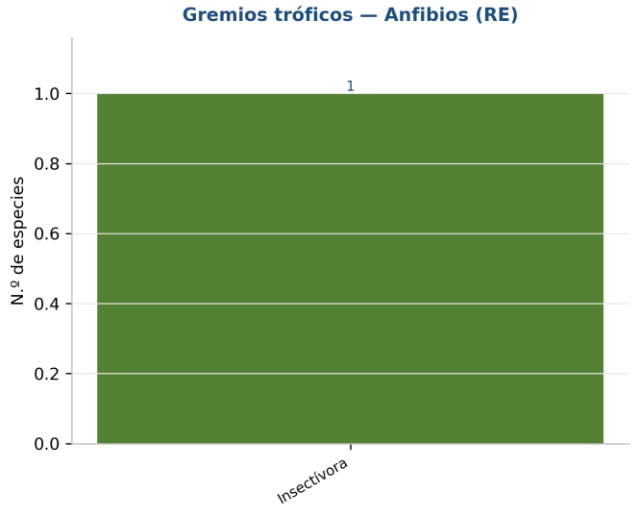


Figura 164. Gremios tróficos de los anfibios de la Región Ecológica. La única especie es insectívora.
Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Un solo gremio, el insectívoro, para la única especie. La ranita verduzca es una hílida arborícola de dosel bajo que consume artrópodos y sirve de presa a serpientes y aves: ocupa un eslabón intermedio de la red

trófica, y su desaparición local no sustrae un depredador tope sino que adelgaza el vínculo entre los artrópodos y sus consumidores vertebrados. Su condición arborícola, además, la hace dependiente del estrato leñoso, no del suelo.

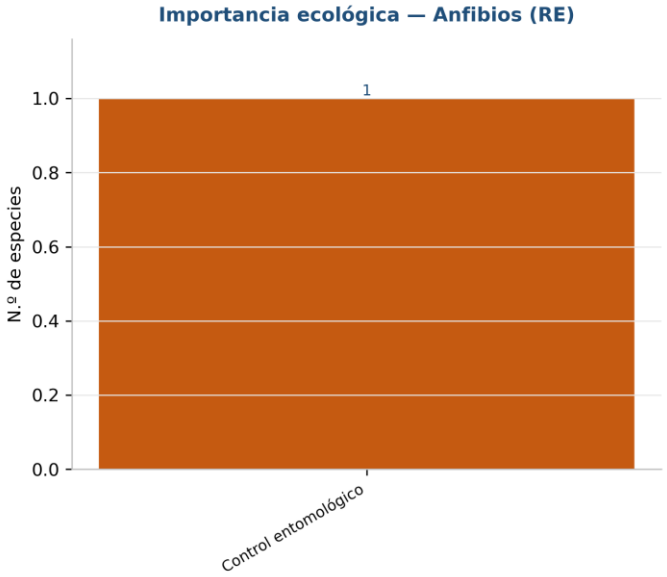


Figura 165. Importancia ecológica de los anfibios de la Región Ecológica. La única especie cumple funciones de control entomológico.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura confirma que la especie aporta **control entomológico**, sumándose a las veinte aves, los diez reptiles y los dos mamíferos con la misma función. Más relevante que su aportación cuantitativa —marginal, con dos eventos— es su valor como **bioindicadora**: la piel permeable de los anfibios los hace especialmente sensibles a la contaminación del suelo y del agua, y su presencia acredita que la microcuenca no está químicamente degradada. Es el mismo argumento que sostiene el registro del predio, y aquí se verifica a escala regional.

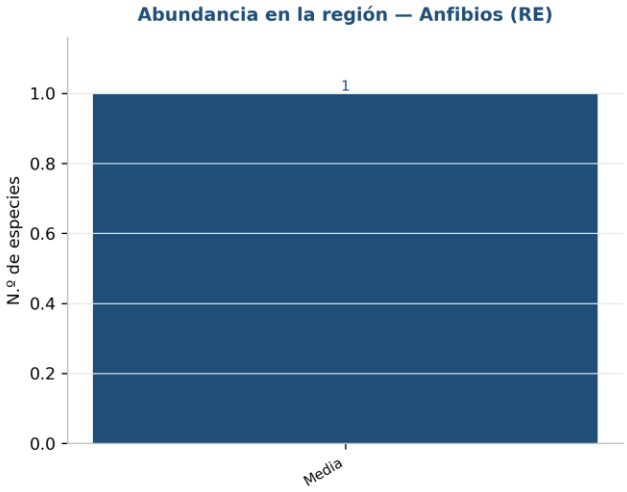


Figura 166. Abundancia regional de las especies de anfibios registradas en la Región Ecológica. La única especie es de abundancia regional media.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Agalychnis dacnicolor es de **abundancia regional media**: ni rara ni común en la microcuenca. Esa posición intermedia, unida a su endemismo y a su inclusión en el apéndice II de la CITES, y al hecho de que sea la

única especie de anfibio que comparten el Área del Proyecto y la Región Ecológica, la convierte en la especie de anfibio que el programa de rescate debe atender con prioridad, y en la única cuya reubicación tiene un destino regional acreditado.

III.5.4.10 Fauna — análisis integrado de la Región Ecológica

Tabla 87. Comparativa de índices de diversidad entre los grupos faunísticos de la Región Ecológica.

Grupo	`S`	`N`	`DMg`	`DMn`	`λ`	`1−λ`	`d`	`D`	`H'`	`Var H'`	`J'`	`HB`	$`N_0`$	$`N_1`$	$`N_2`$	VIF dominante	Completitud (%) †	NOM-059	Endémicas
Aves	50	262	8.80	3.09	0.027	0.973	0.057	0.891	3.765	0.0015	0.962	3.455	50	43.17	37.19	*Zenaida asiatica* / *Streptopelia decaocto* (9.3)	90.5	4	7
Mamíferos	21	83	4.53	2.31	0.056	0.944	0.096	0.858	2.964	0.0034	0.974	2.599	21	19.37	17.89	*Procyon lotor* / *Sciurus colliaei* (18.5)	89.1	0	4
Reptiles	18	78	3.90	2.04	0.091	0.909	0.218	0.788	2.665	0.0079	0.922	2.339	18	14.36	11.02	*Sceloporus utiformis* (30.7)	89.0	6	9
Anfibios	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	1	*Agalychnis dacnicolor* (200.0)	73.5	0	1

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto — tabla de índices (Anexo I); completitud (Anexo H); categorías de riesgo y endemismo (Anexo G). Las diez especies de la Región Ecológica listadas en la NOM-059 son Accipiter striatus (Pr), Calidris mauri (A), Eupsittula canicularis (Pr) y Glaucidium palmarum (A) entre las aves, y Aspidoscelis communis (Pr), Aspidoscelis lineattissimus (Pr), Ctenosaura pectinata (A), Hypsiglena torquata (Pr), Iguana iguana (Pr) y Rhinoclemmys pulcherrima (A) entre los reptiles. Los índices de los anfibios no aplican por ser un grupo monoespecífico. † La completitud se calcula sobre el esfuerzo de contexto conjunto del Área de Influencia y la Región Ecológica (doce recorridos), de modo que la riqueza observada de la curva de anfibios (tres especies) y la de reptiles (diecinueve) exceden a la columna `S`.

La tabla ordena los cuatro grupos regionales. **La mayor riqueza y la mayor diversidad son de las aves** (`S` = 50, `H'` = 3.765, los máximos de todo el capítulo). **La mayor equidad es de los mamíferos** (`J'` = 0.974), como en el Área de Influencia. **La mayor dominancia es de los reptiles** (`d` = 0.218), único grupo que rebasa el umbral de Moreno. Y **la mayor carga normativa recae, otra vez, sobre los reptiles**: seis de sus dieciocho especies están en la NOM-059 —el 33.3 %— y nueve son endémicas.

Los índices son coherentes entre sí en los tres grupos en que aplican: un Berger-Parker bajo se acompaña de un Pielou alto y de un Simpson `1−λ` alto. Los anfibios quedan fuera del análisis comparativo por ser monoespecíficos, y su completitud del 73.5 % advierte que ese resultado depende del diseño de muestreo.

El diagnóstico integrado cierra el gradiente de las tres escalas. La Región Ecológica sostiene noventa especies de fauna contra setenta y ocho del Área de Influencia y sesenta y siete del Área del Proyecto; diez en la NOM-059 contra ocho y cinco; y veintiuna endémicas. Las tres evidencias que lo sostienen son: la avifauna, con ocho gremios tróficos —incluido el frugívoro, ausente en las escalas menores— y cuarenta y tres especies efectivas; los mamíferos, cuyo elenco incorpora pecarí de collar y zorra gris, especies de ámbito hogareño amplio que las 3.4 ha del predio no pueden sostener; y los reptiles, con la mitad de sus especies endémicas y una tortuga amenazada exclusiva de esta escala. **Cuarenta de las noventa especies son residentes permanentes fuera de las aves**, y solo la avifauna aporta contingente migratorio: diecinueve especies, el 38 % de su riqueza.

La consecuencia para la evaluación es la que ya anticipaba la flora, y ahora queda cuantificada en los dos reinos. **La Región Ecológica no es un entorno pasivo: es el reservorio del que proceden las especies que recolonizarán el predio de compensación y la matriz de paisaje en la que se reintegra la fauna desplazada del Área del Proyecto.** El anidamiento perfecto de la fauna del predio dentro de esta escala —ninguna especie exclusiva del Área del Proyecto— garantiza que la remoción no sustrae del acervo regional una sola especie de vertebrado terrestre. Sobre esa base, las medidas M01 a M05 no dependen de que un

fragmento vecino absorba por saturación a los individuos desplazados: el ahuyentamiento dirigido resuelve a la avifauna, que se redistribuye por vuelo propio sobre las 5,992.43 ha de la Región Ecológica, muy por encima de las 3.4 ha intervenidas, y el programa de rescate y reubicación traslada al sitio receptor a los mamíferos y reptiles de desplazamiento lento. Ambas medidas se detallan y se vinculan en el Capítulo IV. Que la región no sea un refugio prístino —selva baja secundaria en matriz periurbana, con omnívoros generalistas dominando el gremio mastozoológico y una paloma exótica invasora compartiendo la cabeza del VIF aviar— describe su condición ecológica, no un límite a la eficacia de esas medidas.

III.5.5 Comparativo entre escalas

Los tres apartados anteriores describieron cada escala por separado. Comparar sus cifras en crudo sería engañoso, porque el esfuerzo de muestreo no es el mismo: quince sitios de flora en el Área del Proyecto, cuatro en el Área de Influencia y once en la Región Ecológica; doce recorridos de fauna en el predio y seis en cada una de las otras dos escalas. Más esfuerzo produce más especies observadas aunque la comunidad sea idéntica. Por eso todo lo que sigue se apoya en tres correctivos: la **abundancia normalizada por unidad de esfuerzo**, la **riqueza estimada por incidencia** —Chao 2 e ICE, nunca la riqueza observada cruda— y los **índices de diversidad beta**, que miden diferencias de composición y son insensibles al tamaño de la muestra.

III.5.5.1 Esfuerzo de muestreo por escala y temporada

Tabla 88. Esfuerzo de muestreo por escala y temporada.

Escala	Superficie (ha)	Recorridos de fauna, seca	Recorridos de fauna, húmeda	Recorridos, total	Sitios de flora	Sitios del estrato arbustivo
Área del Proyecto (AP)	3.4097	6	6	12	15	13
Área de Influencia (AI)	216.62	2	4	6	4	4
Región Ecológica (RE)	5,992.43	4	2	6	11	11

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). El estrato arbustivo del Área del Proyecto se levantó en trece de los quince sitios porque en dos no se registró ningún arbusto. Superficies del atributo del polígono del proyecto.

El esfuerzo es **desigual y está sesgado en direcciones opuestas**. El Área del Proyecto, que es el polígono más pequeño, concentra el mayor esfuerzo: quince sitios y doce recorridos sobre 3.41 ha. La Región Ecológica, mil setecientas cincuenta veces más extensa, recibe once sitios y seis recorridos. Y el reparto estacional se invierte entre escalas: el predio se recorrió seis veces en cada temporada, el Área de Influencia el doble en húmeda que en seca, y la Región Ecológica el doble en seca que en húmeda. Ese último dato explica, sin necesidad de invocar la ecología, por qué la Región Ecológica registró un solo anfibio: **la temporada en que el grupo es detectable recibió allí solo dos recorridos**.

FLORA

III.5.5.2 Flora — riqueza por estrato en las tres escalas

Tabla 89. Riqueza de especies de flora por estrato, con su porcentaje sobre la riqueza total de cada escala.

Estrato	AP: `S`	AP: %	AI: `S`	AI: %	RE: `S`	RE: %
Arbóreo + regeneración (hectárea-tipo)	18	37.5	44	51.8	70	51.5
Arbustivo	5	10.4	14	16.5	25	18.4

Estrato	AP: `S`	AP: %	AI: `S`	AI: %	RE: `S`	RE: %
Otras formas de vida	6	12.5	6	7.1	14	10.3
Herbáceo	19	39.6	21	24.7	27	19.9
Total	**48**	**100.0**	**85**	**100.0**	**136**	**100.0**

*Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G), por estrato y por escala. Los cuatro estratos **particionan** la riqueza de cada escala: ninguna especie se registró en dos estratos, de modo que los porcentajes suman cien sin doble conteo. El estrato arbóreo se reporta como hectárea-tipo, que integra adultos y regeneración; adultos y regeneración comparten **13 especies en el Área del Proyecto, 9 en el Área de Influencia y 51 en la Región Ecológica**.*

La estructura de la riqueza cambia con la escala, y el cambio es informativo. En las dos escalas menores **el estrato herbáceo aporta más especies que el leñoso** —el 39.6 % contra el 37.5 % en el predio— y en la Región Ecológica la relación se invierte con holgura: el leñoso aporta la mitad de la flora regional (51.5 %) y el herbáceo cae al 19.9 %. Un sistema en que las hierbas superan a los árboles en número de especies es un sistema donde el dosel se ha simplificado.

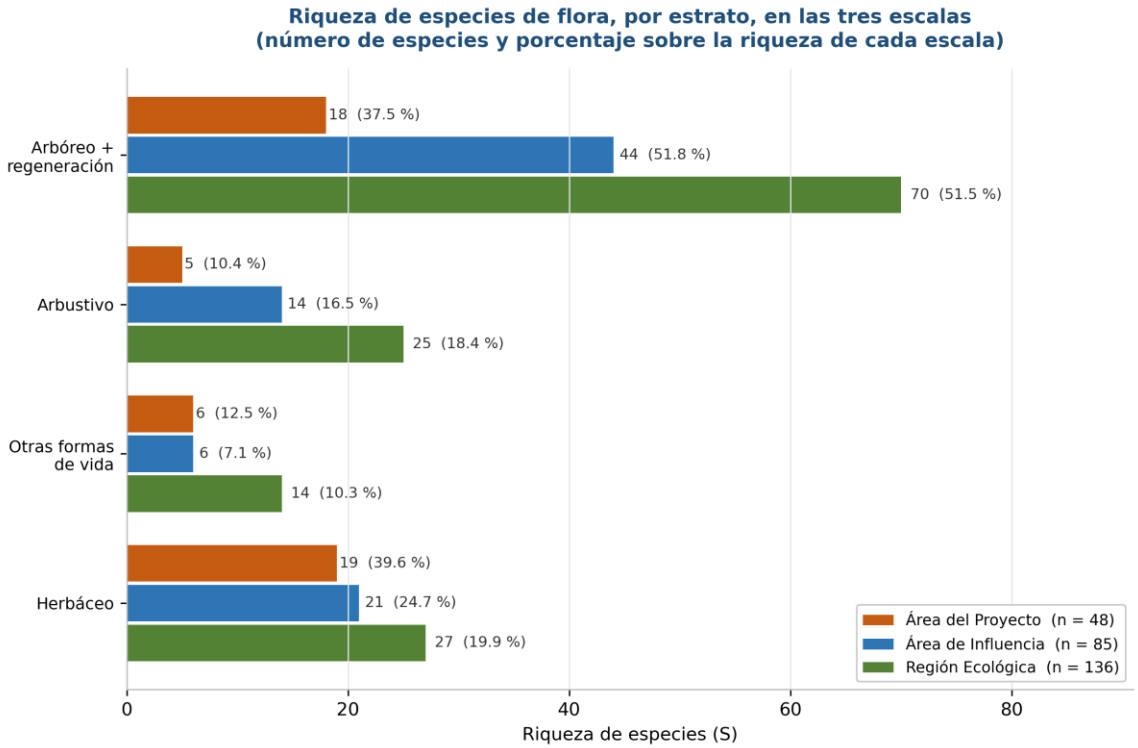


Figura 167. Riqueza de especies de flora por estrato en las tres escalas, con el número de especies y su porcentaje sobre la riqueza de cada escala. El estrato leñoso pasa de 18 a 70 especies; el herbáceo, de 19 a 27.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura hace visible lo que la tabla enuncia: **el crecimiento de la riqueza con la escala no es proporcional entre estratos**. El leñoso se multiplica por 3.9 del predio a la región, y el arbustivo por 5.0; el herbáceo apenas por 1.4 y las trepadoras por 2.3. Los estratos que más crecen son precisamente los que la remoción elimina por completo —árboles y arbustos—, mientras que el herbáceo, el más resistente y el más invadido, es el que menos diversidad regional tiene que perder. La compensación forestal se juega en los dos estratos leñosos.

III.5.5.3 Flora — diversidad alfa normalizada por esfuerzo

Tabla 90. Índices de diversidad alfa de la flora por escala, normalizados por esfuerzo, con estimadores de incidencia.

Estrato	Escala	`S` obs.	Chao 2	ICE	`H'`	`1−λ`	Individuos por hectárea	Sitios
Arbóreo (adultos)	AP	16	16.00	16.58	2.189	0.851	297.33	15
Arbóreo (adultos)	AI	14	16.25	18.10	2.030	0.831	535.00	4

Estrato	Escala	`S` obs.	Chao 2	ICE	`H'`	`1−λ`	Individuos por hectárea	Sitios
Arbóreo (adultos)	RE	60	62.31	65.62	3.576	0.956	669.09	11
Regeneración	AP	15	16.12	18.43	1.880	0.755	1,093.33	15
Regeneración	AI	39	61.16	73.97	2.992	0.905	3,075.00	4
Regeneración	RE	61	64.45	67.52	3.743	0.966	2,354.55	11
Arbustivo	AP	5	5.00	5.00	1.106	0.535	315.38	13
Arbustivo	AI	14	20.75	27.21	2.283	0.856	900.00	4
Arbustivo	RE	25	25.11	25.63	2.710	0.895	2,300.00	11
Otras formas de vida	AP	6	6.00	6.00	1.271	0.624	613.33	15
Otras formas de vida	AI	6	6.00	6.00	1.733	0.814	1,150.00	4
Otras formas de vida	RE	14	14.00	14.30	2.543	0.916	754.55	11
Herbáceo	AP	19	19.00	19.00	2.349	0.873	142,666.67	15
Herbáceo	AI	21	21.15	21.74	2.807	0.927	111,000.00	4
Herbáceo	RE	27	27.15	27.60	2.995	0.938	118,545.45	11

*Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexos H e I). El estrato arbóreo aparece aquí como **adultos solos** (`S` = 16, 14 y 60) y no como hectárea-tipo (18, 44 y 70), que es la unidad de los apartados por escala: la regeneración se reporta como estrato independiente en su propia fila. La densidad del herbáceo es una extrapolación a la hectárea desde 75, 20 y 55 m² muestreados.*

Los estimadores de incidencia entregan el resultado que la riqueza cruda ocultaba: **el inventario del predio está cerrado y el del entorno no lo está**. En el Área del Proyecto, Chao 2 e ICE coinciden con la riqueza observada en el arbustivo, en las trepadoras y en el herbáceo, y se separan menos de una especie en el arbóreo. En las escalas mayores la brecha se abre: la regeneración del Área de Influencia observa 39 especies pero Chao 2 proyecta 61.16 e ICE 73.97, y la del arbustivo del Área de Influencia sube de 14 a 20.75 según Chao 2. **El banco de renuevos del remanente y de la región conserva decenas de especies sin detectar**, de modo que comparar las riquezas observadas subestimaría la distancia real entre el predio y su entorno.

La densidad herbácea invierte la lectura y merece mención. Con 142,667 ind·ha^{-1}, el estrato herbáceo del Área del Proyecto es un 20 % más denso que el de la Región Ecológica (118,545). Una cubierta herbácea más densa bajo un dosel más abierto es exactamente lo que cabe esperar de un terreno perturbado, y es coherente con la cobertura arbórea del 42.85 % que el motor calcula para el predio.

III.5.5.4 Flora — diversidad alfa por temporada

Tabla 91. Flora: riqueza y abundancia por sitio, por escala y temporada.

Estrato	AP: riq. seca	AP: riq. húmeda	AP: ind./sitio seca	AP: ind./sitio húmeda	AI: riq. seca	AI: riq. húmeda	AI: ind./sitio seca	AI: ind./sitio húmeda	RE: riq. seca	RE: riq. húmeda	RE: ind./sitio seca	RE: ind./sitio húmeda
Arbóreo (adultos)	16	16	14.87	14.87	14	14	26.75	26.75	60	60	33.45	33.45
Regeneración	12	14	8.13	11.53	12	13	9.75	21.00	35	35	14.64	13.64
Arbustivo	4	5	2.77	2.92	6	5	4.50	4.75	22	20	19.00	10.82
Otras formas de vida	5	6	5.33	5.27	5	5	9.25	9.25	12	14	6.09	5.45
Herbáceo	12	18	22.53	59.87	13	21	34.00	39.00	23	26	37.82	38.09

*Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G), con las tres escalas por temporada. En flora, un individuo registrado en las dos temporadas **no se duplica**: el total es la unión, `solo seca + solo húmeda + ambas`. Por eso el estrato arbóreo, cuyos adultos son los mismos en ambas temporadas, presenta riqueza y densidad idénticas.*

El estrato arbóreo no varía entre temporadas, como corresponde a una comunidad de adultos perennes: los mismos individuos, los mismos sitios. Todo el cambio estacional de la flora se concentra en los estratos efímeros, y su amplitud es el dato de condición. El **herbáceo del Área del Proyecto casi triplica su densidad en la temporada húmeda**, de 22.53 a 59.87 individuos por sitio, y su riqueza pasa de doce a

dieciocho especies; en la Región Ecológica ese mismo estrato apenas se mueve (37.82 contra 38.09). Un pulso herbáceo de esa amplitud es la firma de una comunidad arvense de terreno abierto, no de sotobosque.

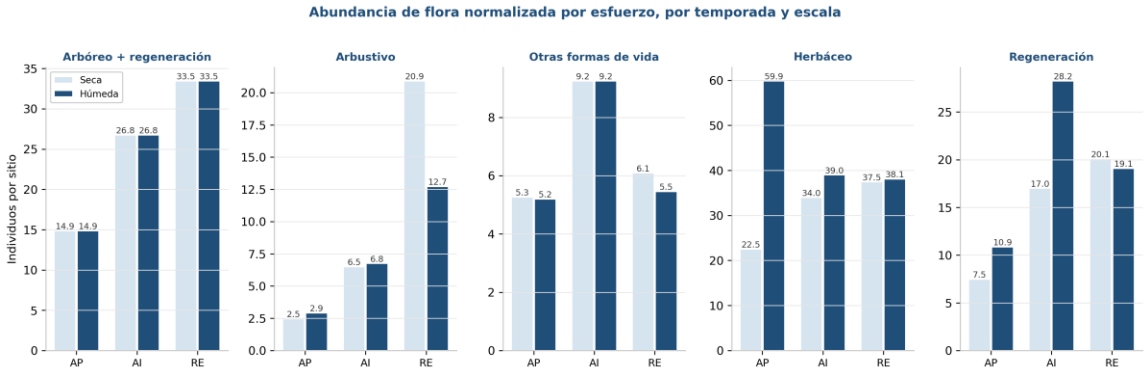


Figura 168. Abundancia de flora normalizada por esfuerzo, en individuos por sitio, por temporada y escala, para los cinco estratos. El herbáceo del predio es el único que se dispara en la temporada húmeda.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura ordena los cinco estratos y permite ver dos comportamientos que la tabla dispersa. El primero es el **arbustivo de la Región Ecológica, que se comporta al revés que todos los demás**: 19.00 individuos por sitio en secas contra 10.82 en húmeda. La caída no significa que mueran arbustos, sino que la vara prieta —la compuesta endémica que domina el estrato— es una especie de ciclo marcado cuya parte aérea se registra sobre todo en la temporada seca. El segundo es la **regeneración del Área de Influencia**, que más que duplica su densidad en húmeda (de 9.75 a 21.00): el banco de renuevos del remanente responde a la lluvia con una intensidad que ni el predio ni la región alcanzan.

III.5.5.5 Flora — diversidad beta entre escalas

Tabla 92. Diversidad beta de la flora entre pares de escalas, por estrato (contexto → foco).

Par	Estrato	`S` ctx	`S` foco	Compartidas	Solo ctx	Solo foco	Jaccard	Sørensen	`βSOR`	`βSIM`	`βSNE`	Patrón	`ᾱ`	`β` Lande	`γ`
RE → AP	Arbóreo	70	18	18	52	0	0.257	0.409	0.591	0.000	0.591	Anidamiento	44.0	26.0	70
RE → AI	Arbóreo	70	44	44	26	0	0.629	0.772	0.228	0.000	0.228	Anidamiento	57.0	13.0	70
AI → AP	Arbóreo	44	18	16	28	2	0.348	0.516	0.484	0.111	0.373	Anidamiento	31.0	15.0	46
RE → AP	Regeneración	61	15	15	46	0	0.246	0.395	0.605	0.000	0.605	Anidamiento	38.0	23.0	61
RE → AI	Regeneración	61	39	36	25	3	0.562	0.720	0.280	0.077	0.203	Anidamiento	50.0	14.0	64
AI → AP	Regeneración	39	15	12	27	3	0.286	0.444	0.556	0.200	0.356	Anidamiento	27.0	15.0	42
RE → AP	Arbustivo	25	5	5	20	0	0.200	0.333	0.667	0.000	0.667	Anidamiento	15.0	10.0	25
RE → AI	Arbustivo	25	14	13	12	1	0.500	0.667	0.333	0.071	0.262	Anidamiento	19.5	6.5	26
AI → AP	Arbustivo	14	5	5	9	0	0.357	0.526	0.474	0.000	0.474	Anidamiento	9.5	4.5	14
RE → AP	Otras formas de vida	14	6	6	8	0	0.429	0.600	0.400	0.000	0.400	Anidamiento	10.0	4.0	14
RE → AI	Otras formas de vida	14	6	6	8	0	0.429	0.600	0.400	0.000	0.400	Anidamiento	10.0	4.0	14
AI → AP	Otras formas de vida	6	6	3	3	3	0.333	0.500	0.500	0.500	0.000	Recambio	6.0	3.0	9
RE → AP	Herbáceo	27	19	19	8	0	0.704	0.826	0.174	0.000	0.174	Anidamiento	23.0	4.0	27
RE → AI	Herbáceo	27	21	20	7	1	0.714	0.833	0.167	0.048	0.119	Anidamiento	24.0	4.0	28
AI → AP	Herbáceo	21	19	19	2	0	0.905	0.950	0.050	0.000	0.050	Anidamiento	20.0	1.0	21

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I). Baselga: `βSOR = βSIM + βSNE`, donde `βSIM` mide recambio de especies y `βSNE` anidamiento; el patrón se declara «anidamiento» cuando `βSNE > βSIM`. Lande aditiva: `γ = ᾱ + β`, con `γ = a + b + c`, la riqueza del par. El estrato arbóreo es la hectárea-tipo.

Esta tabla contiene el hallazgo central del apartado. **Frente a la Región Ecológica, el Área del Proyecto es un caso de anidamiento**: sus especies son un subconjunto de las regionales. En el arbóreo, el arbustivo y

el herbáceo el recambio `βSIM` es **exactamente cero** —ninguna especie del predio falta en la región—. La diferencia entre el predio y la región no es de composición, sino de pobreza: al predio le faltan cincuenta y dos especies leñosas de las setenta regionales.

Frente al Área de Influencia, el predio resulta también anidado, y este es el cambio que introdujo la corrección de las bases de muestreo. En cuatro de los cinco estratos —arbóreo, regeneración, arbustivo y herbáceo— `βSNE` supera a `βSIM`. El arbóreo comparte dieciséis especies con el remanente contiguo, que suma **veintiocho exclusivas frente a solo dos del predio**; en el arbustivo y el herbáceo el recambio es cero. Solo el estrato de trepadoras conserva recambio. Es decir: **el predio no es una comunidad de composición distinta, sino un subconjunto empobrecido tanto de la región como del remanente**. El muestreo corregido del Área de Influencia —que reveló cuarenta y cuatro especies leñosas donde antes se contaban veinte— disolvió la aparente singularidad del predio.

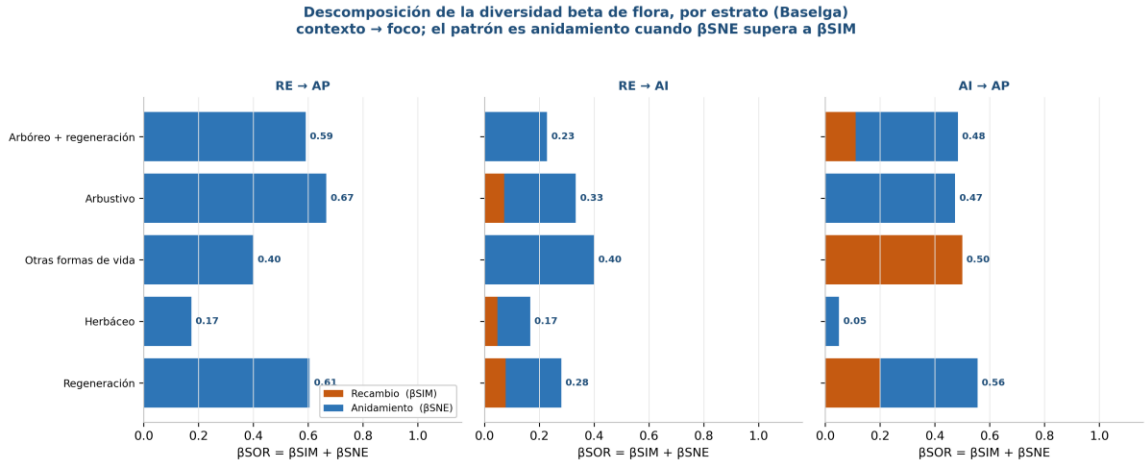


Figura 169. Descomposición de Baselga de la diversidad beta de la flora, por estrato y por par de escalas: la fracción de recambio (`βSIM`) y la de anidamiento (`βSNE`) apiladas hasta el `βSOR` total.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Los tres paneles muestran un patrón dominante de anidamiento. En los dos con la Región Ecológica como contexto **las barras son casi enteramente azules**, y en el del remanente contra el predio —el panel de la derecha— las barras son también mayoritariamente azules: **solo el estrato de trepadoras conserva recambio**. El estrato herbáceo es el más parecido entre escalas (`βSOR` de 0.050 entre remanente y predio) y el arbustivo frente a la región el más disímil (0.667). Las hierbas viajan; los arbustos de sotobosque, no.

III.5.5.6 Flora — diversidad beta entre estratos: el dosel y su regeneración

Tabla 93. Diversidad beta entre el dosel adulto y su banco de regeneración, dentro de cada escala.

Escala	`S` adultos	`S` regeneración	Compartidas	Solo renuevo	Adulto sin renuevo	Jaccard	Sørensen	`βSIM`	`βSNE`	Patrón	`γ`
Área del Proyecto	16	15	13	2	3	0.722	0.839	0.133	0.028	Recambio	18
Área de Influencia	14	39	9	30	5	0.205	0.340	0.357	0.303	Recambio	44
Región Ecológica	60	61	51	10	9	0.729	0.843	0.150	0.007	Recambio	70

*Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I). El estrato arbóreo entra aquí como **adultos** (diámetro normal superior a 7 cm), no como hectárea-tipo: enfrentar la hectárea-tipo a su propio banco de renuevos daría un anidamiento de uno por construcción. Los demás pares de estratos —arbóreo contra arbustivo, herbáceo contra trepadoras, y así con las nueve combinaciones restantes de cada escala— **no comparten ninguna especie**, de modo que su Sørensen vale 0.000 y su `βSOR` 1.000: los estratos se definen por forma de vida y ninguna especie del levantamiento ocupa dos.*

Esta tabla mide si el bosque se está reproduciendo a sí mismo. En las tres escalas el patrón es de **recambio**, pero su magnitud crece con la escala. En la **Región Ecológica** el ajuste es el más estrecho: cincuenta y una

de las sesenta y una especies del banco de renuevos tienen adultos presentes, y solo diez carecen de ellos; el `βSNE` de 0.007 indica que el dosel regional se regenera casi con su propia composición, con apenas nueve especies adultas sin renuevo detectado.

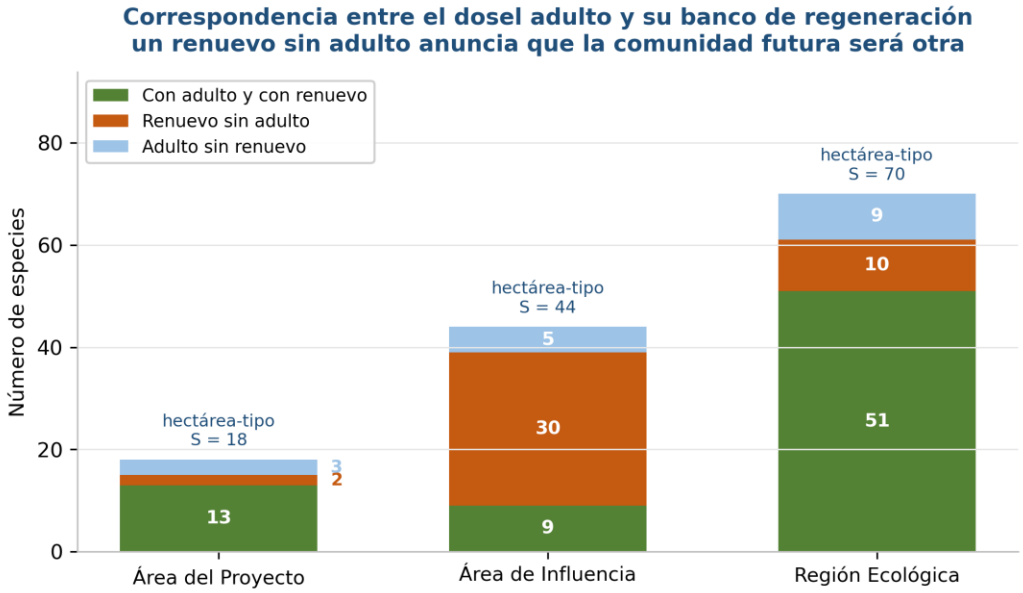


Figura 170. Correspondencia entre el dosel adulto y su banco de regeneración en las tres escalas: especies con adulto y con renuevo, especies con renuevo pero sin adulto, y especies adultas sin renuevo detectado.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

La figura expone el desajuste que la tabla cuantifica, y con las bases corregidas el caso del **Área de Influencia se vuelve extremo**: de sus treinta y nueve especies en regeneración, **treinta no tienen ningún adulto en el estrato** —el segmento anaranjado más grande, con diferencia—. El banco de renuevos del remanente es casi cuatro veces más rico que su dosel adulto (39 contra 14), lo que anuncia que **la comunidad futura del remanente será muy distinta de la presente**: un rodal joven en plena recomposición. En el predio el desajuste es mucho menor —dos especies— pero también es de recambio: la trayectoria sucesional de las dos escalas menores está desviada, mientras que la regional apenas lo está.

III.5.5.7 Flora — composición: especies exclusivas y compartidas

Tabla 94. Reparto de las 138 especies de flora del sistema entre las tres escalas.

Región de pertenencia	Especies	Ejemplos y observación
Solo en el Área del Proyecto	0	Ninguna especie de flora del predio le es exclusiva
Solo en el Área de Influencia	2	*Hyptis suaveolens* y *Plumbago zeylanica*
Solo en la Región Ecológica	48	Más de un tercio de la flora regional
En el AP y el AI, no en la RE	0	—
En el AP y la RE, no en el AI	5	—
En el AI y la RE, no en el AP	40	—
En las tres escalas	43	El núcleo florístico común
y del sistema (unión)	**138**	

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). «Exclusiva» significa no registrada en los sitios de las otras escalas, no ausente de ellas: el inventario leñoso de la Región Ecológica alcanza el 83.8 % de completitud y su arbustivo el 80.5 %, de modo que una especie del predio podría existir en la región sin haber sido detectada.

La tabla condensa el argumento de significancia sobre la flora, y con las bases corregidas su conclusión se refuerza: **ninguna de las cuarenta y ocho especies de flora del Área del Proyecto le es exclusiva**. Las dos que la versión anterior del muestreo señalaba como propias del predio ya no lo son: el tamarindo resultó estar también en el Área de Influencia y en la Región Ecológica, y la especie que se había identificado como

Indigofera densiflora —endémica— era en realidad *Indigofera suffruticosa*, exótica y presente en las tres escalas. La remoción del predio no elimina, por tanto, ninguna especie vegetal del sistema muestreado: todo lo que crece en él existe además en el remanente contiguo o en la microcuenca.

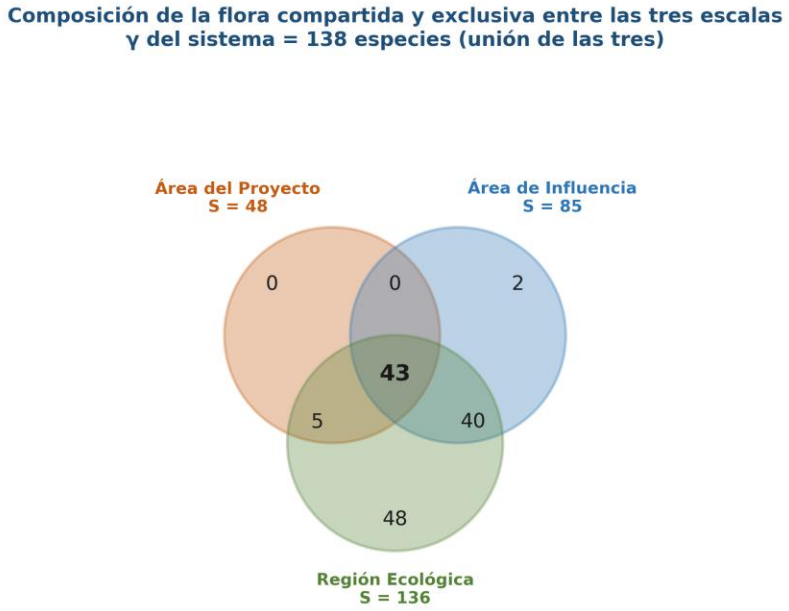


Figura 171. Composición de la flora compartida y exclusiva entre las tres escalas. El núcleo común son 43 especies; la Región Ecológica aporta 48 exclusivas y el predio, ninguna.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

El diagrama revela una asimetría que las tablas no dejaban ver: **el predio y el remanente contiguo no comparten ninguna especie que la región no tenga también** —la región de intersección exclusiva entre AP y AI vale cero—. Todo lo que el predio comparte con su vecino, lo comparte además con la microcuenca. La consecuencia es que **el Área de Influencia no aporta al predio ningún elemento florístico propio**: no es un donante de composición, sino un fragmento más de la misma región. Para la restauración, el banco de propágulos que importa es el regional, no el del lindero.

III.5.5.8 Flora — partición α–β–γ del sistema

Tabla 95. Partición aditiva de Lande de la diversidad de flora del sistema AP–AI–RE.

Componente	Valor	Interpretación
`α` del Área del Proyecto	48	Riqueza de flora del predio
`α` del Área de Influencia	85	Riqueza de flora del remanente
`α` de la Región Ecológica	136	Riqueza de flora de la microcuenca
`ᾱ` promedio	89.67	Media de las tres riquezas
`β` de Lande	48.33	Riqueza que existe porque las escalas difieren
`γ` del sistema	138	Unión de las tres escalas
Contribución de `α`	65.0 %	—
Contribución de `β`	35.0 %	—

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I), conjuntos de especies por escala. Partición aditiva de Lande (1996): `γ = ᾱ + β`, donde `γ` es la riqueza de la unión de las tres escalas y `ᾱ` el promedio de las tres riquezas. Las contribuciones son `100 · ᾱ / γ` y `100 · β / γ`.

La partición cuantifica de dónde procede la diversidad vegetal del sistema. **El 35.0 % de la riqueza de flora es diversidad beta**: cuarenta y ocho de las 138 especies existen porque las tres escalas difieren entre sí, no porque cada una sea rica por dentro. Sigue siendo una proporción alta —más del doble que en la fauna—, y su significado de manejo es directo: **cada polígono guarda composición propia**, de modo que una hectárea de compensación no equivale a una hectárea removida si no reproduce esa composición.

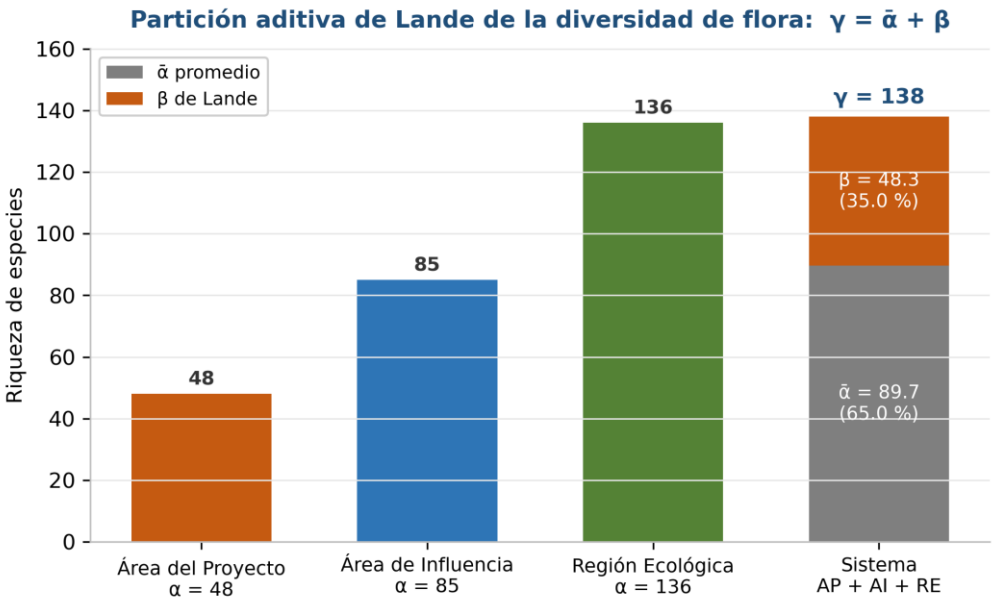


Figura 172. Partición aditiva de Lande de la diversidad de flora: la riqueza de cada escala, y la descomposición de la riqueza del sistema en su componente `ᾱ` y su componente `β`.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

La barra del sistema muestra que **la componente beta es algo más de un tercio de la barra**, y que la `ᾱ` promedio de 89.67 especies queda por debajo de la riqueza regional de 136. Esa distancia entre `ᾱ` y la `α` de la Región Ecológica es la medida gráfica de cuánto tira hacia abajo el predio, ya que el remanente —con 85 especies— se acerca ahora a la región. La conclusión operativa que se desprende, y que el capítulo de impactos empleará, es que **la reforestación del predio de compensación debe dirigirse por lista de especies, no por número de individuos**.

III.5.5.9 Flora — gradiente de condición AP → AI → RE

Tabla 96. Gradiente de los indicadores de condición de la flora entre las tres escalas.

Indicador	AP	AI	RE	Sentido
Riqueza de flora (especies)	48	85	136	Creciente
Riqueza del estrato leñoso (especies)	18	44	70	Creciente
IVI máximo del estrato leñoso (de 300)	59.2	38.5	15.3	Decreciente
IVI máximo del estrato arbustivo (de 300)	213.3	102.4	51.3	Decreciente
Berger-Parker del estrato leñoso	0.370	0.215	0.093	Decreciente
Equidad de Pielou del estrato leñoso	0.719	0.805	0.908	Creciente
Invasoras en el herbáceo (% de la abundancia)	15.0	6.8	3.7	Decreciente
Especies exóticas de flora	7	8	8	—
Especies invasoras de flora	4	4	4	Constante
Especies endémicas de flora	6	14	23	Creciente

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I); riqueza, exóticas, invasoras y endémicas de flora por escala. El porcentaje de invasoras en el herbáceo es el cociente entre la abundancia sumada de Cynodon dactylon, Momordica charantia y Panicum maximum y la abundancia total del estrato, en cada escala: 160/1,070, 15/222 y 24/652.

Ocho de los diez indicadores varían de forma **monótona** a lo largo del gradiente, y ninguno lo contradice. Al pasar del predio a la región, la riqueza sube y la equidad sube; bajan la dominancia, el peso de la especie

estructurante y la presión de las invasoras. El IVI de la especie leñosa dominante se divide por 3.9 y el de la arbustiva por 4.2. **La condición ecológica de la flora del Área del Proyecto no es la de su región: es la de su extremo degradado.**

El comportamiento de las invasoras merece enunciarse aparte. El **número de especies exóticas invasoras es constante en las tres escalas —cuatro—**, y lo que cambia no es su presencia sino su peso: las mismas cuatro invasoras que en la región son especies marginales, en el predio reúnen el 15.0 % de la abundancia herbácea, contra el 3.7 % regional. La presión de la invasión no se mide por cuántas especies invasoras hay, sino por cuánto pesan, y ese peso se cuadruplica al acercarse al predio.

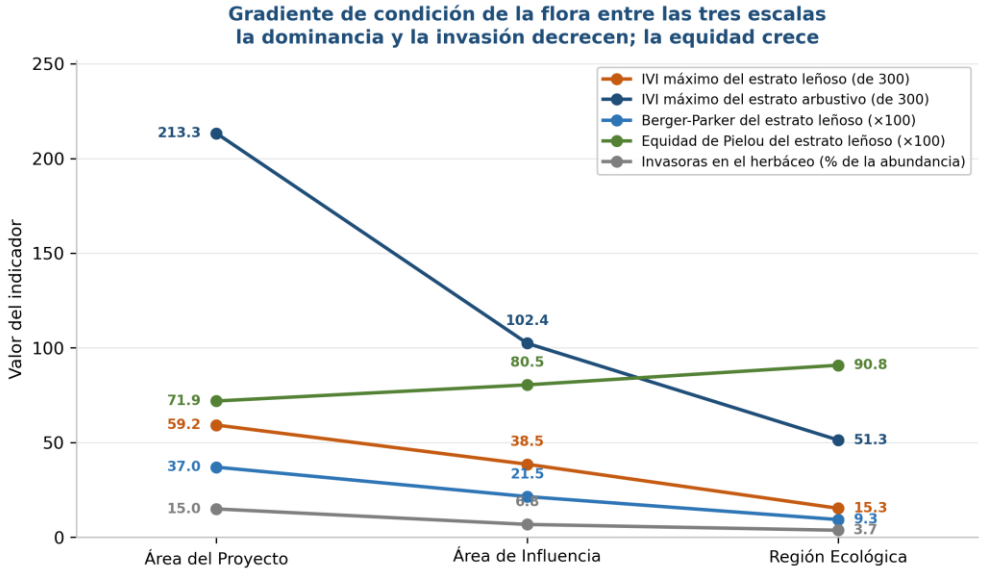


Figura 173. Gradiente de condición de la flora entre las tres escalas: el índice de valor de importancia de las especies dominantes y la dominancia de Berger-Parker decrecen, la equidad de Pielou crece, y la presión de las invasoras cae del 15.0 % al 3.7 %.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Las cinco líneas convergen hacia la derecha, y esa convergencia es el diagnóstico. La pendiente más pronunciada es la del **IVI del estrato arbustivo**, que se desploma de 213.3 a 55.4: el huizache, pionera espinosa de terreno abierto, gobierna el arbustivo del predio y es marginal en la región. La única línea ascendente es la de la equidad. **Ningún indicador de la flora sitúa al Área del Proyecto en la condición de su región**.

FAUNA

III.5.5.10 Fauna — riqueza por grupo en las tres escalas

Tabla 97. Riqueza de especies de fauna por grupo, con su porcentaje sobre la riqueza total de cada escala.

Grupo	AP: `S`	AP: %	AI: `S`	AI: %	RE: `S`	RE: %
Aves	39	58.2	44	56.4	50	55.6
Mamíferos	14	20.9	16	20.5	21	23.3
Reptiles	12	17.9	16	20.5	18	20.0
Anfibios	2	3.0	2	2.6	1	1.1
Total	**67**	**100.0**	**78**	**100.0**	**90**	**100.0**

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G), por grupo y por escala.

El reparto taxonómico es notablemente **estable entre escalas**: las aves aportan entre el 55.6 % y el 58.2 % de las especies, los mamíferos entre el 20.5 % y el 23.3 %, y los reptiles entre el 17.9 % y el 20.5 %. La

composición de la comunidad faunística no depende de la escala; lo que cambia es cuántas especies contiene cada grupo. La única excepción son los anfibios, que descienden del 3.0 % al 1.1 %, y ya se ha dicho que ese descenso es un artefacto del reparto estacional de los recorridos.

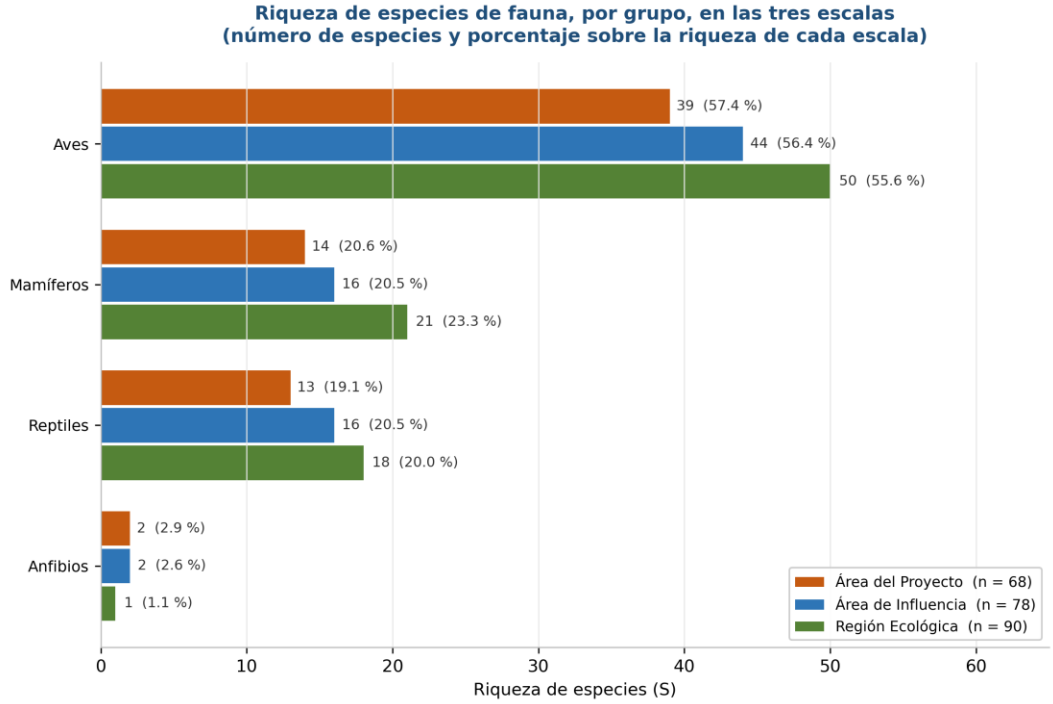


Figura 174. Riqueza de especies de fauna por grupo en las tres escalas, con el número de especies y su porcentaje sobre la riqueza de cada escala.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Frente a la figura homóloga de la flora, ésta muestra un crecimiento **mucho más contenido**. La avifauna pasa de 39 a 50 especies —un factor de 1.28— cuando el estrato leñoso se multiplicaba por 3.6. El grupo que más crece es el de los reptiles (factor 1.50), y los anfibios decrecen. **La fauna del predio ya contiene la mayor parte de la fauna regional**, y ésa es la razón última de que su beta sea baja: los vertebrados se mueven, y 3.41 ha rodeadas de hábitat continuo reciben visitantes de toda la microcuenca.

III.5.5.11 Fauna — diversidad alfa normalizada por esfuerzo

Tabla 98. Índices de diversidad alfa de la fauna por escala, normalizados por esfuerzo, con estimadores de incidencia.

Grupo	Escala	`S` obs.	Chao 2	ICE	`H'`	`1−λ`	Avistamientos por recorrido	Recorridos
Aves	AP	39	39.00	39.00	3.501	0.965	37.33	12
Aves	AI	44	44.50	44.89	3.473	0.956	44.00	6
Aves	RE	50	50.00	50.00	3.765	0.973	43.67	6
Mamíferos	AP	14	14.00	14.00	2.503	0.906	7.92	12
Mamíferos	AI	16	16.00	16.00	2.699	0.927	11.67	6
Mamíferos	RE	21	21.00	21.00	2.964	0.944	13.83	6
Reptiles	AP	13	13.00	13.28	2.319	0.886	10.67	12
Reptiles	AI	16	16.00	16.30	2.350	0.862	17.33	6
Reptiles	RE	18	18.00	18.00	2.665	0.909	13.00	6
Anfibios	AP	2	2.00	2.00	0.662	0.469	0.67	12
Anfibios	AI	2	2.00	2.00	0.683	0.490	1.17	6
Anfibios	RE	1	1.00	1.00	—	—	0.33	6

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexos H e I). La abundancia normalizada es el cociente entre los avistamientos y el número de recorridos. Los índices de los anfibios de la Región Ecológica no aplican por ser un grupo monoespecífico.

Normalizada por esfuerzo, la comparación entrega el resultado que la abundancia cruda escondía: **la actividad faunística del predio es la más baja de las tres escalas en tres de los cuatro grupos**. Un recorrido del Área del Proyecto produce 7.92 avistamientos de mamíferos contra 13.83 en la región, y 37.08 de aves contra 43.67. Solo los reptiles rompen el patrón, y lo rompen en el Área de Influencia (17.33), no en el predio. El predio no solo tiene menos especies: tiene menos animales por unidad de esfuerzo.

Los estimadores de incidencia confirman que el inventario faunístico está cerrado en las tres escalas. **Chao 2 e ICE coinciden con la riqueza observada** en once de las doce combinaciones de grupo y escala; la única separación apreciable es la de las aves del Área de Influencia (44 observadas, 44.89 según ICE). La comparación de riquezas entre escalas es, por tanto, directa y no requiere corrección.

III.5.5.12 Fauna — diversidad alfa por temporada

Tabla 99. Fauna: riqueza y abundancia normalizada por recorrido, por escala y temporada.

Grupo	AP: riq. seca	AP: riq. húmeda	AP: avist./rec. seca	AP: avist./rec. húmeda	AI: riq. seca	AI: riq. húmeda	AI: avist./rec. seca	AI: avist./rec. húmeda	RE: riq. seca	RE: riq. húmeda	RE: avist./rec. seca	RE: avist./rec. húmeda
Aves	31	36	33.33	40.83	42	40	70.50	30.75	43	43	45.50	40.00
Mamíferos	10	12	6.33	9.50	13	16	9.00	13.00	16	20	11.00	19.50
Reptiles	9	11	11.33	9.83	14	13	21.00	15.50	14	15	13.50	12.00
Anfibios	0	2	0.00	1.33	0	2	0.00	1.75	0	1	0.00	1.00

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G), con las tres escalas por temporada. La abundancia normalizada es el cociente entre los avistamientos de la temporada y el número de recorridos de esa temporada (Tabla 88).

El patrón es consistente en tres de los cuatro grupos y en las tres escalas: **la riqueza faunística es mayor en temporada húmeda**. Los anfibios son el caso extremo, con cero registros en secas en las tres escalas. Los mamíferos suben en riqueza y en abundancia en las tres. Los **reptiles son la única excepción**: su riqueza sube ligeramente en húmeda pero su actividad cae en las tres escalas, porque la insolación de la temporada seca los obliga a exponerse. Residencia permanente y detectabilidad estacional no son lo mismo, y la distinción gobierna la programación del rescate.

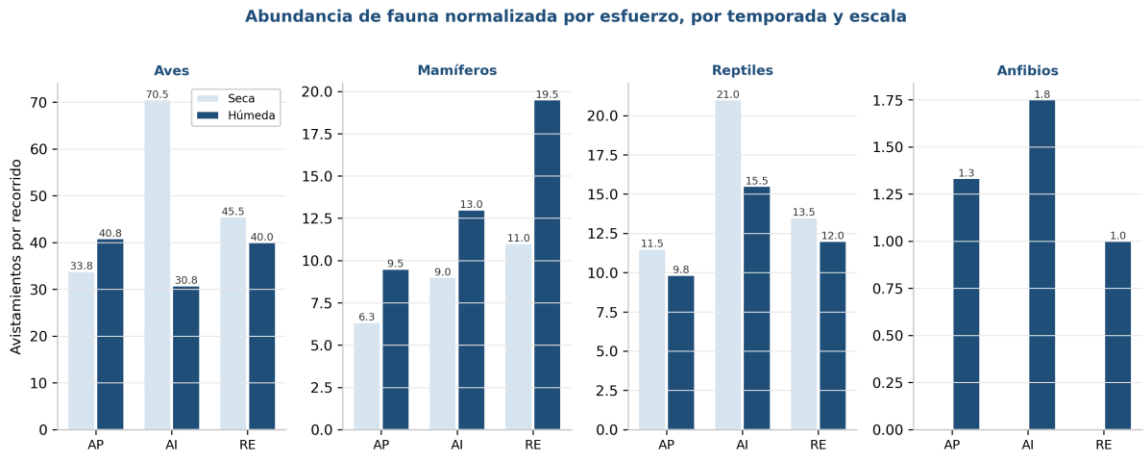


Figura 175. Abundancia de fauna normalizada por esfuerzo, en avistamientos por recorrido, por temporada y escala, para los cuatro grupos.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

La figura destaca un valor que conviene leer con cautela: los **70.50 avistamientos de aves por recorrido en la temporada seca del Área de Influencia**, muy por encima de cualquier otro. Descansa sobre dos únicos recorridos de esa temporada, de modo que su varianza es alta y no debe compararse de igual a igual con los seis recorridos secos del predio. La lectura robusta de la figura es la de los mamíferos, cuyo pulso húmedo

se repite en las tres escalas y crece con ellas, y la de los reptiles, cuya barra seca supera a la húmeda también en las tres.

III.5.5.13 Fauna — diversidad beta entre escalas

Tabla 100. Diversidad beta de la fauna entre pares de escalas, por grupo (contexto → foco).

Par	Grupo	`S` ctx	`S` foco	Compartidas	Solo ctx	Solo foco	Jaccard	Sørensen	`βSOR`	`βSIM`	`βSNE`	Patrón	`ᾱ`	`β` Lande	`γ`
RE → AP	Aves	50	39	39	11	0	0.780	0.876	0.124	0.000	0.124	Anidamiento	44.5	5.5	50
RE → AI	Aves	50	44	44	6	0	0.880	0.936	0.064	0.000	0.064	Anidamiento	47.0	3.0	50
AI → AP	Aves	44	39	34	10	5	0.694	0.819	0.181	0.128	0.052	Recambio	41.5	7.5	49
RE → AP	Mamiferos	21	14	14	7	0	0.667	0.800	0.200	0.000	0.200	Anidamiento	17.5	3.5	21
RE → AI	Mamiferos	21	16	16	5	0	0.762	0.865	0.135	0.000	0.135	Anidamiento	18.5	2.5	21
AI → AP	Mamiferos	16	14	12	4	2	0.667	0.800	0.200	0.143	0.057	Recambio	15.0	3.0	18
RE → AP	Reptiles	18	13	13	5	0	0.722	0.839	0.161	0.000	0.161	Anidamiento	15.5	2.5	18
RE → AI	Reptiles	18	16	15	3	1	0.789	0.882	0.118	0.062	0.055	Recambio	17.0	2.0	19
AI → AP	Reptiles	16	13	12	4	1	0.706	0.828	0.172	0.077	0.096	Anidamiento	14.5	2.5	17
RE → AP	Anfibios	1	2	1	0	1	0.500	0.667	0.333	0.000	0.333	Anidamiento	1.5	0.5	2
RE → AI	Anfibios	1	2	0	1	2	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	Recambio	1.5	1.5	3
AI → AP	Anfibios	2	2	1	1	1	0.333	0.500	0.500	0.500	0.000	Recambio	2.0	1.0	3

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I). Convenciones idénticas a las de la Tabla 92.

La cifra más importante de esta tabla está en la columna «Solo foco». **En aves, mamíferos y reptiles, el Área del Proyecto no aporta ni una sola especie que la Región Ecológica no tenga**: cero, cero y cero. Las treinta y nueve aves, los catorce mamíferos y los trece reptiles del predio están todos representados en la microcuenca. El anidamiento es perfecto y el recambio, `βSIM`, vale exactamente cero en los tres grupos. Para la evaluación de impacto esto significa que **la remoción del predio no compromete ninguna especie de vertebrado terrestre a escala regional**, y es la evidencia que dimensiona la significancia del impacto sobre la fauna.

Frente al Área de Influencia, sin embargo, reaparece el recambio: el predio aporta **cinco aves y dos mamíferos que el remanente contiguo no registra**, y el remanente aporta diez aves y cuatro mamíferos que el predio no tiene. Las dos escalas se complementan en lugar de contenerse. Para la mitigación, ese complemento composicional no supone un cuello de botella, porque el ahuyentamiento no descarga la fauna del predio sobre el fragmento vecino: la avifauna —el grupo más móvil, y el único que aporta especies que el remanente no tiene— se redistribuye por vuelo propio a una escala muy superior a la del fragmento contiguo, alcanzando la microcuenca y el continuo de selva baja que la rodea; y los mamíferos y reptiles, de desplazamiento lento, se trasladan de forma dirigida por el programa de rescate y reubicación al sitio receptor. **La mitigación de la fauna descansa así en dos medidas —el ahuyentamiento dirigido de la avifauna, eficaz por su movilidad, y el rescate y reubicación de los grupos de desplazamiento lento—, no en la capacidad del remanente contiguo para absorber a los individuos desplazados**.

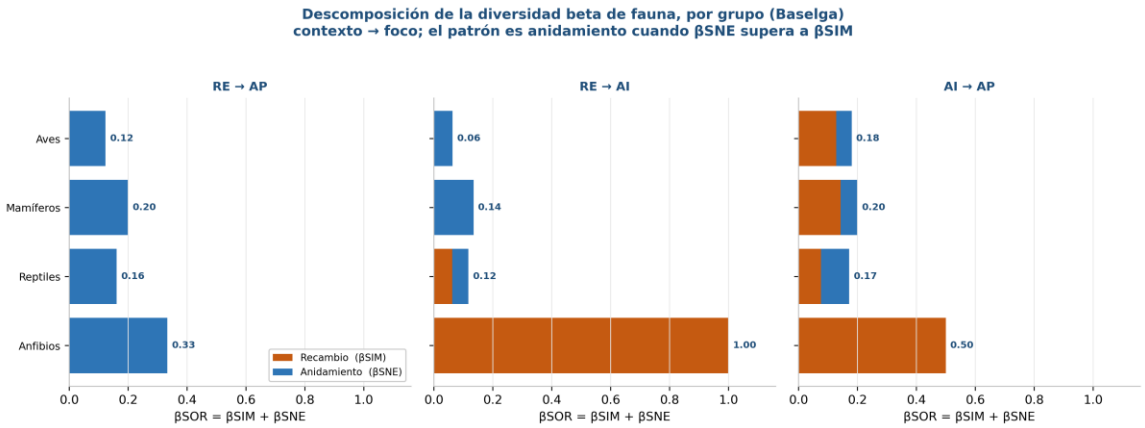


Figura 176. Descomposición de Baselga de la diversidad beta de la fauna, por grupo y por par de escalas. Las barras de los dos paneles con la Región Ecológica como contexto son puramente de anidamiento en aves, mamíferos y reptiles.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

Los paneles de la izquierda no muestran ni una traza anaranjada en los tres grupos de vertebrados terrestres mayores: **el recambio es literalmente nulo**. El contraste con la figura homóloga de la flora es la conclusión de todo el apartado. Allí, el predio frente a la región conservaba un componente de recambio en los cinco estratos; aquí no conserva ninguno. Los anfibios entregan el único caso de recambio total del capítulo: entre la Región Ecológica y el Área de Influencia **no comparten una sola especie** (`βSOR` = 1.000), pero con nueve eventos entre las dos escalas ese dato mide el muestreo tanto como la ecología.

III.5.5.14 Fauna — diversidad beta entre grupos

Tabla 101. Diversidad beta entre grupos faunísticos, dentro de cada escala.

Escala	Pares de grupos evaluados	Especies compartidas entre grupos	Sørensen	`βSOR`	`βSIM`	Patrón
Área del Proyecto	6	0	0.000	1.000	1.000	Recambio total
Área de Influencia	6	0	0.000	1.000	1.000	Recambio total
Región Ecológica	6	0	0.000	1.000	1.000	Recambio total

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I). Los seis pares de cada escala resultan de combinar los cuatro grupos —aves, mamíferos, reptiles y anfibios— de dos en dos.

El resultado es cero en las dieciocho comparaciones, y lo es **por construcción taxonómica**: ninguna especie es simultáneamente ave y reptil. El valor no describe una propiedad ecológica del sitio sino la independencia de los conjuntos que se comparan, y se consigna para dejar constancia de que la comparación se hizo y de qué significa. La diversidad beta informativa entre grupos faunísticos es la que se mide **entre escalas**, y está en la Tabla 100; la que se mide entre grupos dentro de una escala no aporta información sobre el sistema.

III.5.5.15 Fauna — composición: especies exclusivas y compartidas

Tabla 102. Reparto de las 93 especies de fauna del sistema entre las tres escalas.

Región de pertenencia	Especies	Ejemplos y observación
Solo en el Área del Proyecto	0	Ninguna especie de fauna del predio le es exclusiva
Solo en el Área de Influencia	2	*Boa sigma* (mazacuata, endémica, CITES II) y *Rhinella horribilis* (sapo gigante)
Solo en la Región Ecológica	6	Entre ellas *Rhinoclemmys pulcherrima*, amenazada en la NOM-059

Región de pertenencia	Especies	Ejemplos y observación
En el AP y el AI, no en la RE	1	*Incilius marmoreus* (sapo jaspeado, endémico)
En el AP y la RE, no en el AI	9	—
En el AI y la RE, no en el AP	17	—
En las tres escalas	58	El núcleo faunístico común, el 85 % de la fauna del predio
γ del sistema (unión)	**93**	

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). «Exclusiva» significa no registrada en los recorridos de las otras escalas.

Ésta es la tabla que sostiene el argumento de significancia sobre la fauna, y su celda decisiva es la primera: **ninguna de las sesenta y ocho especies de fauna del Área del Proyecto es exclusiva del Área del Proyecto**. Cincuenta y ocho están presentes en las tres escalas y las diez restantes, en al menos una de las otras dos. La remoción del predio no extingue fauna del sistema: la desplaza.

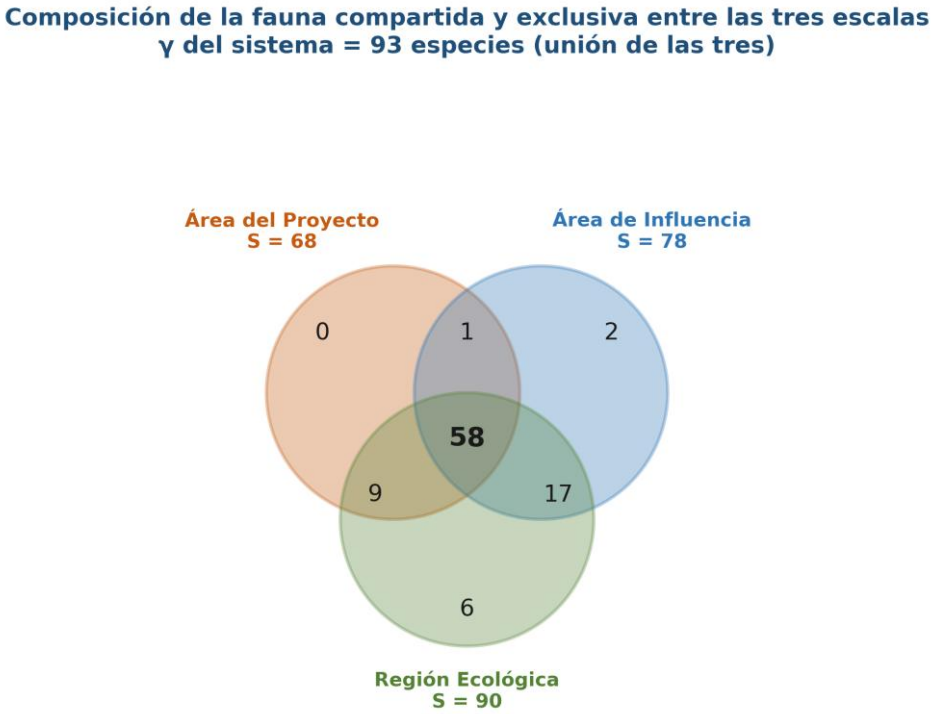


Figura 177. Composición de la fauna compartida y exclusiva entre las tres escalas. El núcleo común son 58 especies; el Área del Proyecto no aporta ninguna exclusiva.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G).

Puesto al lado del diagrama de la flora, éste enuncia la asimetría entre los dos reinos con una sola imagen. En flora, la región retiene sesenta y nueve especies exclusivas y el círculo del predio conserva una porción propia; en fauna, la región retiene seis y **el círculo del predio queda enteramente contenido en la unión de los otros dos**. La única región exclusiva del predio compartida con alguien es la que lo une al remanente sin pasar por la región, y contiene una sola especie: el sapo jaspeado. Las plantas son sésiles y su recambio entre escalas es alto; los vertebrados se mueven y ocupan el sistema entero.

III.5.5.16 Fauna — partición α–β–γ del sistema

Tabla 103. Partición aditiva de Lande de la diversidad de fauna del sistema AP–AI–RE.

Componente	Valor	Interpretación
`α` del Área del Proyecto	68	Riqueza de fauna del predio
`α` del Área de Influencia	78	Riqueza de fauna del remanente
`α` de la Región Ecológica	90	Riqueza de fauna de la microcuenca

Componente	Valor	Interpretación
`ᾱ` promedio	78.67	Media de las tres riquezas
`β` de Lande	14.33	Riqueza que existe porque las escalas difieren
`γ` del sistema	93	Unión de las tres escalas
Contribución de `α`	84.6 %	—
Contribución de `β`	15.4 %	—

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I), conjuntos de especies por escala. Convenciones idénticas a las de la Tabla 95.

En fauna, **la beta aporta apenas el 15.4 % de la riqueza del sistema**, contra el 35.0 % de la flora. Las noventa y tres especies animales están, en su mayoría, en todas partes: la `ᾱ` promedio de 78.67 especies queda a menos de quince de la `γ` total. Un impacto que elimina 3.41 ha de vegetación resta, en fauna, una fracción pequeña de un elenco compartido, y por eso el **ahuyentamiento y la conectividad son medidas suficientes** para este reino, mientras que en flora hacía falta reproducir composición.

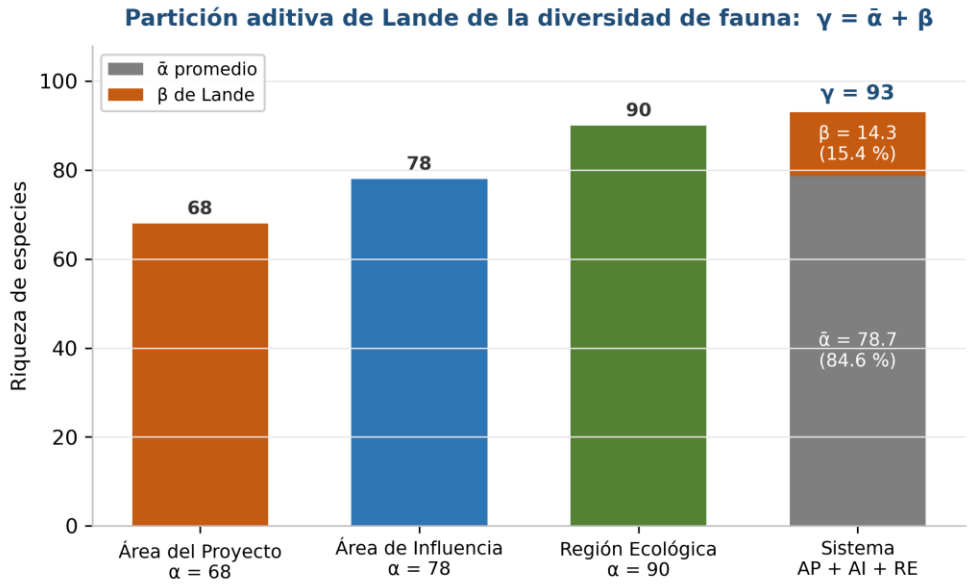


Figura 178. Partición aditiva de Lande de la diversidad de fauna: la riqueza de cada escala, y la descomposición de la riqueza del sistema en su componente `ᾱ` y su componente `β`.

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I).

La barra del sistema es **casi enteramente gris**: la componente beta es una franja delgada en su cima. Y la `ᾱ` promedio de 78.67 supera a la `α` del propio Área de Influencia y se acerca a la de la Región Ecológica, cosa que en flora no ocurría ni de lejos. Comparada con la figura homóloga de la flora, ésta prueba gráficamente que **el sistema faunístico es uno solo, repartido, y el florístico es un mosaico de tres comunidades**. Toda la estrategia de mitigación biológica del proyecto se deriva de esa diferencia.

III.5.5.17 Fauna — gradiente de condición AP → AI → RE

Tabla 104. Gradiente de los indicadores de condición de la fauna entre las tres escalas.

Indicador	AP	AI	RE	Sentido
Riqueza de fauna (especies)	68	78	90	Creciente
Especies en la NOM-059	5	8	10	Creciente
Especies en la CITES	9	11	15	Creciente
Especies endémicas	18	20	21	Creciente
Especies exóticas	1	1	1	Constante
VIF de *Streptopelia decaocto* (de 200)	5.7	9.6	9.3	—

Indicador	AP	AI	RE	Sentido
Puesto de *Streptopelia decaocto* en el VIF aviar	12.º	4.º	1.º (empatada)	Ascendente

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo I). El valor de importancia de fauna es `VIF = DR + FR`, sobre un máximo de 200.

El gradiente faunístico crece en los cuatro indicadores de conservación: **la carga normativa del sistema reside en el entorno, no en el polígono a remover**. Las especies de la NOM-059 se duplican del predio al remanente y llegan a diez en la región; las endémicas pasan de diecisiete a veintiuna. Esa progresión, y no la riqueza total, es la que debe orientar la prioridad de conservación: **lo que el proyecto pone en riesgo directo es la fracción menos comprometida del elenco regional**.

La última fila obliga a un matiz que ningún otro indicador entrega. **La paloma turca de collar, *Streptopelia decaocto*, exótica invasora, está presente en las tres escalas** —es la única fauna exótica de todo el levantamiento— y su peso estructural **crece con la escala**: es la duodécima ave del predio por valor de importancia, la cuarta del remanente, y en la Región Ecológica comparte el primer puesto con la paloma de alas blancas. La invasión aviar no procede del predio hacia la región, sino que está establecida en toda la microcuenca. Es una condición de partida del sistema, no un impacto atribuible al proyecto, y así conviene declararlo.

III.5.5.18 Síntesis: temporada crítica y diagnóstico del gradiente

Cruzando las tablas de temporada de los dos reinos, la conclusión operativa es unívoca: **la biodiversidad del Área del Proyecto es máxima en la temporada húmeda**, y ahí se registrarían los mayores impactos del proyecto sobre la biodiversidad. El motor lo cuantifica con ocho grupos y estratos a favor de la temporada húmeda por riqueza contra ninguno a favor de la seca, y seis contra dos por abundancia normalizada. La consecuencia se enunció ya en los apartados de cada grupo: **el desmonte debe programarse en la temporada seca**, cuando los anfibios están inactivos, la avifauna migratoria está en su mínimo y la cubierta herbácea no ha desplegado su pulso; y el rescate herpetofaunístico debe ejecutarse en esa misma temporada, que es cuando los reptiles son detectables.

El diagnóstico que sostiene el resto del capítulo se enuncia así. El Área del Proyecto es un fragmento de selva baja caducifolia secundaria, empobrecido y dominado, **anidado dentro de una región que conserva la composición completa**. Ni su fauna ni su flora aportan al sistema una sola especie exclusiva: **todo lo que vive en el predio existe además en el remanente contiguo o en la microcuenca**. Con las bases corregidas, la que se creía leguminosa endémica exclusiva del predio resultó ser una exótica presente en las tres escalas. Pero los dos reinos exigen respuestas distintas: en fauna, con una beta de solo el 15.4 %, basta con ahuyentar y garantizar conectividad; en flora, con una beta del 35.0 %, cada polígono guarda composición propia y la compensación debe reproducirla especie por especie.

La región, a su vez, no es un refugio prístino: su gremio mastozoológico lo dominan los omnívoros generalistas, una paloma exótica invasora comparte la cabeza de su valor de importancia aviar, y su inventario leñoso sigue abierto al 79.0 % de completitud. Aun así, la eficacia de las medidas sobre la fauna no queda supeditada a que ese entorno absorba por saturación a los individuos desplazados: **descansa en dos medidas independientes de esa capacidad —el ahuyentamiento dirigido de una avifauna que se redistribuye por vuelo propio más allá del Área de Influencia, y el rescate y reubicación de los grupos de desplazamiento lento hacia el sitio receptor—**, mientras que el anidamiento perfecto de la fauna del predio en la región garantiza que ninguna especie se pierde a escala regional. Ambas medidas se formalizan y se vinculan en el Capítulo IV.

III.6 Análisis de los componentes ambientales al interior de la Región Ecológica

Los apartados anteriores describieron los componentes abiótico, biótico y socioeconómico cada uno por su lado. Este apartado los cruza, para responder una sola pregunta: **cómo se relacionan entre sí los componentes de la Región Ecológica y en qué punto de ese sistema se inscribe el Área del Proyecto**. El análisis se ordena en tres relaciones: el relieve con la vegetación, la vegetación con la matriz de uso de suelo, y la estructura vertical de la comunidad con la escala.

III.6.1 Relieve, suelo y posición del Área del Proyecto

Tabla 105. Gradiente morfométrico de las tres escalas anidadas.

Parámetro	Área del Proyecto	Área de Influencia	Región Ecológica
Superficie (ha)	3.4097	216.62	5,992.43
Elevación media (m)	31.9	34.5	162.0
Elevación mínima / máxima (m)	29.8 / 34.7	22.3 / 84.9	−2.0 / 916.0
Relieve (m)	4.9	62.7	918.0
Pendiente media (%)	2.39	5.15	17.31
Integral hipsométrica	0.417	0.194	0.179

Fuente: elaboración propia con base en el modelo digital de elevación de INEGI, recortado a cada escala. La integral hipsométrica es adimensional.

El gradiente sitúa al Área del Proyecto en el **piso de la cuenca**. Con 31.9 m de elevación media, 4.9 m de relieve y 2.39 % de pendiente, el predio ocupa la planicie aluvial más plana de la Región Ecológica, que en conjunto asciende hasta los 916 m y promedia el 17.31 % de pendiente. Esa posición topográfica no es un dato aislado: explica la asignación edáfica —el predio es Phaeozem háplico sobre depósito aluvial, mientras la cuenca alta expone las litologías serranas— y explica la vulnerabilidad hidrológica que el apartado III.9 desarrollará, porque el piso de cuenca es la zona de recarga y de tránsito del agua hacia la Laguna de Cuyutlán.

La integral hipsométrica ordena las tres escalas en fases geomorfológicas distintas. La de la Región Ecológica, 0.179, corresponde a una cuenca en **fase de senectud**; la del predio, 0.417, se acerca al equilibrio de una superficie de acumulación. **El Área del Proyecto no es una muestra representativa del relieve de su región: es su extremo deposicional**, el punto donde la cuenca entrega sus materiales antes de descargar en la laguna.

III.6.2 Vegetación y matriz de uso de suelo

Tabla 106. Composición del uso de suelo y la vegetación de la Región Ecológica (INEGI Serie VII, 1:250,000), agregada por condición.

Condición	Superficie (ha)	% de la Región Ecológica
Vegetación secundaria (selva baja, selva mediana y manglar)	3,224.64	53.81
Asentamientos humanos	1,536.78	25.65
Uso agropecuario (agricultura y pastizales)	768.26	12.82
Cuerpo de agua	272.92	4.55
Vegetación primaria (manglar)	120.07	2.00
Desprovisto de vegetación	69.76	1.16
Total	**5,992.43**	**100.00**

Fuente: elaboración propia con base en la carta de uso de suelo y vegetación Serie VII de INEGI. La superficie total reproduce exactamente la superficie canónica de la Región Ecológica, 5,992.43 ha. «Vegetación secundaria» agrupa las seis clases de vegetación secundaria arbórea y arbustiva; «vegetación primaria» corresponde al único polígono de manglar no perturbado.

La matriz regional es la de un **paisaje periurbano en transición**. Poco más de la mitad del territorio (53.81 %) conserva vegetación natural, pero **casi toda es secundaria**: solo 120.07 ha —el 2.00 %, y todas de manglar— clasifican como vegetación primaria. Un cuarto de la Región Ecológica (25.65 %) son

asentamientos humanos, y el uso agropecuario suma otro 12.82 %. El puerto de Manzanillo y su mancha urbana imponen la impronta dominante del paisaje.

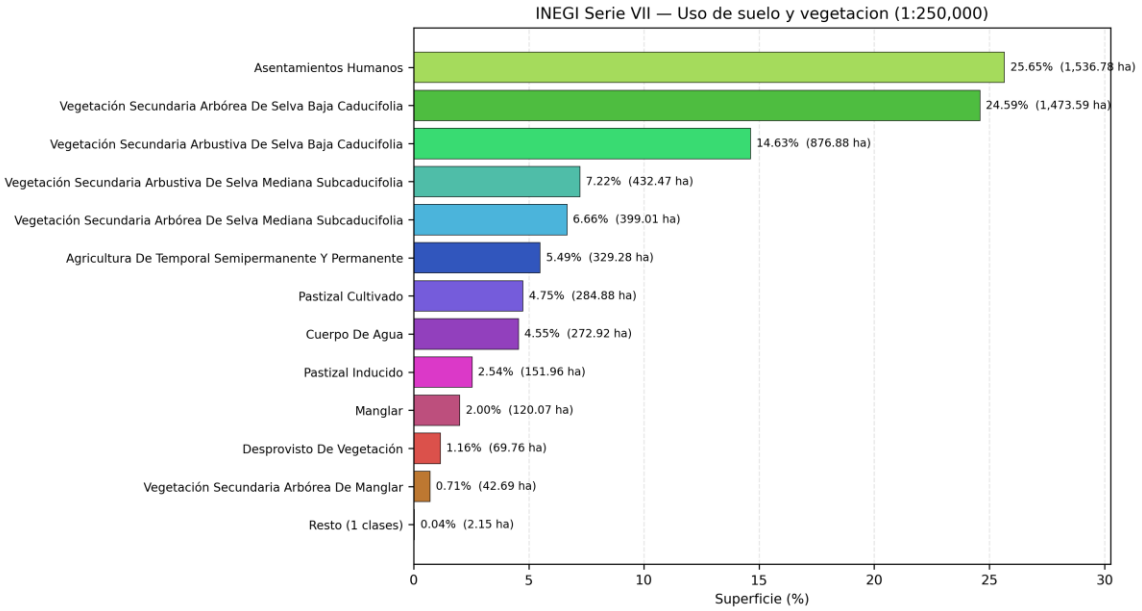


Figura 179. Composición del uso de suelo y la vegetación de la Región Ecológica según la carta INEGI Serie VII (1:250,000). Las tres clases mayores —asentamientos humanos, vegetación secundaria arbórea y arbustiva de selva baja caducifolia— reúnen el 64.9 % del territorio.

Fuente: elaboración propia con base en la carta de uso de suelo y vegetación Serie VII de INEGI.

La figura ordena las trece clases y hace visible el dato que la agregación de la tabla oculta: **las dos clases de selva baja caducifolia secundaria —arbórea (24.59 %) y arbustiva (14.63 %)— son, juntas, el tipo de vegetación más extenso de la región**, con 2,350.47 ha. Es la comunidad a la que pertenece el Área del Proyecto, y su condición regional es la misma que la del predio: secundaria en toda su extensión. La razón de vegetación primaria sobre el total de la selva baja caducifolia de la región es **cero**: no queda en la Región Ecológica ni una hectárea de esta selva en estado primario.

III.6.3 Estructura vertical de la comunidad y escala

Tabla 107. Cobertura de copa por estrato en las tres escalas, corregida por traslape.

Estrato	AP: cobertura (%)	AI: cobertura (%)	RE: cobertura (%)
Arbóreo	42.85	59.88	67.96
Regeneración	7.77	15.21	11.70
Arbustivo	5.68	10.80	15.22
Otras formas de vida	15.05	29.18	14.15
Herbáceo	44.66	52.29	49.75

Fuente: estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexo G). La cobertura se calcula por el método de traslape aleatorio `1 − e^(−C/A)`, donde `C` es la cobertura de copa total medida y `A` el área muestreada. La cobertura herbácea se normaliza a metros cuadrados antes del cálculo.

La estructura vertical confirma, desde un tercer ángulo, lo que la riqueza y los índices de diversidad ya habían mostrado: **el Área del Proyecto es el extremo abierto de un gradiente de cierre del dosel**. La cobertura arbórea asciende monótonamente del 42.85 % en el predio al 59.88 % en el remanente contiguo y al 67.96 % en la región. El predio tiene, con diferencia, el dosel más abierto de las tres escalas, y esa apertura es coherente con todo lo demás: con la codominancia de trepadoras heliófilas, con la densidad herbácea máxima y con la presión de las invasoras que el diagnóstico cuantificará.

El estrato arbustivo repite el mismo ascenso (5.68 → 10.80 → 15.22 %), pero el herbáceo permanece casi constante entre escalas (44.66 → 52.29 → 49.75 %): **la hierba cubre el suelo por igual esté el dosel abierto o cerrado**, mientras que la cobertura leñosa distingue a la comunidad conservada de la degradada.

Para la evaluación del proyecto, esto significa que el indicador estructural sensible a la remoción es la cobertura arbórea y arbustiva, no la herbácea, que se recompone sola.

III.7 Diagnóstico ambiental

El diagnóstico ambiental del Área del Proyecto se apoya en indicadores cuantitativos, no en una valoración narrativa. La tabla siguiente reúne los indicadores de condición que los apartados anteriores fueron produciendo, con el valor de la escala del predio y, donde aporta, el de la región como referente.

Tabla 108. Indicadores cuantitativos de diagnóstico ambiental del Área del Proyecto.

Indicador	Valor (AP)	Referente (RE)	Fuente
Vegetación primaria de la región (% del total regional)	—	2.00	Serie VII
Vegetación secundaria de la región (% del total regional)	—	53.81	Serie VII
Uso agropecuario de la región (% del total regional)	—	12.82	Serie VII
Razón de vegetación primaria sobre el total de selva baja caducifolia	—	0.000	Serie VII
Ecosistema protegido presente en el predio	No	—	Áreas de importancia
Cobertura de copa arbórea (%)	42.85	67.96	Anexo G
Cobertura de copa arbustiva (%)	5.68	15.22	Anexo G
Cobertura de copa herbácea (%)	44.66	49.75	Anexo G
Riqueza del estrato leñoso (especies)	18	70	Anexo G
Equidad de Pielou del estrato leñoso	0.702	0.851	Anexo I
Especies exóticas de flora (% de la riqueza)	14.58	5.88	Anexo G
Especies exóticas invasoras de flora (% de la riqueza)	8.33	2.94	Anexo G
Invasoras en el estrato herbáceo (% de la abundancia)	15.0	3.7	Anexo G
Especies de fauna en la NOM-059	5	10	Anexo G

Fuente: elaboración propia con base en INEGI Serie VII y en el reporte de áreas de importancia para la conservación (CONABIO), y estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto (Anexos G e I: cobertura, riqueza, equidad, exóticas y estatus). El referente regional se incluye solo en los indicadores donde la comparación es informativa; en los indicadores de matriz de uso de suelo, que son propiedades de la región, no procede un valor a escala de predio.

Los indicadores dibujan un diagnóstico coherente y sin contradicciones internas. El Área del Proyecto es **selva baja caducifolia en estado de vegetación secundaria**: la carta nacional clasifica como secundaria la totalidad de esta selva en la región, y ni una hectárea sobrevive como primaria. Su dosel, con el 42.85 % de cobertura arbórea, es el más abierto de las tres escalas; su riqueza leñosa, dieciocho especies, es menos de un tercio de la regional; y su carga de especies exóticas —el 14.58 % de la flora, contra el 5.88 % regional— casi triplica la de la región. Ninguno de los indicadores sitúa al predio en la condición media de su cuenca: todos lo colocan en el extremo degradado.

Dos precisiones del diagnóstico deben firmarse por el responsable técnico. La primera es la **conclusión del estadio sucesional**: los indicadores duros están medidos —cobertura arbórea del 42.85 %, siete especies exóticas, dominancia del huizache en el arbustivo y de trepadoras heliófilas en las lianas— y apuntan a una comunidad en fase intermedia de recuperación tras una perturbación intensa, pero la síntesis formal del

estadio la concluye el perito, quien la sintetiza como **vegetación secundaria arbustiva con deterioro moderado por actividad antropogénica**. La segunda es la calificación **legal** de las cuatro especies declaradas invasoras en el levantamiento, que debe cotejarse contra el listado oficial vigente de la CONABIO/SEMARNAT antes de darles ese carácter en un documento a la autoridad.

El diagnóstico se resume así: el Área del Proyecto es un fragmento de selva baja caducifolia secundaria, empobrecido, de dosel abierto e invadido por exóticas, inscrito en el piso de una cuenca cuya vegetación es secundaria casi por completo. No alberga ecosistemas protegidos ni vegetación primaria. Su valor de conservación reside en la fracción del acervo regional que sostiene —enteramente en fauna, y parcialmente en flora—, no en una singularidad propia.

III.8 Problemáticas ambientales en la Región Ecológica

Las problemáticas ambientales de la Región Ecológica son previas al proyecto y ajenas a él: describen el estado de deterioro sobre el que el proyecto se inscribe. Cuatro procesos concentran el diagnóstico regional: la degradación del suelo, la erosión, el riesgo de deforestación y la presión de la matriz urbana, a los que se suma la invasión biológica ya cuantificada.

III.8.1 Degradación y erosión del suelo

La degradación del suelo, evaluada con la metodología ASSOD y descrita en el apartado III.2.1, afecta al **64.87 % de la Región Ecológica** —3,887.36 ha—, con la erosión hídrica laminar (clave Hs, 38.25 %) y la declinación de la fertilidad (clave Qd, 18.25 %) como procesos dominantes. La erosión cartografiada por la carta nacional es más conservadora: solo el 6.87 % de la región (411.94 ha) presenta erosión hídrica laminar leve, y el resto figura sin clasificar. Ambas cifras describen un mismo territorio en dos escalas de detalle, y su lectura conjunta es que **el deterioro del suelo es extenso pero de grado ligero**: el 56.51 % de la región está en grado 1 de degradación, y solo el 5.65 % alcanza el grado extremo.

El dato relevante para el proyecto es que su tasa de degradación está declarada **en incremento** en el 64.87 % de la región. El suelo regional no se ha estabilizado: sigue perdiendo espesor y fertilidad. La remoción de la cubierta vegetal del predio, al exponer el horizonte superficial, se inscribe en esa tendencia, y por eso el Capítulo IV evalúa la erosión hídrica y eólica como impacto sobre el suelo.

III.8.2 Riesgo de deforestación

Tabla 109. Índice de riesgo de deforestación de la Región Ecológica (INECC, 2013).

Grado de riesgo	Superficie (ha)	% de la Región Ecológica
Muy alto	736.37	21.65
Alto	727.46	21.39
Medio	1,676.21	49.28
Bajo	261.65	7.69

Fuente: elaboración propia con base en el índice de riesgo de deforestación (INECC, 2013). Los porcentajes se calculan sobre la superficie de la región que la capa clasifica (3,401.68 ha); el resto corresponde a asentamientos y cuerpos de agua, sin cubierta forestal que pueda deforestarse.

El 43.04 % de la superficie forestal de la Región Ecológica está en riesgo de deforestación alto o muy alto —1,463.83 ha entre las dos categorías—. Es la problemática regional de mayor peso para un proyecto de cambio de uso de suelo, porque documenta que la presión de conversión sobre la selva de la cuenca es intensa y activa. El predio se sitúa en esa dinámica: su cambio de uso de suelo no es una anomalía en una región conservada, sino un episodio más de un proceso de deforestación que la cartografía oficial reconoce como probable en casi la mitad del terreno forestal regional.

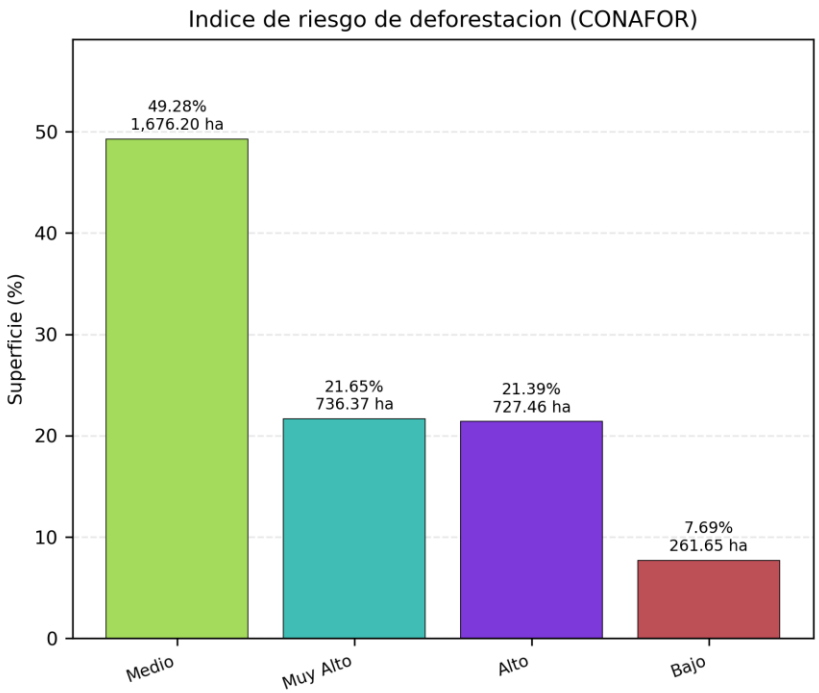


Figura 180. Índice de riesgo de deforestación de la Región Ecológica según el INECC (2013). Las clases de riesgo alto y muy alto, que suman el 43.04 % de la superficie forestal, se concentran en el piso de cuenca y en los bordes de la mancha urbana.

Fuente: elaboración propia con base en el índice de riesgo de deforestación (INECC, 2013).

El mapa revela la geografía del riesgo: las clases alta y muy alta no se distribuyen al azar, sino que **bordean la mancha urbana y ocupan el piso de cuenca**, precisamente donde se inscribe el Área del Proyecto. La proximidad a la infraestructura y a los asentamientos es el motor del riesgo, y el predio —contiguo al recinto portuario y a la vialidad— reúne todos los factores que el INECC asocia con la conversión. Esta coincidencia geográfica es la que da sustento a la calificación del predio como terreno sometido a presión de cambio, y no como remanente estable.

III.8.3 Presión de la matriz urbana e invasión biológica

La tercera problemática es la **presión de la matriz periurbana**, que el apartado III.5.3 ya cuantificó en el Área de Influencia: de sus 216.62 ha, el 67.06 % son zona urbana y el 24.19 % pastizal inducido, de modo que la selva baja caducifolia sobrevive en apenas el 8.75 % —18.95 ha— en forma de fragmentos. El Área del Proyecto está rodeado por esa matriz, y de ella proceden los dos indicadores de deterioro biológico que el diagnóstico registró: la **invasión por especies exóticas** y la **apertura del dosel**.

La invasión biológica sigue un gradiente nítido y ya documentado: las tres especies exóticas invasoras del estrato herbáceo —*Cynodon dactylon*, *Momordica charantia* y *Panicum maximum*— reúnen el **15.0 % de la abundancia herbácea en el predio**, el 6.8 % en el remanente y el 3.7 % en la región. La presión de las invasoras se cuadruplica al acercarse al predio. A ellas se suma, en la fauna, la paloma turca de collar (*Streptopelia decaocto*), la única especie animal exótica del levantamiento, establecida en las tres escalas. **La invasión no procede del predio: procede de la matriz urbana que lo rodea**, y es una condición de partida del sistema, no un efecto del proyecto.

Estas tres problemáticas —degradación del suelo en incremento, riesgo de deforestación alto en el piso de cuenca, y presión urbana con invasión biológica— componen el cuadro de deterioro regional en el que se inserta el proyecto. Ninguna es atribuible a él; todas son el contexto que su evaluación de impacto debe considerar.

III.9 Reporte general de incidencias del Proyecto y su Área de Influencia

Este apartado reporta las incidencias espaciales del proyecto: sobre qué áreas de importancia ecológica cae, y sobre qué unidades hidrológicas incide. Es la base territorial del análisis de impactos.

III.9.1 Incidencia sobre áreas de importancia ecológica

Tabla 110. Incidencia del Área del Proyecto sobre las áreas de importancia ecológica.

Área de importancia	¿Incide?	Sup. de incidencia (ha)	Distancia al más cercano (km)	Dirección	Nombre
Región Hidrológica Prioritaria (RHP)	Sí	3.4097	0.0	—	Ríos Purificación-Armería
Sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad (terrestre)	Sí	3.4097	0.0	—	6593 (prioridad media)
Sitio prioritario para la restauración	Sí	3.4097	0.0	—	SPR (prioridad media)
ANP federal	No	—	14.70	Noreste	Canoas
ANP estatal, municipal o privada	No	—	60.24	Este	La Campana
AICA (Área de Importancia para la Conservación de las Aves)	No	—	5.19	Sureste	Laguna Cuyutlán y Estero Palo Verde
Región Terrestre Prioritaria (RTP)	No	—	24.65	Noreste	Manantlán-Volcán de Colima
Región Marina Prioritaria (RMP)	No	—	1.52	Sureste	40
Sitio de atención prioritaria para la conservación	No	—	2.18	Sureste	SAP
Sitio de atención para restauración del paisaje forestal	No	—	0.44	Este	prioridad baja
Sitio Ramsar	No	—	9.14	Sureste	Laguna de Cuyutlán, vasos III y IV
Corredor bioclimático	No	—	—	—	Fuera de clase

Fuente: reporte de áreas de importancia para la conservación (CONABIO), cruce espacial del polígono del proyecto contra las capas oficiales de la CONABIO, la SEMARNAT y la CONAGUA. Las superficies de incidencia son la totalidad del Área del Proyecto (3.4097 ha), porque el predio queda íntegramente contenido en las tres áreas que registran incidencia. Coordenadas y distancias en UTM WGS84, zona 13 Norte (EPSG:32613).

El proyecto **no incide sobre ningún área natural protegida ni sobre ningún sitio Ramsar**: el ANP más cercana está a 14.70 km y el humedal Ramsar de la Laguna de Cuyutlán, a 9.14 km. Tampoco cae dentro de un AICA ni de una Región Terrestre Prioritaria. Las tres áreas de importancia en que sí incide —la Región Hidrológica Prioritaria Ríos Purificación-Armería, un sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad de prioridad media, y un sitio prioritario para la restauración de prioridad media— son figuras de **planeación y priorización, no de protección jurídica**: no imponen prohibición de cambio de uso de suelo, sino que señalan al territorio como candidato a conservación o restauración. Su incidencia es relevante para la vinculación del Capítulo II, no para una restricción absoluta.

La lectura conjunta de la tabla es favorable a la viabilidad territorial del proyecto: **el predio evita todas las figuras de protección estricta y solo toca instrumentos de priorización de política pública**. El hecho de que caiga sobre un sitio prioritario para la restauración es, además, coherente con su diagnóstico —selva

secundaria degradada en riesgo de deforestación— y refuerza el sentido de las medidas de compensación que el Capítulo IV desarrollará.

III.9.2 Incidencia hidrológica

La incidencia hidrológica del proyecto se describió en el componente abiótico (III.2.1) y se resume aquí por su relevancia para el análisis de impactos. El Área del Proyecto se inscribe en la **microcuenca Jalipa** (clave 15-058-13-008), que cierra sobre la subcuenca Laguna de Cuyutlán, y se asienta sobre el **acuífero Jalipa-Tapeixtles** (clave 0608).

El dato de mayor peso es la condición del acuífero. El Jalipa-Tapeixtles presenta una **disponibilidad media anual de agua negativa de −1,358,491 m³ anuales** —déficit—, confirmada en el Acuerdo de disponibilidad publicado en el Diario Oficial de la Federación: su recarga de 10.8 $hm^3 \cdot año^{-1}$ no cubre la suma del descuento natural comprometido (3.0 $hm^3 \cdot año^{-1}$) y el volumen concesionado (9.158491 $hm^3 \cdot año^{-1}$). El acuífero está en **zona de disponibilidad 1**, la de mayor restricción. La consecuencia para el proyecto es directa y la desarrolla el Capítulo IV: la impermeabilización del patio de maniobras reduce la superficie de recarga de un acuífero que ya no se recarga lo suficiente, y esa reducción es uno de los impactos que las medidas del proyecto —las obras de conservación y la infiltración inducida— deben compensar.

El predio no incide sobre ningún cuerpo de agua superficial permanente: el cauce más próximo es una corriente intermitente, y la red hidrográfica de la microcuenca, descrita en III.2.1 con su jerarquía de Strahler de orden 4, drena hacia la laguna sin atravesar el Área del Proyecto. La incidencia hidrológica del proyecto es, por tanto, **sobre la recarga del subsuelo, no sobre el escurrimiento superficial**.

III.9.3 Cierre del capítulo

El Capítulo III ha caracterizado la Región Ecológica en sus tres escalas anidadas y ha situado en ellas al Área del Proyecto. El diagnóstico es unívoco: **un fragmento de selva baja caducifolia secundaria, empobrecido y de dosel abierto, en el piso de una cuenca cuya vegetación es secundaria casi por completo, y sometido a las mismas presiones —degradación del suelo, riesgo de deforestación, invasión biológica— que afectan a toda la microcuenca**. El proyecto no incide sobre áreas naturales protegidas ni sobre vegetación primaria, y su fauna está enteramente representada a escala regional. Estos son los hechos que el Capítulo IV toma como línea base para identificar, describir y evaluar los impactos ambientales del proyecto y sus medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración.

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

MODALIDAD PARTICULAR

CAPÍTULO IV.

IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN, COMPENSACIÓN Y RESTAURACIÓN

Patio de Contenedores y Maniobra Express Port

Contenido

Contenido 2
Índice de tablas 3
Índice de figuras 3
IV.1 Metodología para la identificación, análisis y evaluación de los impactos ambientales 6
IV.1.1 Selección y justificación de la metodología 6
IV.1.2 Criterios de valoración 8
IV.1.3 Identificación de efectos directos e indirectos 10
IV.2 Impactos ambientales existentes en la Región Ecológica 11
IV.3 Identificación, descripción y evaluación de los impactos del proyecto, por etapa 15
IV.3.1 Universo de análisis 15
IV.3.2 Tabla maestra de impactos y medidas 20
IV.3.3 Lectura por etapa 41
IV.4 Clasificación e identificación de las medidas 43
IV.4.1 Descripción detallada de las medidas 44
IV.4.2 Recuperación de la calidad ambiental 56
IV.5 Parámetros de verificación de cumplimiento y eficacia 58
IV.6 Análisis de impactos significativos, acumulativos, sinérgicos y residuales 60
IV.6.1 Impactos significativos 60
IV.6.2 Impactos acumulativos 62
IV.6.3 Impactos sinérgicos 63
IV.6.4 Impactos residuales 65
IV.6.5 Resumen ejecutivo del análisis 67
IV.7 Delimitación del Área de Influencia del proyecto 68
IV.8 Medidas de compensación y/o restauración ambiental 70
IV.9 Valoración económica de las medidas 72
IV.10 Estrategias integradas de protección ambiental 73

Índice de tablas

Tabla 1. Secuencia metodológica de la evaluación. 7
Tabla 2. Atributos de valoración y sus escalas (Conesa, 1997). 8
Tabla 3. Ejemplo de cálculo de la Importancia — pérdida de recarga por el derribo de la vegetación (IMP-025). 9
Tabla 4. Clases de significancia de la Importancia. 9
Tabla 5. Efectos directos e indirectos — criterio de clasificación. 11
Tabla 6. Impactos ambientales preexistentes en la Región Ecológica. 12
Tabla 7. Línea base ambiental: indicadores de calidad por componente, a escala de la Región Ecológica y del Área de Influencia. 13
Tabla 8. Tabla maestra: identificación, valoración y medidas de los impactos del proyecto, por etapa. 21
Tabla 9. Interacciones adversas por etapa y componente ambiental. 41
Tabla 10. Catálogo de medidas por código. 43
Tabla 11. Especies de flora con rescate individual prioritario. 46
Tabla 12. Diseño y capacidad de las obras de conservación de suelo y agua (M3). 49
Tabla 13. Composición de la reforestación por especie. 51
Tabla 14. Programa de manejo ambiental de la obra — medidas de prevención. 55
Tabla 15. Recuperación de la calidad ambiental por las medidas (recursos del artículo 93). 56
Tabla 16. Parámetros de verificación de cumplimiento y eficacia por medida. 59
Tabla 17. Impactos significativos, su Importancia y su medida asociada. 60
Tabla 18. Distribución de la significancia antes y después de las medidas. 66
Tabla 19. Extensión de los impactos por factor ambiental y escala alcanzada. 69
Tabla 20. Medidas de compensación y restauración. 70
Tabla 21. Valoración económica del paquete de medidas (estimación 2026). 72
Tabla 22. Estrategias integradas por componente ambiental. 73

Índice de figuras

Figura 1. Flujo metodológico de la evaluación de impactos. La secuencia de métodos encadenados que articula el capítulo, desde la identificación exhaustiva hasta la caracterización de cada impacto y el diseño de sus medidas. 7
Figura 2. Atributos de la valoración de Conesa y su escala numérica. En rojo, los valores que dominan en el desmonte del proyecto: intensidad muy alta o total, extensión parcial de los servicios (agua, carbono), sinergia y acumulación de la cascada del desmonte, y reversibilidad irreversible cuando el impacto recae sobre una especie protegida. 10
Figura 3. Del territorio de la cuenca al entorno del proyecto (Región Ecológica → Área de Influencia). La composición del territorio a las dos escalas: en la cuenca (5,992.43 ha) domina la vegetación natural (60.7 %); en el entorno inmediato del proyecto (216.62 ha) domina lo urbano (67.1 %) y la vegetación natural se reduce al 8.75 %. 12
Figura 4. Calidad del aire de la Región Ecológica (percepción remota satelital). Media anual sobre la RE de PM2.5 (superficie, NASA SEDAC/ACAG, 2022), NO_2 y SO_2 (columna troposférica, Sentinel-5P/TROPOMI, 2024); el punto rojo marca el proyecto. 15
Figura 5. Matriz de identificación de interacciones (acción × factor). Barrido exhaustivo de las acciones del proyecto contra los factores ambientales; cada celda marcada es una interacción que pasa a valoración. . 17
Figura 6. Red de identificación de interacciones (acción → factor). Las mismas interacciones representadas como red, que hace visible la concentración de efectos sobre los factores ligados al estándar del artículo 93. 18

Figura 7. Cribado de impactos (primer juicio): naturaleza × significancia. Cada celda acción-factor se clasifica en una de cuatro categorías —adverso significativo (AS), adverso poco significativo (as), benéfico significativo (BS) o benéfico poco significativo (bs)—; en rojo intenso, las interacciones adversas significativas, concentradas en el desmonte de la preparación sobre los factores biológicos 19
Figura 8. Interacciones adversas por etapa y significancia. Las 98 interacciones distribuidas por las tres etapas del ciclo, apiladas según su clase de significancia (Compatible, Moderado, Severo). 41
Figura 9. Interacciones adversas por componente ambiental y etapa. Los componentes ordenados por el total de interacciones que reciben, con el aporte de cada etapa —preparación, construcción y operación— diferenciado por color. 42
Figura 10. Selección del rescate de flora. De las 36 especies inventariadas en el AP, diez reciben rescate individual (siete por estatus de protección/endemismo, tres por valor ecológico) y las demás se recuperan por el banco de germoplasma del suelo vegetal. 45
Figura 11. Riqueza de flora por escala: el proyecto no extirpa ninguna especie a escala regional. Riqueza de especies de flora arbórea en la Región Ecológica (línea base, §IV.2), el Área de Influencia y el Área del Proyecto. Las 16 especies del polígono están contenidas en las 60 de la Región Ecológica (anidamiento); el proyecto no extirpa ninguna especie a escala regional y la asamblea local se restituye en el predio de compensación (C1). 47
Figura 12. Protocolo de manejo de fauna por grupo, según su movilidad. La fauna de rápido desplazamiento (aves y un mamífero) se ahuyenta de forma dirigida (N1); la de lento desplazamiento (mamíferos y reptiles) se rescata físicamente y se reubica (N2). 48
Figura 13. Riqueza de fauna por escala: el proyecto no extirpa ninguna especie a escala regional. Riqueza de vertebrados en la Región Ecológica (línea base, §IV.2), el Área de Influencia y el Área del Proyecto. Las especies de aves, mamíferos y reptiles del polígono están contenidas en las de la Región Ecológica (anidamiento) y la fauna es móvil, por lo que el proyecto no extirpa ninguna especie a escala regional. 48
Figura 14. Balance del suelo y el agua por las obras de conservación (M3). Izquierda: la erosión hídrica que añade el proyecto (+38.96 t·año⁻¹) frente al suelo que retienen las obras (119.39 t·año⁻¹). Derecha: el azolve entregado al cauce, de 0.209 t·año⁻¹ en la línea base (Esc1) a 0.00 con las obras (Esc3). 50
Figura 15. Balance del carbono y la recarga por la reforestación del predio de compensación (C1). Izquierda: el stock de carbono, de 294 tC en la línea base a 60 con el impacto y a 602 con la compensación (supera la línea base). Derecha: la recarga acumulada en 8 años, con una recuperación de 88.0 mil m³ frente a la pérdida de 73.2 (margen +14.8). 52
Figura 16. Trayectoria de la calidad ambiental en el tiempo: sin proyecto, con impacto y con medidas. El eje vertical expresa la calidad ambiental relativa a la línea base del §IV.2; el horizontal, el horizonte del programa (8 años). La banda gris marca la preparación y la construcción. 57
Figura 17. Ciclo de vigilancia y mejora adaptativa de las medidas. El Programa de Vigilancia Ambiental mide cada indicador, lo compara con su línea base, su meta y su umbral de alerta y —de no alcanzarse el umbral— dispara la medida correctiva, repitiendo el ciclo durante el horizonte del programa. 58
Figura 18. Importancia de los impactos por factor ambiental. Los impactos significativos se concentran en los factores ligados al artículo 93 —agua, suelo, carbono, recursos forestales, flora y fauna—; en el aire, el ruido, el relieve y el paisaje no se alcanza el umbral de significancia. 61
Figura 19. Balance de superficie con cubierta vegetal en la microcuenca por el proyecto. La remoción del CUSTF (−3.4097 ha) se restablece con la compensación ex situ (+3.55 ha) y la revegetación in situ (+0.79 ha), con un balance neto de +0.93 ha: el sistema {Área del Proyecto + predio de compensación} no deja pérdida neta, sino aporte positivo de cubierta. 62
Figura 20. Red de Sorensen: cascada causa-efecto del cambio de uso de suelo. La remoción de la cubierta vegetal (efecto primario) desencadena los efectos derivados sobre el suelo, el agua y el carbono. 64
Figura 21. Una sola medida en la raíz recupera toda la cadena de servicios. Al restablecer la cubierta forestal —mediante la reforestación (C1, ex situ) y la revegetación y la cortina rompevientos (in situ), reforzadas por las obras de conservación (M3) para la retención del suelo— se recuperan simultáneamente los servicios

encadenados: la erosión eólica evitada al 124.5 %, la recarga compensada al 120 %, el stock de carbono al 231 % (por encima de la línea base) y el hábitat de flora y fauna sin pérdida de especies. 65
Figura 22. El impacto residual, por recurso sustantivo, frente a la línea base sin proyecto. En el carbono y el agua —recursos donde "más es mejor"— el residual con medidas supera la línea base (601.9 > 294.2 tC; 88,042 > 73,200 m³); en el suelo —donde "menos es mejor"— la erosión eólica residual queda por debajo de ella (≈ 0 < 12.10 t·año⁻¹). En los tres, el residual alcanza o rebasa el estado que el territorio tendría sin el proyecto. 66
Figura 23. Suficiencia por recurso — artículo 93 LGDFS. En cada recurso sustantivo, el estado con todas las medidas (Esc 3 = mitigación in situ + compensación ex situ) supera la línea base —agua y carbono— o cumple el balance exigido —suelo—. 67
Figura 24. Delimitación del Área de Influencia: composición del radio y unión de los dos componentes. El radio del buffer resulta del criterio del máximo entre la base geométrica (267 m) y el alcance del proceso físico dominante —el ruido (600 m)—, multiplicado por el factor de sensibilidad del entorno (1.15); la franja de depósito de azolve queda contenida dentro del buffer, de modo que el Área de Influencia es de 216.62 ha. 68
Figura 25. Composición por especie de la reforestación. Las 5,568 plantas se reparten en 10 especies nativas de selva baja caducifolia —las mismas afectadas por el cambio de uso de suelo—, con predominio del cóbano (*Swietenia humilis*) y el cedro rojo (*Cedrela odorata*), y presencia de especies protegidas y endémicas. 71
Figura 26. Distribución del costo estimado de las medidas. El costo se ordena por medida y por tipo — mitigación, compensación, prevención y seguimiento—; el seguimiento (PVA) y la reforestación (C1) concentran el 58 % del paquete. 73

IV.1 Metodología para la identificación, análisis y evaluación de los impactos ambientales

La evaluación de los impactos abarca **el ciclo completo del proyecto** —preparación del sitio, construcción, operación y, en su caso, abandono y cierre— y no descansa en un solo instrumento, sino en una **secuencia encadenada de métodos** de complejidad creciente. Cada método filtra y precisa lo que el anterior identifica: desde la detección exhaustiva de las interacciones hasta su valoración cuantitativa y el rastreo de los efectos derivados que ningún método simple revela por sí solo. Así se asegura que ningún impacto significativo quede sin detectar, valorar ni atender.

IV.1.1 Selección y justificación de la metodología

La evaluación de impacto ambiental no se resuelve con un solo instrumento, sino como un **proceso de métodos sucesivos y complementarios** que avanzan de lo cualitativo y exhaustivo hacia lo cuantitativo y, más allá, hacia el rastreo de los efectos que ningún método aislado revela. Cada peldaño depura y precisa el resultado del anterior, de modo que la conclusión final no descanse en un juicio único, sino en una cadena de filtros trazables que la autoridad evaluadora puede recorrer paso a paso. El estudio aplica seis métodos en este orden:

1. **Lista de chequeo (*check list*).** Es el primer barrido del análisis: una relación exhaustiva de las acciones que el proyecto ejecuta en cada etapa y de los factores ambientales que cada una podría afectar. Su función no es todavía valorar, sino **asegurar que ningún impacto potencial quede fuera del análisis** desde el arranque; opera como la red de seguridad contra la omisión.
2. **Matriz y red de interacción** (Leopold *et al.*, 1971). Sobre esa lista se construye una **matriz de doble entrada** que cruza cada acción contra cada factor y marca dónde existe una interacción plausible; la misma información, dibujada como **red**, deja ver qué acciones concentran más efectos y qué factores reciben más presión. Este paso establece **qué** actividad incide sobre **qué** factor, sin pronunciarse aún sobre la gravedad (§IV.3, Figuras 4 y 5).
3. **Cribado de significancia (primer juicio).** Cada interacción identificada se clasifica, con reglas trazables, por su **naturaleza** —adversa o benéfica— y por una primera **significancia** —relevante o accesoria—. Este filtro cualitativo separa el grano de la paja **antes** de la valoración cuantitativa: concentra el esfuerzo en las interacciones que de verdad pesan y, en paralelo, reconoce los efectos benéficos que el proyecto también genera (§IV.3, Figura 7).
4. **Valoración cuantitativa de Conesa Fernández-Vítora (1997).** A cada interacción relevante se le asigna una **Importancia (*I*)**, un número que sintetiza diez atributos objetivos del impacto. Es el paso que convierte el juicio en una cifra **reproducible y auditable**, jerarquiza los impactos y fija, con un umbral explícito, cuáles son significativos (§IV.1.2).
5. **Cadenas causa-efecto de Sorensen (1971) y redes de impacto.** La valoración celda por celda no ve los efectos que un impacto **desencadena sobre otros**. Las cadenas de Sorensen trazan esos **impactos secundarios y terciarios** —los efectos derivados y ocultos—, como la forma en que la remoción de la cubierta vegetal arrastra consigo la pérdida de suelo, de recarga hídrica y de carbono. Es el paso que descubre lo que un *check list* o una matriz, por sí solos, dejarían pasar (§IV.6.3, Figura 20).
6. **Caracterización impacto por impacto.** Por último, cada impacto significativo se describe de forma individual: su mecanismo, sus atributos, su comportamiento en el tiempo y la medida que lo atiende. Es el nivel de detalle con el que el capítulo cierra su argumento, impacto a impacto (§IV.6.1).

Ningún método sustituye a los demás: la lista de chequeo aporta exhaustividad; la matriz, la estructura; el cribado, el foco; Conesa, la jerarquía cuantitativa; las redes de Sorensen, la profundidad causal que descubre impactos ocultos; y la caracterización, la lectura fina de cada impacto. Su encadenamiento —y no un método aislado— es lo que permite que la autoridad evaluadora recorra el mismo camino que el estudio y arribe a las mismas conclusiones. Sobre la valoración cuantitativa se aplica, además, un **ajuste por la sensibilidad del medio receptor** (calidad y fragilidad; Gómez Orea, 2002/2010), que pondera los factores más frágiles del entorno (§IV.1.2).

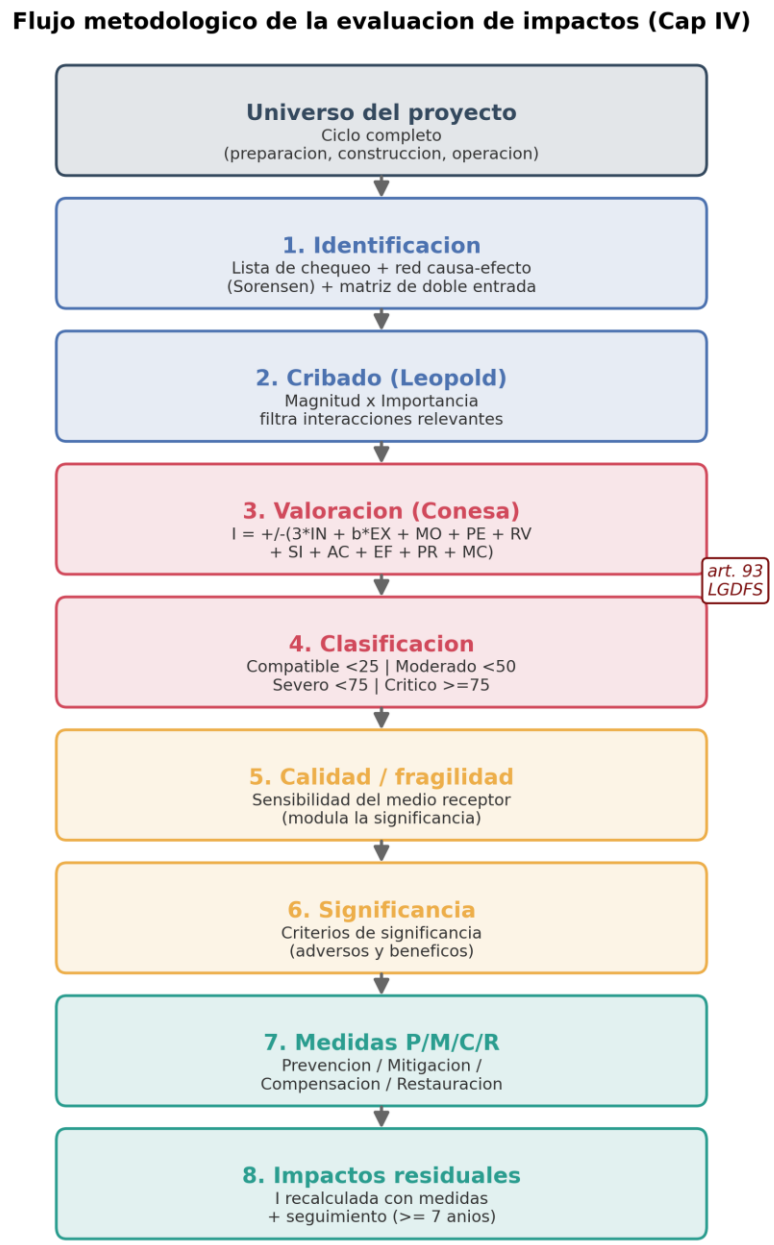


Figura 1. Flujo metodológico de la evaluación de impactos. La secuencia de métodos encadenados que articula el capítulo, desde la identificación exhaustiva hasta la caracterización de cada impacto y el diseño de sus medidas.

Fuente: elaboración propia con base en la metodología de Conesa Fernández-Vítora (1997).

El flujo evidencia que la evaluación no se detiene en la valoración de Conesa: los métodos previos garantizan que ésta parta de un universo completo y depurado, y los posteriores —las redes de Sorensen— descubren los efectos derivados que la valoración celda por celda no ve, de modo que las medidas se diseñan sobre la cadena causal completa.

Tabla 1. Secuencia metodológica de la evaluación.

Paso	Método	Resultado
1. Identificación exhaustiva	Lista de chequeo	Universo de impactos potenciales del proyecto

Paso	Método	Resultado
2. Estructura de interacción	Matriz y red de acciones × factores (Leopold)	Interacciones acción-factor plausibles
3. Cribado	Clasificación por naturaleza y significancia	Impactos adversos y benéficos relevantes
4. Valoración cuantitativa	Índice de Importancia de Conesa (1997)	Importancia *I* y clase de significancia por impacto
5. Efectos derivados	Cadenas causa-efecto y redes de Sorensen	Impactos secundarios, terciarios y ocultos
6. Caracterización	Descripción impacto por impacto	Lectura individual de cada impacto significativo

Fuente: elaboración propia con base en Conesa Fernández-Vítora (1997) y la Guía para la elaboración de la MIA-Particular (SEMARNAT).

Las etapas del ciclo del proyecto sobre las que se aplica esta secuencia son la **preparación del sitio, la construcción y la operación**; el proyecto —infraestructura portuaria de vida útil estimada en ~50 años— **no contempla una etapa de abandono y cierre** (Capítulo I), por lo que ésta no se evalúa. La metodología la incorporaría en caso de que el proyecto la declarara.

IV.1.2 Criterios de valoración

La valoración no descansa en una apreciación subjetiva del evaluador, sino en un procedimiento que **descompone cada impacto en diez características objetivas y medibles** y las integra en un solo número, la **Importancia (*I*)**. Cada característica se califica dentro de una escala cerrada, definida por el método y no por quien lo aplica; por eso dos evaluadores que partan de la misma información obtienen el mismo valor. En esto radica la fuerza del método ante la autoridad: el dictaminador puede **rehacer cada cálculo, atributo por atributo, y llegar exactamente al mismo resultado** que el estudio.

La Importancia se obtiene sumando esas diez características, cada una con el peso que el método le asigna:

I = signo × (3 · Intensidad + 2 · Extensión + Momento + Persistencia + Reversibilidad + Sinergia + Acumulación + Efecto + Periodicidad + Recuperabilidad)

El **signo** que antecede al paréntesis expresa la **naturaleza** del impacto: es **negativo** cuando el impacto es adverso y **positivo** cuando es benéfico. La **intensidad** —cuánto se afecta el factor— se multiplica por **tres**, y la **extensión** —qué superficie abarca el efecto— por **dos**, porque son los dos rasgos que más determinan la gravedad de un impacto; los ocho atributos restantes se suman con peso unitario. Con las escalas del método, el índice parte de un mínimo de **13** —un impacto con todos sus atributos en el grado más bajo— y crece conforme el impacto es más intenso, extenso, permanente e irreversible. La Tabla 2 define cada uno de los diez atributos y la escala en que se califica; es la referencia con la que cualquier celda de la valoración puede auditarse.

Tabla 2. Atributos de valoración y sus escalas (Conesa, 1997).

Atributo	Descripción	Escala de valores
IN — Intensidad	Grado de afectación del factor	Baja 1 · Media 2 · Alta 4 · Muy alta 8 · Total 12
EX — Extensión	Superficie afectada respecto al entorno	Puntual 1 · Parcial 2 · Extensa 4 · Total 8
MO — Momento	Plazo de aparición del efecto	Largo plazo 1 · Medio plazo 2 · Inmediato 4
PE — Persistencia	Permanencia del efecto en el tiempo	Fugaz 1 · Temporal 2 · Permanente 4
RV — Reversibilidad	Recuperación natural, sin medidas	Corto plazo 1 · Medio plazo 2 · Irreversible 4
SI — Sinergia	Reforzamiento con otros efectos	Sin sinergismo 1 · Sinérgico 2 · Muy sinérgico 4
AC — Acumulación	Incremento progresivo del efecto	Simple 1 · Acumulativo 4
EF — Efecto	Relación causa-efecto	Indirecto 1 · Directo 4
PR — Periodicidad	Regularidad de la manifestación	Irregular 1 · Periódico 2 · Continuo 4

Atributo	Descripción	Escala de valores
MC — Recuperabilidad	Recuperación por intervención humana	Recuperable de inmediato 1 · a medio plazo 2 · Mitigable 4 · Irrecuperable 8

Fuente: Conesa Fernández-Vítora (1997).

Para mostrar el procedimiento en concreto —y hacerlo verificable— se desglosa el **impacto de mayor Importancia del proyecto**: la pérdida de recarga del acuífero que provoca el derribo de la vegetación (impacto IMP-025). Al remover la cubierta vegetal, el agua de lluvia que antes se infiltraba pasa a escurrir, y la microcuenca pierde capacidad de recarga. La Tabla 3 califica sus diez atributos y explica, uno a uno, de dónde sale cada valor.

Tabla 3. Ejemplo de cálculo de la Importancia — pérdida de recarga por el derribo de la vegetación (IMP-025).

Atributo	Valor asignado	Justificación del valor
Intensidad (IN)	12 · Total	La remoción total de la cubierta anula por completo la infiltración en la superficie afectada
Extensión (EX)	2 · Parcial	El efecto sobre la recarga trasciende el predio hacia la microcuenca, sin abarcarla toda
Momento (MO)	2 · Medio plazo	El déficit de recarga se refleja en el balance hídrico en el mediano plazo
Persistencia (PE)	4 · Permanente	Mientras el suelo permanezca descubierto, el efecto se mantiene
Reversibilidad (RV)	2 · Medio plazo	El sistema puede recuperar la recarga a medio plazo si se restituye la cubierta
Sinergia (SI)	2 · Sinérgico	Se refuerza con la pérdida de suelo y de carbono de la misma cascada del desmonte
Acumulación (AC)	1 · Simple	No se incrementa progresivamente por sí solo
Efecto (EF)	1 · Indirecto	La pérdida de recarga es consecuencia derivada de la remoción, no el acto mismo
Periodicidad (PR)	4 · Continuo	El déficit de recarga es continuo mientras dura la condición
Recuperabilidad (MC)	2 · Recuperable a medio plazo	Es recuperable con las obras de conservación de suelo y agua y la reforestación del predio de compensación

Fuente: memoria de cálculo de la evaluación de impactos (Anexo, archivo Excel — hoja de valoración de Conesa), impacto IMP-025.

Sustituyendo estos valores en la fórmula, con signo negativo por tratarse de un impacto adverso:

$$I = -(3\times12 + 2\times2 + 2 + 4 + 2 + 2 + 1 + 1 + 4 + 2) = -(36 + 4 + 2 + 4 + 2 + 2 + 1 + 1 + 4 + 2) = -58$$

El resultado, **I = −58**, corresponde a la clase **Severo** y es, por tanto, un **impacto significativo** que exige una medida. Cualquier evaluador que parta de estos mismos diez atributos obtiene el mismo −58: ésa es la garantía de objetividad y trazabilidad del método, y la que permite sostener la valoración ante la autoridad. Este mismo procedimiento se aplica a las 98 interacciones adversas del proyecto, cuya síntesis se presenta en la tabla maestra (§IV.3).

El índice resultante se clasifica en cuatro grados de significancia. El **criterio de significancia** que gobierna este capítulo es que un impacto es **significativo** cuando su Importancia iguala o supera **|I| ≥ 50** (clases Severo o Crítico); por debajo de ese umbral el impacto es Moderado o Compatible.

Tabla 4. Clases de significancia de la Importancia.

Clase	Rango de la Importancia (valor absoluto)	Lectura
Compatible	< 25	Irrelevante; recuperación inmediata tras el cese de la acción
Moderado	25 – 49	Recuperable con el tiempo o con medidas ordinarias
Severo	**50 – 74**	**Significativo; exige medidas y su recuperación es prolongada**

Clase	Rango de la Importancia (valor absoluto)	Lectura
Crítico	**≥ 75**	**Significativo; magnitud superior al umbral admisible**

Fuente: método de Conesa Fernández-Vítora (1997).

Sobre esta valoración se aplica el **ajuste por sensibilidad del medio receptor**. La caracterización de la Región Ecológica (Capítulo III) identifica los factores de mayor fragilidad del entorno del proyecto —**el agua, la fauna y el suelo**—, cuya afectación se pondera con un factor de **1.5** en la valoración de la unidad de importancia ponderada, de modo que un mismo impacto pesa más cuando recae sobre un factor frágil que sobre uno robusto. El Área de Influencia del proyecto se delimita por el alcance del vector difuso dominante —el **ruido**, con un alcance de 600 m y un radio de influencia de 690 m—, que fija la extensión de los impactos que trascienden el polígono de obra (§IV.7).

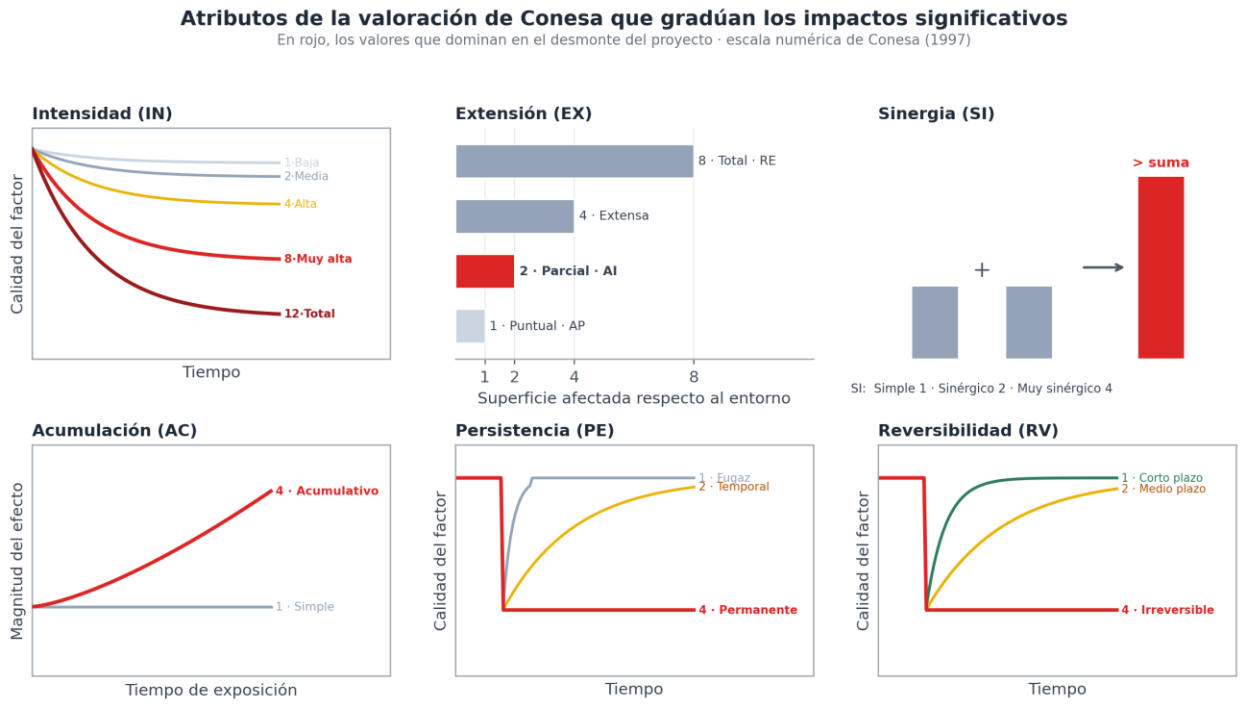


Figura 2. Atributos de la valoración de Conesa y su escala numérica. En rojo, los valores que dominan en el desmonte del proyecto: intensidad muy alta o total, extensión parcial de los servicios (agua, carbono), sinergia y acumulación de la cascada del desmonte, y reversibilidad irreversible cuando el impacto recae sobre una especie protegida.

Fuente: elaboración propia sobre el método de Conesa Fernández-Vítora (1997).

La lectura de estos atributos es la que ordena la significancia: un mismo grado de intensidad pesa distinto según la extensión que alcanza el efecto, su sinergia con otros factores y la reversibilidad del daño. Por eso los impactos del desmonte sobre el agua, el suelo y el carbono resultan los de mayor importancia, y la presencia de especies protegidas eleva la del impacto sobre la flora y la fauna (§IV.6).

IV.1.3 Identificación de efectos directos e indirectos

Conforme a la Guía, un impacto es **directo** cuando ocurre en el mismo sitio y tiempo de la acción que lo genera, y **indirecto** cuando se manifiesta después en el tiempo o alejado en el espacio, como consecuencia derivada del impacto primario. La distinción es material: la pérdida de la cubierta vegetal por el desmonte es un impacto directo sobre la flora y el arbolado; la pérdida de recarga del acuífero que esa misma remoción provoca es un impacto indirecto, pues se manifiesta en el balance hídrico de la microcuenca y no en el punto de la obra. En la valoración, el carácter directo o indirecto es un atributo declarado (EF); en el texto de la tabla maestra (§IV.3) se justifica para cada impacto.

Tabla 5. Efectos directos e indirectos — criterio de clasificación.

Tipo de efecto	Definición	Ejemplo en el proyecto
Directo	Mismo sitio y tiempo de la acción	Remoción del arbolado y de la cubierta vegetal del Área del Proyecto
Indirecto	Posterior en el tiempo o alejado en el espacio	Pérdida de recarga hídrica de la microcuenca; aporte de sedimento al cauce

Fuente: Guía para la elaboración de la MIA-Particular (SEMARNAT).

IV.2 Impactos ambientales existentes en la Región Ecológica

La importancia de un impacto no es absoluta, sino **relativa al estado en que el territorio ya se encuentra**: un mismo efecto pesa distinto sobre un ecosistema conservado que sobre uno ya presionado. Por eso, antes de valorar lo que el proyecto añade, se establece la **línea base ambiental** —la condición del medio receptor previa al proyecto—, que es la referencia contra la que se mide toda la afectación y, en los recursos del artículo 93, el punto de partida (Escenario 1) de los balances de §IV.6. Esa línea base se construye con el diagnóstico del Capítulo III y se recorre del territorio de la **Región Ecológica** —la unidad de cuenca— hacia el **Área de Influencia**, que es donde el proyecto interactúa de forma más intensa.

La **Región Ecológica** coincide con la unidad hidrográfica del proyecto: la **microcuenca Jalipa** (clave 15-058-13-008), de **5,992.43 ha**. A la escala de la cuenca, la cubierta natural **todavía es mayoritaria**: las selvas y el manglar ocupan el **60.71 %** del territorio —Selva Baja Caducifolia 43.81 %, selva mediana (subcaducifolia y subperennifolia) 13.06 % y manglar 3.65 %—, frente a un **26.21 %** urbano o construido y un **8.23 %** agropecuario. La cuenca conserva, pues, un patrimonio natural relevante, que incluye el **manglar** (218.6 ha), ecosistema sujeto a protección especial.

Ese patrimonio, sin embargo, está **bajo presión activa**, y así lo documenta el Capítulo III. El **suelo** de la cuenca presenta degradación en el **64.87 %** de su superficie (clasificación ASSOD), con una **tasa en incremento**; predomina la degradación ligera (56.51 %), pero existe degradación extrema (5.65 %). La erosión hídrica franca es aún leve —solo el 6.87 % de la cuenca muestra erosión laminar—, lo que indica que la pérdida de suelo avanza todavía por procesos incipientes que las medidas pueden contener. En cuanto al **bosque**, el índice de riesgo de deforestación de la CONAFOR sitúa al **43.04 %** de la RE en riesgo **alto (21.39 %) o muy alto (21.65 %)**, y a más del **90 %** en riesgo medio o superior: la cuenca conserva su cubierta, pero la tendencia regional la empuja a perderla.

El **Área de Influencia** del proyecto —**216.62 ha** en un radio de **690 m**— muestra un estado mucho más avanzado de esa misma transformación. Aquí la **Zona Urbana ocupa el 67.06 %** (145.27 ha) y el **Pastizal Inducido el 24.19 %** (52.4 ha), de modo que la **Selva Baja Caducifolia se reduce al 8.75 %** (18.95 ha) del entorno inmediato. El contraste con la cuenca es el dato decisivo para la evaluación: la vegetación natural cae del **60.71 % en la Región Ecológica al 8.75 % en el Área de Influencia**, y lo urbano sube del 26.21 % al 67.06 %. **El proyecto no se inserta en el núcleo conservado de la cuenca, sino en su frente urbano-industrial ya transformado.**

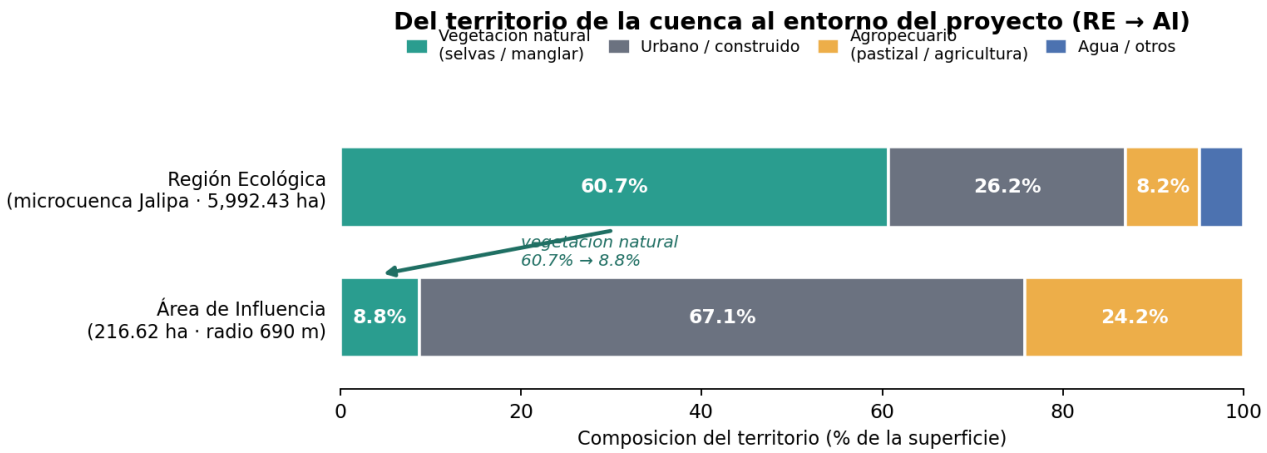


Figura 3. Del territorio de la cuenca al entorno del proyecto (Región Ecológica → Área de Influencia). La composición del territorio a las dos escalas: en la cuenca (5,992.43 ha) domina la vegetación natural (60.7 %); en el entorno inmediato del proyecto (216.62 ha) domina lo urbano (67.1 %) y la vegetación natural se reduce al 8.75 %.

Fuente: INEGI, Uso de suelo y vegetación 1:75,000 (Región Ecológica, 34 clases agregadas); levantamiento de vegetación propio del proyecto (Área de Influencia). Caracterización del entorno, Capítulo III (Anexo).

La figura hace visible el **gradiente de transformación**: lo que a escala de cuenca es todavía un mosaico mayoritariamente natural, a escala del entorno inmediato del proyecto es ya un paisaje urbano. Esta lectura tiene dos consecuencias para la evaluación. Primera, la presión sobre los servicios ambientales de la microcuenca —captación de agua, retención de suelo, hábitat— **ya existe y es de origen antrópico anterior al proyecto**. Segunda, el remanente de Selva Baja Caducifolia que el proyecto afecta es **escaso y está aislado** en su entorno, lo que da sentido a que la compensación —la reforestación del predio de compensación— contribuya a revertir, en la superficie que compensa, una tendencia regional que la precede.

Este contexto es la razón por la que el capítulo evalúa el impacto del proyecto **no de forma aislada, sino sumado** a las presiones que la cuenca ya soporta (el análisis acumulativo se desarrolla en §IV.6.2). La Tabla 6 sintetiza las obras y actividades que actualmente se desarrollan en la Región Ecológica, el tipo de presión que ejercen —la misma que el proyecto también ejerce— y su caracterización.

Tabla 6. Impactos ambientales preexistentes en la Región Ecológica.

Obra o actividad actual en la RE	Componente ambiental impactado	Impacto ambiental	Caracterización (tipo · duración · extensión · intensidad · efectos)
Expansión urbana e infraestructura (área construida: 26.21 % de la RE, 67.06 % del AI)	Vegetación · Suelo · Fauna	Sustitución de la cubierta vegetal por superficie construida y pérdida de hábitat	Adverso · permanente · extensa (dominante en el entorno inmediato) · alta · directo
Ganadería y agricultura (agropecuario: 8.23 % de la RE, pastizal 24.19 % del AI)	Vegetación · Suelo	Sustitución de la selva por pastizal y degradación del suelo por pisoteo y quema	Adverso · permanente · extensa · media-alta · directo
Degradación del suelo (64.87 % de la RE, con tasa en incremento)	Suelo · Agua	Pérdida de la capacidad productiva y de retención del suelo de la cuenca	Adverso · permanente · regional · media · acumulativo
Presión de deforestación (43.04 % de la RE en riesgo alto o muy alto — CONAFOR)	Vegetación · Carbono · Agua	Pérdida progresiva de cubierta forestal y de los servicios ambientales asociados	Adverso · permanente · regional · alta · acumulativo

Fuente: INEGI (uso de suelo y vegetación); SEMARNAT (degradación de suelo, metodología ASSOD); CONAFOR (índice de riesgo de deforestación); caracterización del entorno, Capítulo III (Anexo). La síntesis de los agentes de perturbación se integra al cerrar el Capítulo III.`

Finalmente, los indicadores de calidad ambiental que resultan de este diagnóstico —y que constituyen la **línea base** del proyecto a escala de la Región Ecológica y del Área de Influencia— se concentran en la Tabla

7. Son la **referencia cuantitativa** contra la que se mide la afectación del proyecto en el resto del capítulo; los del Área de Influencia provienen del levantamiento y la cartografía propios del proyecto.

Tabla 7. Línea base ambiental: indicadores de calidad por componente, a escala de la Región Ecológica y del Área de Influencia.

Medio	Componente	Indicador de línea base	Región Ecológica (5,992.43 ha)	Área de Influencia (216.62 ha)
Físico	Clima	Tipo (Köppen-García)	Awo — cálido subhúmedo (100 %)	Awo — cálido subhúmedo (100 %)
Físico	Aire	Calidad del aire (satélite, media anual)	PM2.5 **11.9 µg/m³** (excede NOM-025 y 2.4× OMS); NO_2 35.3 · SO_2 113.8 µmol/m² [6]	PM2.5 12.5 µg/m³; NO_2 **40.5** · SO_2 99.5 µmol/m² [6]
Físico	Suelo — tipo	Unidad edafológica dominante	Regosol (61.67 %)	Phaeozem (96.18 %)
Físico	Suelo — degradación	Superficie degradada (ASSOD)	64.87 % (tasa en incremento)	84.96 % (tasa en incremento)
Físico	Suelo — erosión	Erosión hídrica laminar	6.87 %	sin erosión mapeada
Físico	Agua — subterránea	Acuífero (CONAGUA)	Jalipa-Tapeixtles (81 %) — en déficit [5]	Jalipa-Tapeixtles (100 %) — en déficit [5]
Físico	Agua — superficial	Cuerpos de agua / corrientes	cuerpo perenne 272.6 ha (4.55 %); corrientes intermitentes	sin cuerpos de agua; corrientes intermitentes (orden 1–2)
Físico	Agua — inundación	Vulnerabilidad (CENAPRED)	Media (100 %)	Media (100 %)
Físico	Ruido	Nivel de ruido ambiental	Contexto portuario-logístico [7]	Elevado — zona industrial-logística (estimación indirecta) [7]
Biótico	Vegetación	Cobertura vegetal natural	60.71 % (selvas y manglar) [1]	8.75 % (Selva Baja Caducifolia) [2]
Biótico	Flora	Riqueza arbórea (S) — selva baja caducifolia	60 sp. — cedro rojo (*Cedrela odorata*), granadillo (*Platymiscium lasiocarpum*), culebro (*Astronium graveolens*), capire (*Sideroxylon capiri*)	14 sp. — guásima (*Guazuma ulmifolia*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*), espino blanco (*Acacia cochliacantha*), parota (*Enterolobium cyclocarpum*)
Biótico	Fauna	Riqueza de vertebrados (S) — aves, reptiles, mamíferos	90 sp. — iguana negra (*Ctenosaura pectinata*), iguana verde (*Iguana iguana*), mochuelo de Colima (*Glaucidium palmarum*), coatí (*Nasua narica*)	78 sp. — iguana negra (*Ctenosaura pectinata*), coatí (*Nasua narica*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), bienteveo (*Pitangus sulphuratus*)
Biótico	Especies en riesgo	Especies en la NOM-059-SEMARNAT-2010	15 sp. — iguana negra (*Ctenosaura pectinata*), iguana verde (*Iguana*	8 sp. — iguana negra (*Ctenosaura pectinata*), iguana verde (*Iguana*

Medio	Componente	Indicador de línea base	Región Ecológica (5,992.43 ha)	Área de Influencia (216.62 ha)
			iguana), mochuelo de Colima (*Glaucidium palmarum*), cedro rojo (*Cedrela odorata*), granadillo (*Platymiscium lasiocarpum*) [3]	*iguana*), mochuelo de Colima (*Glaucidium palmarum*), gavilán pecho canela (*Accipiter striatus*) [4]
Biótico	Bosque	Riesgo de deforestación alto/muy alto (CONAFOR)	43.04 %	indicador regional (véase RE)

Notas: [1] cartografía INEGI USV 1:75,000 (34 clases agregadas). [2] capa propia fotointerpretada. [3] registradas a escala de la Región Ecológica; son la totalidad de especies NOM-059 del estudio (incluyen 5 de flora —maderas finas—, presentes solo en la Región Ecológica). [4] registradas a escala del Área de Influencia (las 8 son de fauna; ninguna de flora); el conteo dentro del polígono a afectar se aborda en §IV.6.4. [5] acuífero clasificado en déficit por la CONAGUA; la disponibilidad vigente debe verificarse en la última publicación del DOF (Regla 13). [6] media anual (RE y AI) por percepción remota (sin estación terrestre), consultada en Google Earth Engine: PM2.5 de la rejilla NASA SEDAC/ACAG (superficie, 2022) y NO_2/SO_2 de Sentinel-5P/TROPOMI (columna, 2024) — ver Figura 4. La PM2.5 (11.9 µg/m³ en la RE, 12.5 en el AI) excede el límite anual de la NOM-025-SSA1 (10 µg/m³) y es ~2.4× la guía OMS (5 µg/m³); en el AI el NO_2 (40.5) supera la media de la RE (35.3) —el proyecto se ubica en el máximo del penacho— y el SO_2 es menor (99.5; la fuente está al sureste). Fuente dominante: la termoeléctrica de la CFE (ProAire Colima). Consulta GEE 2026-07-11. [7] estimación indirecta por la actividad económica del entorno (DENUE 2020: 14 de 19 unidades económicas del AI son transporte de carga y logística portuaria); límite regulatorio del proyecto NOM-081-SEMARNAT-1994; medición puntual pendiente.

Fuente: cartografía oficial — INEGI (clima, uso de suelo y vegetación, edafología, hidrografía), CONAGUA (acuíferos), SEMARNAT (degradación de suelo), CONAFOR (riesgo de deforestación), CENAPRED (vulnerabilidad a inundación); estudio de flora y fauna del proyecto (Anexo); calidad del aire por percepción remota satelital (véase Figura 4). Caracterización del Capítulo III. Escalas: Región Ecológica = cartografía oficial (INEGI); Área de Influencia = levantamiento propio del proyecto.

La lectura conjunta precisa la línea base y confirma un **gradiente de calidad decreciente** de la cuenca hacia el entorno del proyecto. A escala de **cuenca**, el territorio conserva calidad biológica —cobertura natural del 60.71 %, 90 vertebrados y 60 especies arbóreas, con maderas finas protegidas como el cedro rojo y el granadillo (en peligro) y fauna emblemática como la iguana negra, la iguana verde y el mochuelo de Colima— sobre un medio físico ya presionado: **64.87 % del suelo degradado** y el **acuífero Jalipa-Tapeixtles en déficit**. A escala del **entorno inmediato**, tanto lo biótico como lo físico están más mermados: la cobertura natural cae al 8.75 %, la riqueza se reduce (78 vertebrados, 14 especies arbóreas) y la **degradación del suelo sube al 84.96 %**, sobre el mismo acuífero deficitario y con un aire dominado por las emisiones de la termoeléctrica y el puerto. El proyecto se evalúa, por tanto, contra un estado **real y de calidad decreciente**, no contra un ideal conservado, y sus impactos y medidas se dimensionan respecto de esa línea base. El **aire** se caracterizó por **percepción remota**, con valores medios anuales sobre la RE (PM2.5 **11.9 µg/m³**, que rebasa el estándar anual; NO_2 y SO_2 por TROPOMI — Figura 4), y el **ruido** por **estimación indirecta** (carácter industrial-logístico del entorno, DENUE); la medición en campo, si la autoridad la requiere, queda a cargo del promovente.

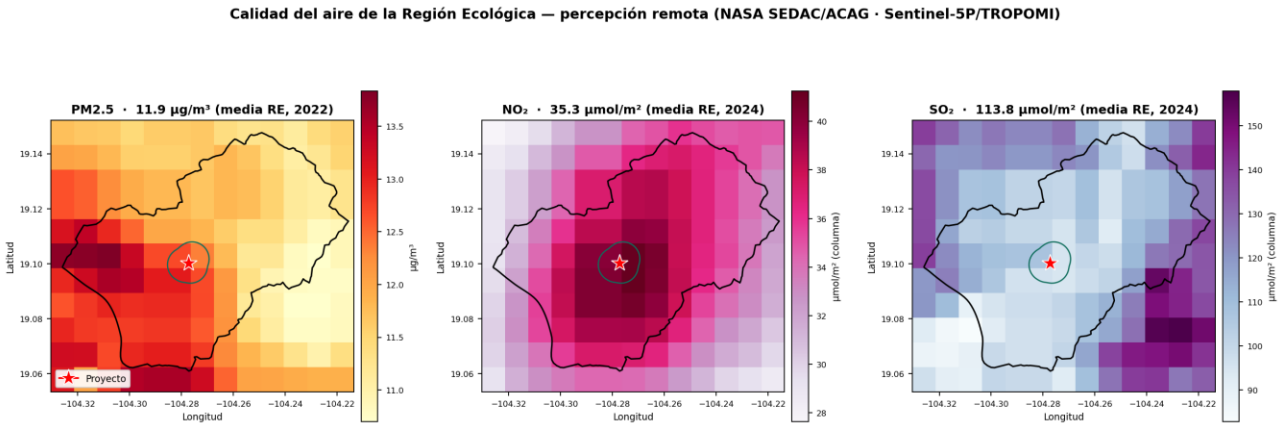


Figura 4. Calidad del aire de la Región Ecológica (percepción remota satelital). Media anual sobre la RE de PM2.5 (superficie, NASA SEDAC/ACAG, 2022), NO_2 y SO_2 (columna troposférica, Sentinel-5P/TROPOMI, 2024); el punto rojo marca el proyecto.

Fuente: NASA SEDAC/ACAG (van Donkelaar et al., 2021; PM2.5 superficial) y Copernicus/ESA Sentinel-5P/TROPOMI (NO_2, SO_2), consultados en la plataforma Google Earth Engine (julio 2026).

Los tres contaminantes confirman que el proyecto se inserta en la porción **más cargada** de la cuenca: el **máximo de NO_2** —trazador del tránsito y la actividad portuaria— coincide con el polígono del proyecto, y el **SO_2** más alto se despliega hacia el sureste, en dirección de la termoeléctrica de la CFE. La **PM2.5 media (11.9 µg/m³) rebasa el estándar anual** de la NOM-025-SSA1, de modo que la línea base de aire ya parte de una condición desfavorable y anterior al proyecto. Para su correcta lectura conviene precisar dos cosas: la **PM2.5 es concentración a nivel de superficie** (comparable con el límite), mientras que el **NO_2 y el SO_2 son columna troposférica** —el gas integrado desde el suelo hasta la tropopausa (~0–12 km), no un valor a una altura fija—, por lo que expresan el **patrón espacial** de la contaminación más que una concentración de piso; y son **medias anuales** (PM2.5 2022; NO_2/SO_2 2024) que **varían con la temporada** —secas frente a lluvias, inversiones térmicas— **y entre años**, por lo que se toman como referencia del estado típico, no como un valor invariable.

Síntesis de los agentes de perturbación del entorno. El conjunto de indicadores confirma que el entorno del proyecto está sometido a una **perturbación antrópica activa y anterior a él**, cuyos agentes principales son la **expansión urbano-portuaria**, la **ganadería y la agricultura** y la **presión regional de deforestación** (Tabla 6). Esta condición no solo se lee en la cartografía y en los indicadores físicos, sino en la propia **composición biológica del sitio**: en el Área de Influencia, el arbolado dominante lo forman **especies secundarias y pioneras** —guásima (*Guazuma ulmifolia*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*) y espino blanco (*Acacia cochliacantha*)—, indicadoras de un ecosistema en recuperación tras el disturbio, y no las especies maduras de una selva baja caducifolia conservada. A ellas se suma la presencia de **especies exóticas e invasoras** —neem (*Azadirachta indica*), tamarindo (*Tamarindus indica*), flamboyán (*Delonix regia*), zacate guinea (*Panicum maximum*) y grama (*Cynodon dactylon*)—, cuyo establecimiento es otro signo de la alteración del hábitat. En conjunto, el proyecto se inserta en un entorno **ya degradado y en proceso de antropización**: éste es el estado real —no un ideal conservado— contra el que se valoran sus impactos y respecto del cual cobran sentido sus medidas de restauración.

IV.3 Identificación, descripción y evaluación de los impactos del proyecto, por etapa

IV.3.1 Universo de análisis

El barrido de las acciones del proyecto contra los factores ambientales, depurado de las interacciones no plausibles, arroja un **universo de 98 interacciones adversas activas**, distribuidas en las tres etapas del

ciclo del proyecto: **53 en la preparación del sitio**, **31 en la construcción** y **14 en la operación**. Cada interacción se identifica con una **clave de control** (`IMP-001`, `IMP-002`, …); esa clave, y no una perífrasis, es la referencia con que cada impacto se cita en los apartados posteriores (§IV.6 a §IV.8). La valoración de la preparación del sitio —el desmonte del cambio de uso de suelo— es la que concentra los impactos de mayor importancia.



Figura 5. Matriz de identificación de interacciones (acción × factor). Barrido exhaustivo de las acciones del proyecto contra los factores ambientales; cada celda marcada es una interacción que pasa a valoración.

Fuente: elaboración propia; matriz de identificación de interacciones (Leopold et al., 1971).

La matriz garantiza que ninguna combinación acción-factor quede sin examinar: de todas las posibles, solo las plausibles se activan, y son las acciones de desmonte las que activan el mayor número de factores.

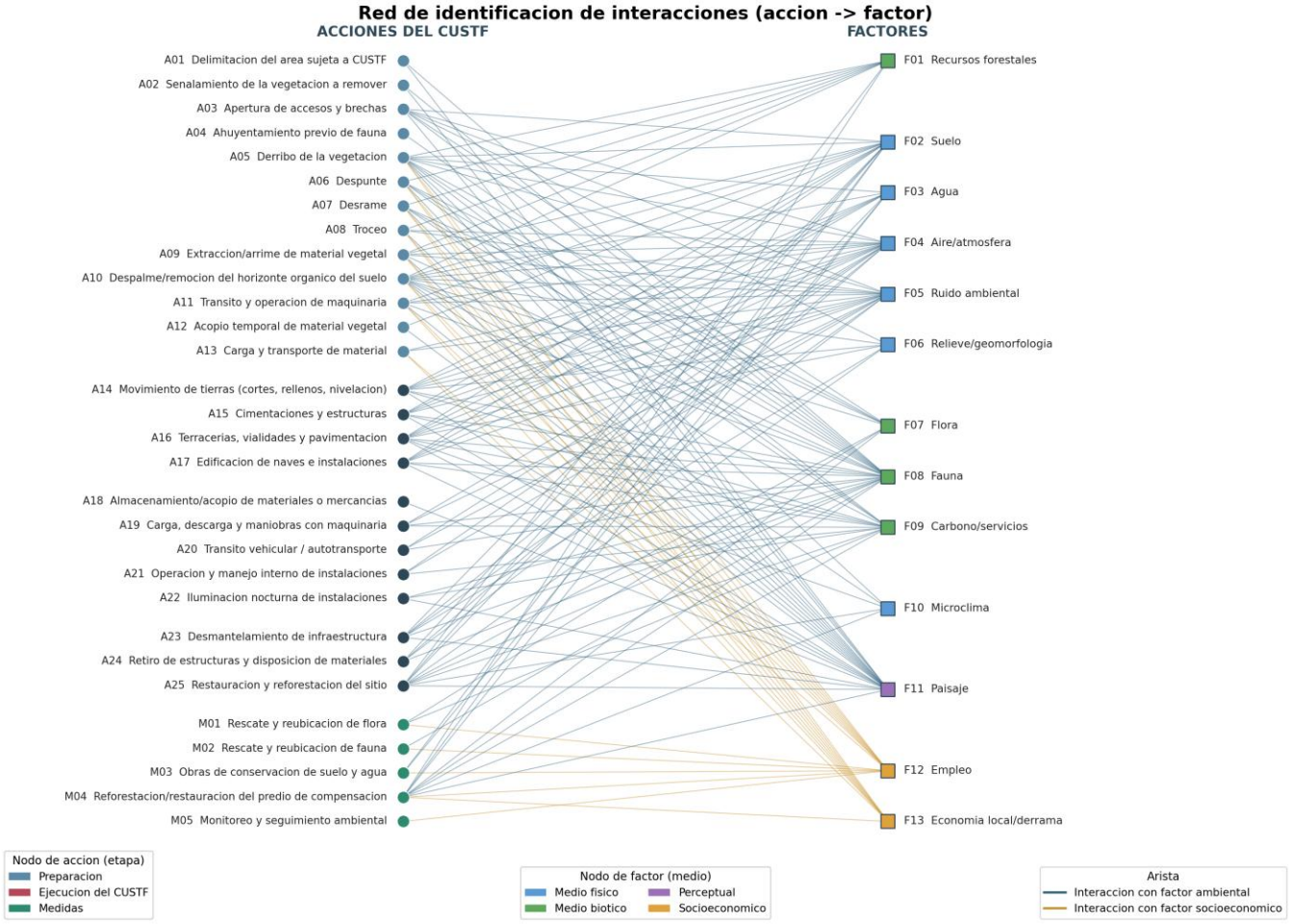


Figura 6. Red de identificación de interacciones (acción → factor). Las mismas interacciones representadas como red, que hace visible la concentración de efectos sobre los factores ligados al estándar del artículo 93.

Fuente: elaboración propia.

La red confirma, desde otra representación, que los nodos de mayor conectividad son las dos acciones de desmonte y los factores agua, suelo, carbono, flora y arbolado: es la estructura que la tabla maestra valora, interacción por interacción.

Antes de la valoración cuantitativa, cada interacción pasa por un **primer cribado** que la clasifica por su **naturaleza** —adversa o benéfica— y por su **significancia** —significativa o poco significativa—. Este filtro cualitativo, previo y trazable, separa lo relevante de lo accesorio y orienta la valoración: las celdas adversas significativas son las que exigirán las medidas de mayor jerarquía.

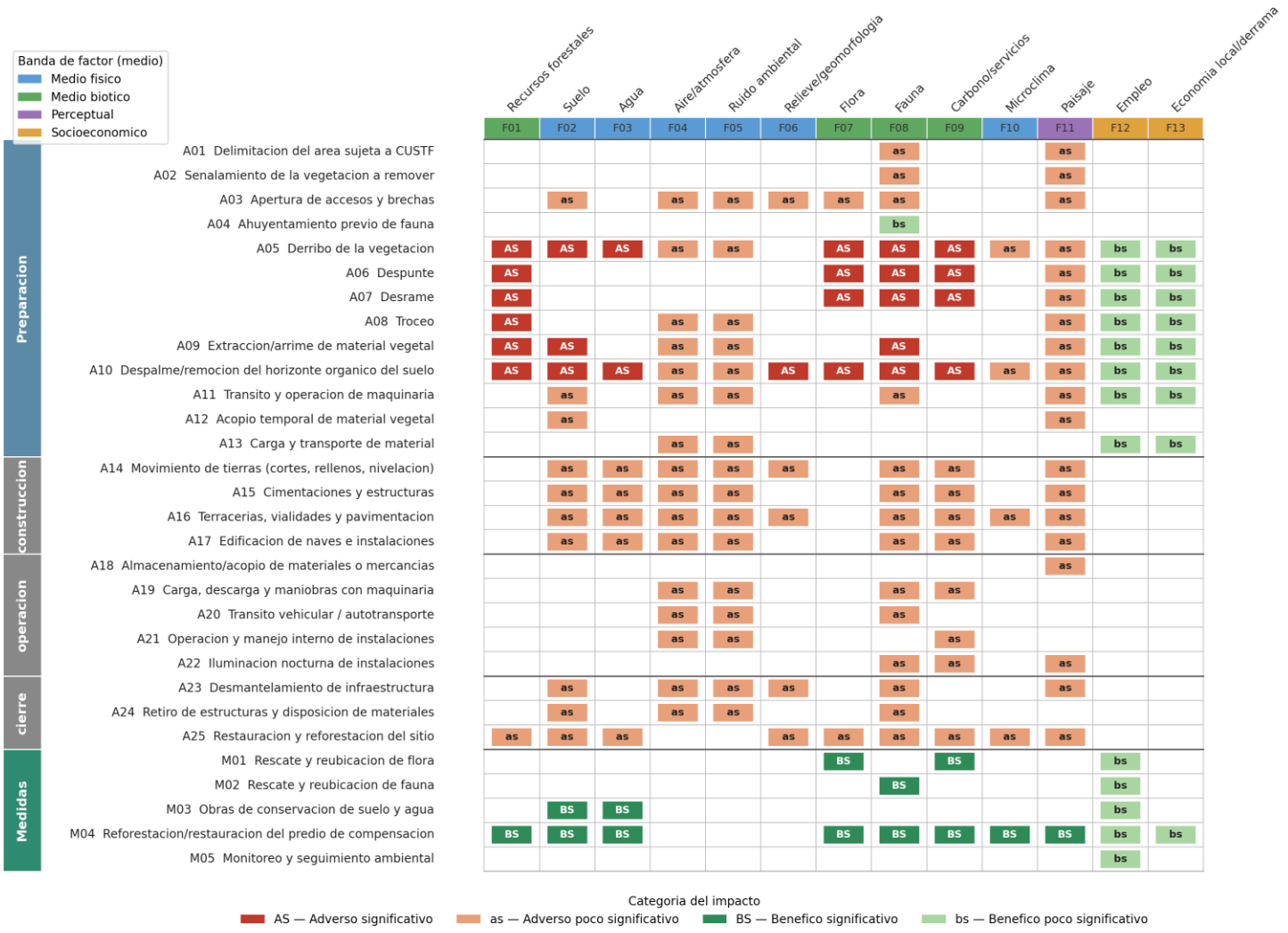


Figura 7. Cribado de impactos (primer juicio): naturaleza × significancia. Cada celda acción-factor se clasifica en una de cuatro categorías —adverso significativo (AS), adverso poco significativo (as), benéfico significativo (BS) o benéfico poco significativo (bs)—; en rojo intenso, las interacciones adversas significativas, concentradas en el desmonte de la preparación sobre los factores biológicos

Fuente: elaboración propia; cribado de significancia con criterios de Leopold (1971) y Conesa Fernández-Vítora (1997).

El cribado concentra las interacciones adversas significativas en las acciones de desmonte de la preparación —derribo, despalme, desrame, troceo— sobre los factores biológicos —flora, fauna, recursos forestales— y los del estándar del artículo 93 —suelo, agua, carbono—; los factores reversibles —aire, ruido, microclima, paisaje— quedan como adversos poco significativos, y las acciones de medida (M01–M05) como benéficos. Conviene precisar el alcance de estas tres representaciones —matriz, red y cribado—: recorren el **catálogo metodológico completo** de acciones, que incluye la fase de **abandono y cierre** (acciones A23 a A25) que el método prevé para los proyectos que la declaran. ExpressPort, de carácter permanente, **no declara una fase de abandono y cierre**: esas interacciones se identifican y criban en la lista de chequeo, pero no avanzan a la valoración cuantitativa, la cual comprende las **tres etapas declaradas** —preparación, construcción y operación— con sus 98 interacciones adversas activas.

IV.3.2 Tabla maestra de impactos y medidas

La Tabla 8 reúne las nueve columnas que exige la Guía, precedidas de una columna de **clave de control**. La caracterización presenta los atributos y la Importancia *I* de cada impacto; la clase de significancia (Compatible, Moderado, Severo o Crítico) se deriva de |I| conforme a la Tabla 4. La sigla del tipo de medida (**P** = prevención y buenas prácticas de obra, **M** = mitigación, **C** = compensación) corresponde al catálogo de medidas del estudio: los impactos significativos reciben medidas específicas de mitigación y compensación (M1–M3, C1), y los reversibles no significativos, el programa de buenas prácticas de obra (P-1 a P-5). Su descripción y sus parámetros de verificación se desarrollan en §IV.4 y §IV.5.

Tabla 8. Tabla maestra: identificación, valoración y medidas de los impactos del proyecto, por etapa.

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
IMP-110	Preparacion	Acopio temporal de material vegetal	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Modificación de la calidad visual del sitio durante los trabajos de preparación	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-22 (Compatible)	Indirecto	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-101	Preparacion	Acopio temporal de material vegetal	Suelo / Suelo (abiotico)	Remoción y exposición del horizonte edáfico, con incremento de la erosión hídrica y eólica y del aporte de sedimento al cauce	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=2; duracion PE=2; sinergia SI=2; acumulacion AC=4; I=-34 (Moderado)	Indirecto	M3 · C1	Obras de conservacion de suelo y agua · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Superficie con obras establecidas (ha) y retencion de suelo / reduccion de azolve lograda (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-114	Preparacion	Carga y transporte de material	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por la operación de maquinaria y el manejo de material vegetal	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-21 (Compatible)	Indirecto	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-115	Preparacion	Carga y transporte de material	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por la maquinaria y el tránsito de vehículos	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-27 (Moderado)	Indirecto	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-008	Preparacion	Delimitacion del area sujeta a CUSTF	Fauna / Fauna (biotico)	Desplazamiento de la fauna y pérdida de hábitat, con riesgo para las especies protegidas de	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-28 (Moderado)	Indirecto	M2 · C1	Rescate y reubicacion de fauna · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Numero de individuos rescatados/reubicados y % de permanencia en el sitio receptor (plazo 7 anos) · Supervivencia de la

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				lento desplazamiento					planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-011	Preparacion	Delimitacion del area sujeta a CUSTF	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Modificación de la calidad visual del sitio durante los trabajos de preparación	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-22 (Compatible)	Indirecto	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-025	Preparacion	Derribo de la vegetacion	Agua / Agua (abiotico)	Reducción de la capacidad de recarga del acuífero y alteración del régimen de escurrimiento de la microcuenca	Adverso; intensidad IN=12; extension EX=2; duracion PE=4; sinergia SI=2; acumulacion AC=1; I=-58 (Severo)	Indirecto	M3 · C1	Obras de conservacion de suelo y agua · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Superficie con obras establecidas (ha) y retencion de suelo / reduccion de azolve lograda (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-026	Preparacion	Derribo de la vegetacion	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por la operación de maquinaria y el manejo de material vegetal	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-29 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-031	Preparacion	Derribo de la vegetacion	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Liberación del carbono almacenado en la biomasa y el suelo, con pérdida del servicio de captura	Adverso; intensidad IN=8; extension EX=2; duracion PE=4; sinergia SI=2; acumulacion AC=1; I=-53 (Severo)	Directo	C1	Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-030	Preparacion	Derribo de la vegetacion	Fauna / Fauna (biotico)	Desplazamiento de la fauna y pérdida de hábitat, con riesgo para	Adverso; intensidad IN=8; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1;	Directo	M2 · C1	Rescate y reubicacion de fauna · Reforestacion/restauracion	Numero de individuos rescatados/reubicados y % de permanencia en el sitio receptor

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				las especies protegidas de lento desplazamiento	acumulacion AC=1; I=-50 (Severo)			del predio de compensacion	(plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-029	Preparacion	Derribo de la vegetacion	Vegetacion / Flora (biotico)	Remoción de la cubierta vegetal y pérdida de individuos, incluidas especies en categoría de riesgo y endémicas	Adverso; intensidad IN=8; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-50 (Severo)	Directo	M1 · C1	Rescate y reubicacion de flora · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Tasa de supervivencia (prendimiento) de individuos reubicados, por monitoreo periodico (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-032	Preparacion	Derribo de la vegetacion	Atmosfera / Microclima (abiotico)	Alteración local del microclima por la pérdida de la cobertura vegetal y el aumento de la superficie expuesta	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-27 (Moderado)	Indirecto	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-033	Preparacion	Derribo de la vegetacion	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Modificación de la calidad visual del sitio durante los trabajos de preparación	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-32 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-023	Preparacion	Derribo de la vegetacion	Vegetacion / Recursos forestales (biotico)	Pérdida del arbolado en pie y del volumen forestal maderable y no maderable del predio	Adverso; intensidad IN=8; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-52 (Severo)	Directo	C1	Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-027	Preparacion	Derribo de la vegetacion	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4;	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna:	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				por la maquinaria y el tránsito de vehículos	duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-35 (Moderado)			mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-024	Preparacion	Derribo de la vegetacion	Suelo / Suelo (abiotico)	Remoción y exposición del horizonte edáfico, con incremento de la erosión hídrica y eólica y del aporte de sedimento al cauce	Adverso; intensidad IN=8; extension EX=2; duracion PE=4; sinergia SI=2; acumulacion AC=4; I=-56 (Severo)	Directo	M3 · C1	Obras de conservacion de suelo y agua · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Superficie con obras establecidas (ha) y retencion de suelo / reduccion de azolve lograda (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-080	Preparacion	Despalme/remocion del horizonte organico del suelo	Agua / Agua (abiotico)	Reducción de la capacidad de recarga del acuífero y alteración del régimen de escurrimiento de la microcuenca	Adverso; intensidad IN=12; extension EX=2; duracion PE=4; sinergia SI=2; acumulacion AC=1; I=-58 (Severo)	Indirecto	M3 · C1	Obras de conservacion de suelo y agua · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Superficie con obras establecidas (ha) y retencion de suelo / reduccion de azolve lograda (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-081	Preparacion	Despalme/remocion del horizonte organico del suelo	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por la operación de maquinaria y el manejo de material vegetal	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-29 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-086	Preparacion	Despalme/remocion del horizonte organico del suelo	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Liberación del carbono almacenado en la biomasa y el suelo, con pérdida del servicio de captura	Adverso; intensidad IN=8; extension EX=2; duracion PE=4; sinergia SI=2; acumulacion AC=1; I=-53 (Severo)	Directo	C1	Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
IMP-085	Preparacion	Despalme/remocion del horizonte organico del suelo	Fauna / Fauna (biotico)	Desplazamiento de la fauna y pérdida de hábitat, con riesgo para las especies protegidas de lento desplazamiento	Adverso; intensidad IN=8; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-50 (Severo)	Directo	M2 · C1	Rescate y reubicacion de fauna · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Numero de individuos rescatados/reubicados y % de permanencia en el sitio receptor (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-084	Preparacion	Despalme/remocion del horizonte organico del suelo	Vegetacion / Flora (biotico)	Remoción de la cubierta vegetal y pérdida de individuos, incluidas especies en categoría de riesgo y endémicas	Adverso; intensidad IN=8; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-50 (Severo)	Directo	M1 · C1	Rescate y reubicacion de flora · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Tasa de supervivencia (prendimiento) de individuos reubicados, por monitoreo periodico (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-087	Preparacion	Despalme/remocion del horizonte organico del suelo	Atmosfera / Microclima (abiotico)	Alteración local del microclima por la pérdida de la cobertura vegetal y el aumento de la superficie expuesta	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-27 (Moderado)	Indirecto	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-088	Preparacion	Despalme/remocion del horizonte organico del suelo	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Modificación de la calidad visual del sitio durante los trabajos de preparación	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-32 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-078	Preparacion	Despalme/remocion del horizonte organico del suelo	Vegetacion / Recursos forestales (biotico)	Pérdida del arbolado en pie y del volumen forestal maderable	Adverso; intensidad IN=8; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1;	Directo	C1	Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				y no maderable del predio	acumulacion AC=1; I=-52 (Severo)				
IMP-082	Preparacion	Despalme/remocion del horizonte organico del suelo	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por la maquinaria y el tránsito de vehículos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-35 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-079	Preparacion	Despalme/remocion del horizonte organico del suelo	Suelo / Suelo (abiotico)	Remoción y exposición del horizonte edáfico, con incremento de la erosión hídrica y eólica y del aporte de sedimento al cauce	Adverso; intensidad IN=8; extension EX=2; duracion PE=4; sinergia SI=2; acumulacion AC=4; I=-56 (Severo)	Directo	M3 · C1	Obras de conservacion de suelo y agua · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Superficie con obras establecidas (ha) y retencion de suelo / reduccion de azolve lograda (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-042	Preparacion	Despunte	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Liberación del carbono almacenado en la biomasa y el suelo, con pérdida del servicio de captura	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=2; duracion PE=4; sinergia SI=2; acumulacion AC=1; I=-47 (Moderado)	Directo	C1	Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-041	Preparacion	Despunte	Fauna / Fauna (biotico)	Desplazamiento de la fauna y pérdida de hábitat, con riesgo para las especies protegidas de lento desplazamiento	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-44 (Moderado)	Directo	M2 · C1	Rescate y reubicacion de fauna · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Numero de individuos rescatados/reubicados y % de permanencia en el sitio receptor (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-040	Preparacion	Despunte	Vegetacion / Flora (biotico)	Remoción de la cubierta vegetal y pérdida de	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=1; duracion PE=4;	Directo	M1 · C1	Rescate y reubicacion de flora · Reforestacion/restauracion	Tasa de supervivencia (prendimiento) de individuos reubicados,

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				individuos, incluidas especies en categoría de riesgo y endémicas	sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-44 (Moderado)			del predio de compensacion	por monitoreo periodico (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-044	Preparacion	Despunte	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Modificación de la calidad visual del sitio durante los trabajos de preparación	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-29 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-034	Preparacion	Despunte	Vegetacion / Recursos forestales (biotico)	Pérdida del arbolado en pie y del volumen forestal maderable y no maderable del predio	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-46 (Moderado)	Directo	C1	Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-053	Preparacion	Desrame	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Liberación del carbono almacenado en la biomasa y el suelo, con pérdida del servicio de captura	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=2; duracion PE=4; sinergia SI=2; acumulacion AC=1; I=-47 (Moderado)	Directo	C1	Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-052	Preparacion	Desrame	Fauna / Fauna (biotico)	Desplazamiento de la fauna y pérdida de hábitat, con riesgo para las especies protegidas de lento desplazamiento	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-44 (Moderado)	Directo	M2 · C1	Rescate y reubicacion de fauna · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Numero de individuos rescatados/reubicados y % de permanencia en el sitio receptor (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
IMP-051	Preparacion	Desrame	Vegetacion / Flora (biotico)	Remoción de la cubierta vegetal y pérdida de individuos, incluidas especies en categoría de riesgo y endémicas	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-44 (Moderado)	Directo	M1 · C1	Rescate y reubicacion de flora · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Tasa de supervivencia (prendimiento) de individuos reubicados, por monitoreo periodico (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-055	Preparacion	Desrame	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Modificación de la calidad visual del sitio durante los trabajos de preparación	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-29 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-045	Preparacion	Desrame	Vegetacion / Recursos forestales (biotico)	Pérdida del arbolado en pie y del volumen forestal maderable y no maderable del predio	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-46 (Moderado)	Directo	C1	Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-070	Preparacion	Extraccion/arrime de material vegetal	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por la operación de maquinaria y el manejo de material vegetal	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-26 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-074	Preparacion	Extraccion/arrime de material vegetal	Fauna / Fauna (biotico)	Desplazamiento de la fauna y pérdida de hábitat, con riesgo para las especies protegidas de	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-44 (Moderado)	Directo	M2 · C1	Rescate y reubicacion de fauna · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Numero de individuos rescatados/reubicados y % de permanencia en el sitio receptor (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%)

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				lento desplazamiento					y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-077	Preparacion	Extraccion/arrime de material vegetal	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Modificación de la calidad visual del sitio durante los trabajos de preparación	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-29 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-067	Preparacion	Extraccion/arrime de material vegetal	Vegetacion / Recursos forestales (biotico)	Pérdida del arbolado en pie y del volumen forestal maderable y no maderable del predio	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-46 (Moderado)	Directo	C1	Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-071	Preparacion	Extraccion/arrime de material vegetal	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por la maquinaria y el tránsito de vehículos	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-32 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-068	Preparacion	Extraccion/arrime de material vegetal	Suelo / Suelo (abiotico)	Remoción y exposición del horizonte edáfico, con incremento de la erosión hídrica y eólica y del aporte de sedimento al cauce	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=2; duracion PE=4; sinergia SI=2; acumulacion AC=4; I=-50 (Severo)	Directo	M3 · C1	Obras de conservacion de suelo y agua · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Superficie con obras establecidas (ha) y retencion de suelo / reduccion de azolve lograda (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-019	Preparacion	Senalamiento de la vegetacion a remover	Fauna / Fauna (biotico)	Desplazamiento de la fauna y pérdida de hábitat, con riesgo para las especies protegidas de	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-28 (Moderado)	Indirecto	M2 · C1	Rescate y reubicacion de fauna · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Numero de individuos rescatados/reubicados y % de permanencia en el sitio receptor (plazo 7 anos) · Supervivencia de la

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				lento desplazamiento					planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-022	Preparacion	Senalamiento de la vegetacion a remover	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Modificación de la calidad visual del sitio durante los trabajos de preparación	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-22 (Compatible)	Indirecto	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-092	Preparacion	Transito y operacion de maquinaria	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por la operación de maquinaria y el manejo de material vegetal	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-26 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-096	Preparacion	Transito y operacion de maquinaria	Fauna / Fauna (biotico)	Desplazamiento de la fauna y pérdida de hábitat, con riesgo para las especies protegidas de lento desplazamiento	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-44 (Moderado)	Directo	M2 · C1	Rescate y reubicacion de fauna · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Numero de individuos rescatados/reubicados y % de permanencia en el sitio receptor (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-099	Preparacion	Transito y operacion de maquinaria	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Modificación de la calidad visual del sitio durante los trabajos de preparación	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-29 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-093	Preparacion	Transito y operacion de maquinaria	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por la maquinaria	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1;	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada;

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				y el tránsito de vehículos	acumulacion AC=1; I=-32 (Moderado)			horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	sin registros de fauna atropellada
IMP-090	Preparacion	Transito y operacion de maquinaria	Suelo / Suelo (abiotico)	Remoción y exposición del horizonte edáfico, con incremento de la erosión hídrica y eólica y del aporte de sedimento al cauce	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=2; duracion PE=4; sinergia SI=2; acumulacion AC=4; I=-50 (Severo)	Directo	M3 · C1	Obras de conservacion de suelo y agua · Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Superficie con obras establecidas (ha) y retencion de suelo / reduccion de azolve lograda (plazo 7 anos) · Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-059	Preparacion	Troceo	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por la operación de maquinaria y el manejo de material vegetal	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-26 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-066	Preparacion	Troceo	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Modificación de la calidad visual del sitio durante los trabajos de preparación	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-29 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-056	Preparacion	Troceo	Vegetacion / Recursos forestales (biotico)	Pérdida del arbolado en pie y del volumen forestal maderable y no maderable del predio	Adverso; intensidad IN=6; extension EX=1; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-46 (Moderado)	Directo	C1	Reforestacion/restauracion del predio de compensacion	Supervivencia de la planta establecida (%) y densidad lograda (ind/ha) (plazo 7 anos)
IMP-060	Preparacion	Troceo	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por la maquinaria y el tránsito de vehículos	Adverso; intensidad IN=1; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1;	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada;

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
					acumulacion AC=1; I=-32 (Moderado)			dirigida de bajo impacto y control de velocidad	sin registros de fauna atropellada
IMP-135	Construccion	Cimentaciones y estructuras	Agua / Agua (abiotico)	Alteración del escurrimiento superficial y riesgo de afectación a la calidad del agua por residuos y sólidos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=8; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-37 (Moderado)	Indirecto	P-3	Manejo de agua y suelo en la obra: drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado a áreas designadas, escarificación de suelos compactados al cierre y estabilización de taludes	Sistema de drenaje y control de sedimentos operando; superficie escarificada; taludes estables
IMP-136	Construccion	Cimentaciones y estructuras	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por el tránsito vehicular y la operación de equipos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-35 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-141	Construccion	Cimentaciones y estructuras	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Emisión de gases de efecto invernadero por la combustión de maquinaria y equipos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=8; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-42 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-140	Construccion	Cimentaciones y estructuras	Fauna / Fauna (biotico)	Perturbación de la fauna por el ruido, la iluminación nocturna y la actividad humana continua	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-34 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-143	Construccion	Cimentaciones y estructuras	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Cambio permanente de la calidad visual del sitio por las nuevas instalaciones	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-36 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
								visual y establecimiento de áreas verdes	
IMP-137	Construccion	Cimentaciones y estructuras	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por el tránsito y la operación de las instalaciones	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-35 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-134	Construccion	Cimentaciones y estructuras	Suelo / Suelo (abiotico)	Compactación y alteración del suelo por el tránsito de maquinaria, las excavaciones y el manejo de materiales	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-28 (Moderado)	Directo	P-3	Manejo de agua y suelo en la obra: drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado a áreas designadas, escarificación de suelos compactados al cierre y estabilización de taludes	Sistema de drenaje y control de sedimentos operando; superficie escarificada; taludes estables
IMP-157	Construccion	Edificacion de naves e instalaciones	Agua / Agua (abiotico)	Alteración del escurrimiento superficial y riesgo de afectación a la calidad del agua por residuos y sólidos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=8; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-37 (Moderado)	Indirecto	P-3	Manejo de agua y suelo en la obra: drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado a áreas designadas, escarificación de suelos compactados al cierre y estabilización de taludes	Sistema de drenaje y control de sedimentos operando; superficie escarificada; taludes estables
IMP-158	Construccion	Edificacion de naves e instalaciones	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por el tránsito vehicular y la operación de equipos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-35 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-163	Construccion	Edificacion de naves e instalaciones	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Emisión de gases de efecto invernadero por la combustión de	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=8; duracion PE=2; sinergia SI=1;	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				maquinaria y equipos	acumulacion AC=1; I=-42 (Moderado)			de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	
IMP-162	Construccion	Edificacion de naves e instalaciones	Fauna / Fauna (biotico)	Perturbación de la fauna por el ruido, la iluminación nocturna y la actividad humana continua	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-34 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-165	Construccion	Edificacion de naves e instalaciones	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Cambio permanente de la calidad visual del sitio por las nuevas instalaciones	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-36 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-159	Construccion	Edificacion de naves e instalaciones	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por el tránsito y la operación de las instalaciones	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-35 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-156	Construccion	Edificacion de naves e instalaciones	Suelo / Suelo (abiotico)	Compactación y alteración del suelo por el tránsito de maquinaria, las excavaciones y el manejo de materiales	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-28 (Moderado)	Directo	P-3	Manejo de agua y suelo en la obra: drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado a áreas designadas, escarificación de suelos compactados al cierre y estabilización de taludes	Sistema de drenaje y control de sedimentos operando; superficie escarificada; taludes estables
IMP-124	Construccion	Movimiento de tierras (cortes, rellenos, nivelacion)	Agua / Agua (abiotico)	Alteración del escurrimiento superficial y riesgo de afectación a la calidad del agua	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=8; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-40 (Moderado)	Indirecto	P-3	Manejo de agua y suelo en la obra: drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado a áreas designadas, escarificación de suelos compactados al	Sistema de drenaje y control de sedimentos operando; superficie escarificada; taludes estables

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				por residuos y sólidos				cierre y estabilización de taludes	
IMP-125	Construccion	Movimiento de tierras (cortes, rellenos, nivelacion)	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por el tránsito vehicular y la operación de equipos	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-38 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-130	Construccion	Movimiento de tierras (cortes, rellenos, nivelacion)	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Emisión de gases de efecto invernadero por la combustión de maquinaria y equipos	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=8; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-45 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-129	Construccion	Movimiento de tierras (cortes, rellenos, nivelacion)	Fauna / Fauna (biotico)	Perturbación de la fauna por el ruido, la iluminación nocturna y la actividad humana continua	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-37 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-132	Construccion	Movimiento de tierras (cortes, rellenos, nivelacion)	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Cambio permanente de la calidad visual del sitio por las nuevas instalaciones	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-39 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-127	Construccion	Movimiento de tierras (cortes, rellenos, nivelacion)	Geologia y geomorfologia / Relieve/geomorfologia (abiotico)	Conformación definitiva del terreno por las terracerías, vialidades y cimentaciones	Adverso; intensidad IN=4; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-36 (Moderado)	Directo	P-3	Manejo de agua y suelo en la obra: drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado a áreas designadas, escarificación de suelos compactados al	Sistema de drenaje y control de sedimentos operando; superficie escarificada; taludes estables

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
								cierre y estabilización de taludes	
IMP-126	Construccion	Movimiento de tierras (cortes, rellenos, nivelacion)	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por el tránsito y la operación de las instalaciones	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-38 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-123	Construccion	Movimiento de tierras (cortes, rellenos, nivelacion)	Suelo / Suelo (abiotico)	Compactación y alteración del suelo por el tránsito de maquinaria, las excavaciones y el manejo de materiales	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-31 (Moderado)	Directo	P-3	Manejo de agua y suelo en la obra: drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado a áreas designadas, escarificación de suelos compactados al cierre y estabilización de taludes	Sistema de drenaje y control de sedimentos operando; superficie escarificada; taludes estables
IMP-146	Construccion	Terracerias, vialidades y pavimentacion	Agua / Agua (abiotico)	Alteración del escurrimiento superficial y riesgo de afectación a la calidad del agua por residuos y sólidos	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=8; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-40 (Moderado)	Indirecto	P-3	Manejo de agua y suelo en la obra: drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado a áreas designadas, escarificación de suelos compactados al cierre y estabilización de taludes	Sistema de drenaje y control de sedimentos operando; superficie escarificada; taludes estables
IMP-147	Construccion	Terracerias, vialidades y pavimentacion	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por el tránsito vehicular y la operación de equipos	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-38 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-152	Construccion	Terracerias, vialidades y pavimentacion	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Emisión de gases de efecto invernadero por la combustión de	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=8; duracion PE=2; sinergia SI=1;	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
				maquinaria y equipos	acumulacion AC=1; I=-45 (Moderado)			de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	
IMP-151	Construccion	Terracerias, vialidades y pavimentacion	Fauna / Fauna (biotico)	Perturbación de la fauna por el ruido, la iluminación nocturna y la actividad humana continua	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-37 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-153	Construccion	Terracerias, vialidades y pavimentacion	Atmosfera / Microclima (abiotico)	Modificación del microclima local por las superficies construidas e impermeabilizadas	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-34 (Moderado)	Indirecto	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-154	Construccion	Terracerias, vialidades y pavimentacion	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Cambio permanente de la calidad visual del sitio por las nuevas instalaciones	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-39 (Moderado)	Directo	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-149	Construccion	Terracerias, vialidades y pavimentacion	Geologia y geomorfologia / Relieve/geomorfologia (abiotico)	Conformación definitiva del terreno por las terracerías, vialidades y cimentaciones	Adverso; intensidad IN=4; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-36 (Moderado)	Directo	P-3	Manejo de agua y suelo en la obra: drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado a áreas designadas, escarificación de suelos compactados al cierre y estabilización de taludes	Sistema de drenaje y control de sedimentos operando; superficie escarificada; taludes estables
IMP-148	Construccion	Terracerias, vialidades y pavimentacion	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por el tránsito y la operación de las instalaciones	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=4; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-38 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
								dirigida de bajo impacto y control de velocidad	
IMP-145	Construccion	Terracerias, vialidades y pavimentacion	Suelo / Suelo (abiotico)	Compactación y alteración del suelo por el tránsito de maquinaria, las excavaciones y el manejo de materiales	Adverso; intensidad IN=3; extension EX=1; duracion PE=2; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-31 (Moderado)	Directo	P-3	Manejo de agua y suelo en la obra: drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado a áreas designadas, escarificación de suelos compactados al cierre y estabilización de taludes	Sistema de drenaje y control de sedimentos operando; superficie escarificada; taludes estables
IMP-176	Operacion	Almacenamiento/acopio de materiales o mercancias	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Cambio permanente de la calidad visual del sitio por las nuevas instalaciones	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-33 (Moderado)	Indirecto	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-180	Operacion	Carga, descarga y maniobras con maquinaria	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por el tránsito vehicular y la operación de equipos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-37 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-185	Operacion	Carga, descarga y maniobras con maquinaria	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Emisión de gases de efecto invernadero por la combustión de maquinaria y equipos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=8; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-46 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-184	Operacion	Carga, descarga y maniobras con maquinaria	Fauna / Fauna (biotico)	Perturbación de la fauna por el ruido, la iluminación nocturna y la actividad humana continua	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-36 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
								dirigida de bajo impacto y control de velocidad	
IMP-181	Operacion	Carga, descarga y maniobras con maquinaria	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por el tránsito y la operación de las instalaciones	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-37 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-218	Operacion	Iluminacion nocturna de instalaciones	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Emisión de gases de efecto invernadero por la combustión de maquinaria y equipos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=8; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-41 (Moderado)	Indirecto	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-217	Operacion	Iluminacion nocturna de instalaciones	Fauna / Fauna (biotico)	Perturbación de la fauna por el ruido, la iluminación nocturna y la actividad humana continua	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-31 (Moderado)	Indirecto	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-220	Operacion	Iluminacion nocturna de instalaciones	Paisaje / Paisaje (abiotico)	Cambio permanente de la calidad visual del sitio por las nuevas instalaciones	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-33 (Moderado)	Indirecto	P-4	Integración paisajística y manejo de residuos: delimitación de frentes de obra, retiro de residuos y materiales, restauración visual y establecimiento de áreas verdes	Superficie restaurada (%) y áreas verdes establecidas
IMP-202	Operacion	Operacion y manejo interno de instalaciones	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por el tránsito vehicular y la operación de equipos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-32 (Moderado)	Indirecto	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma

Clave	Etapa	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización del impacto	Efectos	Tipo de medida	Descripción de la medida	Parámetros de verificación
IMP-207	Operacion	Operacion y manejo interno de instalaciones	Atmosfera / Carbono/servicios (abiotico)	Emisión de gases de efecto invernadero por la combustión de maquinaria y equipos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=8; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-41 (Moderado)	Indirecto	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-203	Operacion	Operacion y manejo interno de instalaciones	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por el tránsito y la operación de las instalaciones	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-32 (Moderado)	Indirecto	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-191	Operacion	Transito vehicular / autotransporte	Atmosfera / Aire/atmosfera (abiotico)	Emisión de partículas y gases de combustión por el tránsito vehicular y la operación de equipos	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-37 (Moderado)	Directo	P-1	Control de emisiones a la atmósfera: riego de superficies y caminos, cubrimiento del material suelto y de los camiones de acarreo, y verificación y mantenimiento vehicular	Programa de riego cumplido; verificación vehicular vigente; PM10 dentro de norma
IMP-195	Operacion	Transito vehicular / autotransporte	Fauna / Fauna (biotico)	Perturbación de la fauna por el ruido, la iluminación nocturna y la actividad humana continua	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-36 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada
IMP-192	Operacion	Transito vehicular / autotransporte	Atmosfera / Ruido ambiental (abiotico)	Incremento de los niveles de ruido por el tránsito y la operación de las instalaciones	Adverso; intensidad IN=2; extension EX=4; duracion PE=4; sinergia SI=1; acumulacion AC=1; I=-37 (Moderado)	Directo	P-2	Control de ruido y de perturbación de la fauna: mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad	Ruido perimetral ≤ NOM-081 (68/65 dB(A)); luminarias con orientación adecuada; sin registros de fauna atropellada

Fuente: memoria de cálculo de la evaluación de impactos (Anexo, archivo Excel — hoja de valoración de Conesa). La columna «Impacto ambiental» la redacta el responsable del estudio a partir de la interacción; las demás columnas presentan la caracterización, la valoración y la medida de cada impacto.

IV.3.3 Lectura por etapa

Las 98 interacciones adversas no se reparten por igual a lo largo del ciclo del proyecto. La **preparación del sitio concentra más de la mitad** —53 interacciones, el 54 %—, la construcción el 32 % (31) y la operación el 14 % (14); y, sobre todo, **los catorce impactos significativos se producen íntegramente en la preparación**, pues la construcción y la operación son en su totalidad de clase Moderada. La Tabla 9 y las Figuras 6 bis y IV.7 desglosan esta distribución por etapa, por significancia y por componente ambiental.

Tabla 9. Interacciones adversas por etapa y componente ambiental.

Componente ambiental	Preparación	Construcción	Operación	Total
Paisaje	10	4	2	**16**
Fauna	8	4	3	**15**
Aire / atmósfera	6	4	3	**13**
Ruido ambiental	6	4	3	**13**
Carbono / servicios	4	4	3	**11**
Suelo	5	4	—	**9**
Recursos forestales	6	—	—	**6**
Agua	2	4	—	**6**
Flora	4	—	—	**4**
Microclima	2	1	—	**3**
Relieve / geomorfología	—	2	—	**2**
Total	**53**	**31**	**14**	**98**

Fuente: elaboración propia a partir de la valoración de impactos (memoria de cálculo, Anexo).

El cuadro revela dos patrones. Primero, los componentes **más recurrentes** —paisaje (16), fauna (15), atmósfera (13) y ruido (13)— son en su mayoría **reversibles** y se reparten por las tres etapas: su peso está en el número, no en la gravedad. Segundo, los componentes que **solo aparecen en la preparación** —flora y recursos forestales— o que ahí alcanzan su mayor intensidad —suelo, agua y carbono— son los que **cargan la significancia**: es el desmonte, y no la obra ni la operación, el que afecta de forma severa el patrimonio biológico y los servicios ambientales.

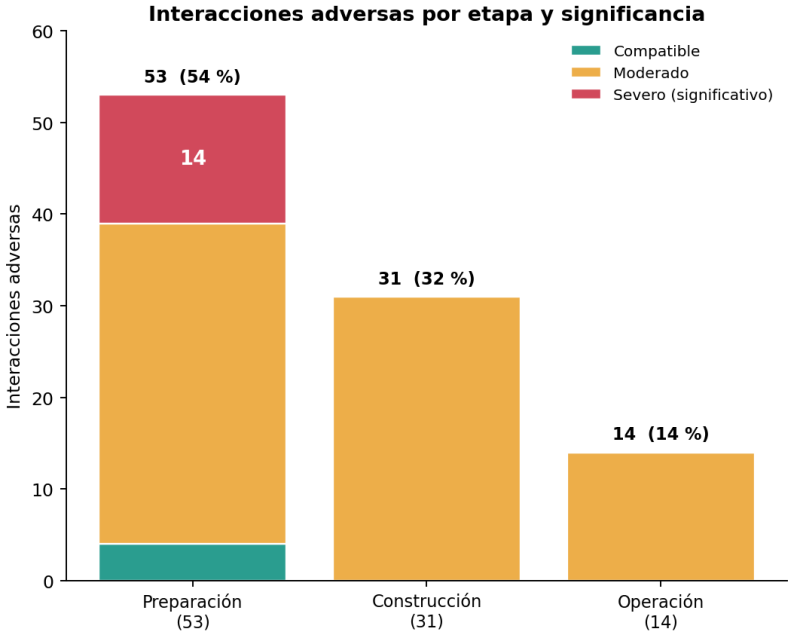


Figura 8. Interacciones adversas por etapa y significancia. Las 98 interacciones distribuidas por las tres etapas del ciclo, apiladas según su clase de significancia (Compatible, Moderado, Severo).

Fuente: elaboración propia a partir de la valoración de impactos (memoria de cálculo, Anexo).

La figura confirma el foco de la evaluación: la preparación no solo es la etapa con más interacciones, sino la **única que aporta impactos Severos** (la banda roja); la construcción y la operación, pese a sumar 45 interacciones entre ambas, son íntegramente **Moderadas**. El esfuerzo de valoración y de medidas específicas se concentra, por tanto, en la preparación.

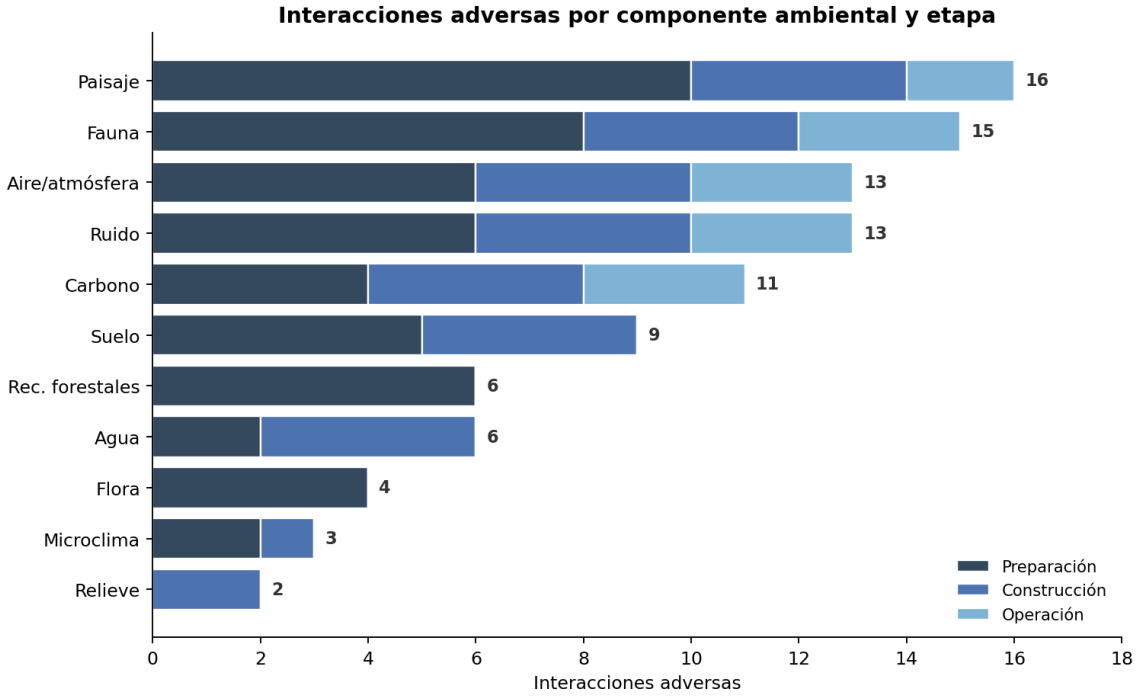


Figura 9. Interacciones adversas por componente ambiental y etapa. Los componentes ordenados por el total de interacciones que reciben, con el aporte de cada etapa —preparación, construcción y operación— diferenciado por color.

Fuente: elaboración propia a partir de la valoración de impactos (memoria de cálculo, Anexo).

La barra ordena los componentes por su total y, con el color, revela en qué etapa se producen. Los más recurrentes —**paisaje (16), fauna (15), atmósfera y ruido (13)**— acumulan interacciones en las tres etapas; aun así, el perfil de cada etapa es distinto. En la **preparación**, el peso recae en los factores **biológicos y del suelo** —paisaje (10), fauna (8), recursos forestales (6) y suelo (5)—, propios de la remoción de la cubierta vegetal. En la **construcción**, la presión se **reparte de forma pareja** —cuatro interacciones en casi todos los componentes—, reflejo de una obra que toca todo el medio sin dominar ninguno. En la **operación**, el perfil se estrecha a los factores **atmosféricos y de perturbación** —aire, carbono, fauna y ruido, con tres interacciones cada uno—, los propios del tránsito y el funcionamiento de las instalaciones. Con este mapa de la distribución, la lectura de cada etapa es la siguiente.

Preparación del sitio (53 interacciones · 54 %). Es la etapa decisiva: el desmonte del cambio de uso de suelo remueve la cubierta vegetal del Área del Proyecto y desencadena la cascada de efectos sobre el suelo, el agua, el carbono y la fauna. Aquí se concentran los **catorce impactos significativos** del proyecto —los de mayor Importancia, entre −50 y −58—, todos ligados a las dos acciones de desmonte (derribo y despalme) y a las maniobras que exponen el suelo, y todos sobre los factores biológicos y del artículo 93: flora, fauna, recursos forestales, suelo, agua y carbono. Es también la etapa donde actúan las **medidas de rescate de flora y fauna**, que deben ejecutarse **antes** del desmonte.

Construcción (31 interacciones · 32 %). Los impactos son de carácter **temporal** y **ninguno alcanza el umbral de significancia**: se distribuyen de forma pareja —cuatro interacciones en casi cada componente— por el movimiento de tierras, las terracerías, las cimentaciones y el tránsito de maquinaria, con efectos

moderados sobre el agua, el aire, el suelo, el ruido, la fauna y el paisaje, además del relieve por la conformación del terreno, que cesan al concluir la obra.

Operación (14 interacciones · 14 %). Los impactos son **recurrentes pero de baja intensidad**: el tránsito vehicular, la iluminación nocturna y la operación de las instalaciones generan emisiones, ruido y perturbación de la fauna, más el cambio del paisaje, de clase Moderada, sin impactos significativos. Los impactos reversibles de la construcción y la operación se atienden con el **programa de buenas prácticas de obra** (medidas P-1 a P-5, §IV.4).

Por su **naturaleza**, las 98 interacciones que se valoran son **adversas** (impactos negativos). El proyecto genera además **interacciones benéficas** —el empleo y la derrama económica, y los beneficios ambientales de sus propias medidas— que el cribado identifica (Figura 7) y que, por serlo, no requieren mitigación sino que se favorecen; su tratamiento se integra en el análisis de significativos y en las estrategias por componente (§IV.6 y §IV.10).

Abandono y cierre. El proyecto es infraestructura portuaria **de carácter permanente** —vida útil estimada en ~50 años, sin programa de cierre (Capítulo I)— y **no contempla una etapa de abandono y cierre**; por ello no se evalúan impactos para esa fase. El método sí la prevé —y la lista de chequeo la recorre (acciones A23 a A25 de la Figura 7)— para el caso de que un proyecto la declarara, pero aquí no aplica.

IV.4 Clasificación e identificación de las medidas

Las medidas del proyecto se clasifican, conforme a la Guía, en cuatro categorías según su función: **prevención** (evitar que el impacto se genere), **mitigación** (reducir o controlar su magnitud, extensión o duración), **compensación** (generar un beneficio ambiental equivalente cuando lo anterior no es viable) y **restauración** (recuperar y restablecer las condiciones afectadas). El promovente se compromete a **nueve medidas** con sigla —cinco de prevención y buenas prácticas de obra, tres de mitigación y una de compensación— más un **Programa de Vigilancia Ambiental** de seguimiento, que no constituye una categoría de medida sino el instrumento que verifica el cumplimiento de todas.

La cartera responde a la **naturaleza de cada impacto**. El **impacto primario** —la remoción de la cubierta vegetal— **no admite prevención**: es la esencia misma del cambio de uso de suelo autorizado, y ninguna acción podría *evitarlo* sin cancelar el proyecto; por ello se atiende con **mitigación** (rescate de flora y fauna, y conservación de suelo y agua: M1–M3) y **compensación** (reforestación del predio de compensación: C1). En cambio, los **impactos secundarios y reversibles** de la construcción y la operación —emisiones a la atmósfera, ruido, alteración del escurrimiento y afectación del paisaje— **sí admiten prevención y buenas prácticas**, que se reúnen en un **programa de manejo ambiental de la obra** (medidas **P-1 a P-5**). Únicamente la categoría de **restauración (R) *in situ** *se declara vacía, con justificación: la superficie del Área del Proyecto se destina de manera permanente a la obra, por lo que la recuperación del recurso forestal no se realiza sobre el propio predio sino, como compensación, sobre un predio distinto (C1) —distinción que la Guía reconoce al tipificar como compensación**, y no como restauración, la reforestación ejecutada fuera del predio del proyecto.

Tabla 10. Catálogo de medidas por código.

Código	Medida	Categoría	Factores que atiende	Alcance comprometido
M1	Rescate y reubicación de flora	Mitigación	Flora	Rescate y reubicación de **1,543 individuos** de las especies prioritarias, con desmonte en **temporada seca**
M2	Rescate y reubicación de fauna	Mitigación	Fauna	Ahuyentamiento dirigido de la avifauna y rescate y reubicación de

Código	Medida	Categoría	Factores que atiende	Alcance comprometido
				la fauna de lento desplazamiento; **51 especies** en protocolo
M3	Obras de conservación de suelo y agua	Mitigación	Suelo · Agua	Obras de retención de suelo y control de azolve sobre la superficie intervenida
C1	Reforestación/restauración del predio de compensación	Compensación	Recursos forestales · Flora · Fauna · Suelo · Agua · Carbono	Reforestación del predio de compensación (**3.55 ha**)
P-1	Control de emisiones a la atmósfera	Prevención / buenas prácticas	Aire · Carbono	Riego de superficies y caminos, cubrimiento de material y camiones, y verificación vehicular durante la obra
P-2	Control de ruido y perturbación de fauna	Prevención / buenas prácticas	Ruido · Fauna	Mantenimiento de maquinaria, trabajo en horario diurno, iluminación dirigida de bajo impacto y control de velocidad
P-3	Manejo de agua y suelo en la obra	Prevención / buenas prácticas	Agua · Suelo · Relieve	Drenaje pluvial y trampas de sedimento, tránsito confinado, escarificación al cierre y estabilización de taludes
P-4	Integración paisajística y manejo de residuos	Prevención / buenas prácticas	Paisaje · Microclima	Delimitación de frentes, retiro de residuos y materiales, restauración visual y áreas verdes
P-5	Mantenimiento preventivo de la maquinaria	Prevención / buenas prácticas	Aire · Carbono	Servicio por horas conforme al fabricante (aceite, filtros, inyección y escape) y bitácora de mantenimiento por equipo
—	Monitoreo y seguimiento ambiental	Seguimiento (PVA)	Transversal	Verificación del cumplimiento y la eficacia de todas las medidas

Fuente: cartera de medidas del proyecto (memoria de cálculo de la evaluación de impactos, Anexo). La superficie del predio de compensación proviene del Estudio Técnico Justificativo (ETJ) del cambio de uso de suelo del mismo predio.

Las medidas específicas **M1–M3 y C1** atienden los **impactos significativos** del desmonte (§IV.6.1), mientras que las cinco medidas de **buenas prácticas de obra (P-1 a P-5)** conforman el **programa de manejo ambiental** que atiende los impactos **reversibles no significativos** —los más numerosos, aunque de menor importancia—: el control de emisiones y polvo (P-1), el control de ruido y de la perturbación de la fauna (P-2), el manejo de agua y suelo durante la obra (P-3), la integración paisajística y el manejo de residuos (P-4) y el mantenimiento preventivo de la maquinaria para el control de emisiones (P-5). Son de aplicación continua durante la preparación, la construcción y la operación, y su cumplimiento lo verifica el Programa de Vigilancia Ambiental (§IV.5).

IV.4.1 Descripción detallada de las medidas

M1 · Rescate y reubicación de flora

Descripción de la medida. M1 es una medida de **mitigación** que rescata y reubica los individuos de flora de mayor valor de conservación presentes en el **Área del Proyecto (AP)** antes de que el desmonte los remueva, y conserva el suelo vegetal como **banco de germoplasma** para las especies no trasplantadas individualmente. Se ejecuta en la **etapa de preparación del sitio**, en **temporada seca** —cuando el trasplante alcanza el mayor prendimiento—, sobre las **3.4097 ha** del AP, con destino en el sitio receptor y en el predio

de compensación (C1) como hábitat de reubicación. La ejecución corresponde al promovente, con dirección técnica de un prestador de servicios técnicos forestales con Registro Forestal Nacional.

Impacto que atiende. La medida responde al impacto **sobre la flora (claves IMP-029 e IMP-084)**, valorado como **Severo (I = −50)** en la metodología de Conesa (1997): el derribo y el despalme remueven la cubierta vegetal y, con ella, individuos de especies en **categoría de riesgo y endémicas**, una pérdida que por sí sola no es reversible. De las **36 especies de flora** inventariadas en el AP, varias presentan estatus de protección, endemismo o inclusión en los apéndices CITES o en la Lista Roja de la UICN, lo que obliga a una medida **previa** al desmonte y no meramente compensatoria.

Encuadre en la jerarquía de mitigación. En la secuencia **prevención → mitigación → restauración → compensación** (Reglamento de la LGEEPA en materia de EIA, art. 3), M1 opera en el segundo escalón —*minimizar* el daño que no puede evitarse— y se articula con otras dos medidas: el **banco de germoplasma** del suelo vegetal, que recupera las especies no rescatadas de manera individual, y la **reforestación del predio de compensación (C1)**, que aporta el hábitat receptor y restablece la cubierta. M1 no sustituye a la compensación: la **antecede**, salvando el material biológico que después se reintegra.

Mecanismo y alcance. El programa rescata y reubica **1,543 individuos** de las **diez especies prioritarias**, seleccionadas mediante cuatro filtros en cascada: (1) exclusión de especies exóticas, introducidas e invasoras; (2) filtro de estrato —el herbáceo solo si está en la NOM-059; el arbustivo y las demás formas, si además son endémicas o CITES—; (3) *prioridad por estatus* —toda especie en NOM-059, CITES o endémica, o con categoría UICN VU/EN/CR, se rescata siempre—; y (4) filtro de valor ecológico por gremio sucesional, que prioriza las especies de selva madura y secundaria tardía. Así, de las 36 especies del AP, **diez reciben rescate individual** (siete por su estatus y tres por su valor ecológico) y las **veintiséis restantes** se recuperan a través del banco de germoplasma del suelo vegetal (Figura 10). El método se ajusta a la forma de vida y a la regeneración de cada especie —trasplante de la regeneración menor de 1.8 m, colecta de germoplasma o esqueje, colecta de semilla o reubicación de epífitas— y el conjunto se dimensiona con un **factor de prendimiento —la supervivencia al primer año— de 0.8**, del que se establecen del orden de **1,234 individuos**.

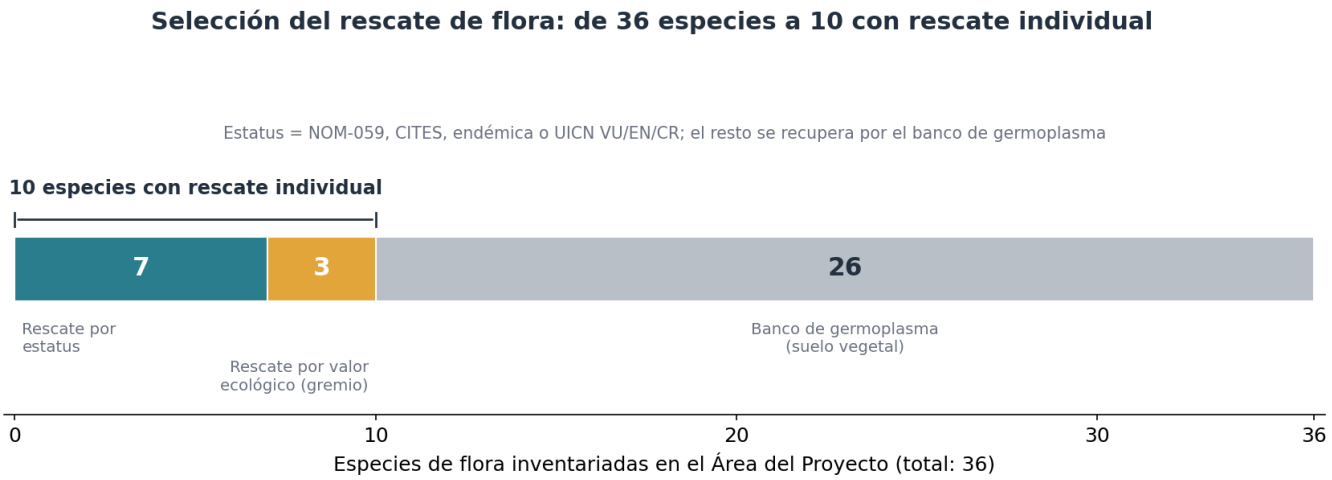


Figura 10. Selección del rescate de flora. De las 36 especies inventariadas en el AP, diez reciben rescate individual (siete por estatus de protección/endemismo, tres por valor ecológico) y las demás se recuperan por el banco de germoplasma del suelo vegetal.

Fuente: Programa de Rescate y Reubicación de Flora (Anexo).

Las diez especies con rescate individual, con su estatus de conservación y su método, se listan en la Tabla 11.

Tabla 11. Especies de flora con rescate individual prioritario.

#	Especie	Nombre común	Estatus de conservación	Método de rescate
1	*Cedrela odorata*	Cedro rojo	NOM-059: **Pr** · CITES II · UICN VU · endémica	Colecta de germoplasma / esqueje
2	*Swietenia humilis*	Cobano	CITES II · UICN EN	Trasplante de regeneración (≤ 1.8 m)
3	*Aristolochia taliscana*	Bejuco corchozo	Endémica de México	Colecta de germoplasma / esqueje
4	*Cordia elaeagnoides*	Barcino	Endémica de México	Trasplante de regeneración (≤ 1.8 m)
5	*Coulteria platyloba*	Coral	Endémica de México	Trasplante de regeneración (≤ 1.8 m)
6	*Roseodendron donnell-smithii*	Primavera	CITES II	Trasplante de regeneración (≤ 1.8 m)
7	*Tabebuia rosea*	Rosa morada	CITES II	Trasplante de regeneración (≤ 1.8 m)
8	*Cordia alliodora*	Botoncillo	Valor ecológico (secundaria tardía)	Colecta de semilla
9	*Enterolobium cyclocarpum*	Parota	Valor ecológico (secundaria tardía)	Colecta de semilla
10	*Ficus velutina*	Zalate	Valor ecológico (secundaria tardía)	Reubicación de epífita / bromelia

Fuente: Programa de Rescate y Reubicación de Flora (Anexo). Categorías de riesgo según NOM-059-SEMARNAT-2010, Apéndices de la CITES y Lista Roja de la UICN.

La selección no es indiscriminada: prioriza los individuos cuya pérdida tendría el mayor costo de conservación —la única especie en la **NOM-059** (*Cedrela odorata*, sujeta a protección especial), las incluidas en la **CITES** y en la **Lista Roja de la UICN**, y las **endémicas de México**— junto con las de mayor valor ecológico como especies **sucesionales tardías**. A cada una se le asigna el método de mayor prendimiento según su forma biológica y su viabilidad de trasplante: colecta de germoplasma o esqueje para la conservación genética de las más sensibles, trasplante de la regeneración (≤ 1.8 m) para los juveniles de las especies maderables, colecta de semilla para las sucesionales tardías y reubicación dirigida de la epífita. Así, el rescate concentra el esfuerzo donde el beneficio de conservación es mayor y ofrece a cada individuo trasladado la técnica que maximiza su probabilidad de supervivencia.

Demostración de eficacia. La eficacia de M1 se lee en dos planos complementarios: la **escala del impacto** y su **efecto sobre la valoración**. En cuanto a la escala, la afectación se mide sobre la línea base de la flora del §IV.2, que es de **riqueza de especies**: la Región Ecológica registra **60 especies arbóreas** y el Área del Proyecto **16**, todas ellas **contenidas** en las de la Región Ecológica (patrón de anidamiento, βSIM = 0). Por eso, aunque el desmonte remueve la cubierta del polígono, **no extirpa ninguna especie a escala regional** (Figura 11): las especies persisten en la cuenca y el impacto es local. En cuanto a la valoración, al asegurar los 1,234 individuos prioritarios, recuperar el resto por el banco de germoplasma y reintegrar la asamblea en el predio de compensación (C1), la medida **mejora la recuperabilidad** y el impacto sobre la flora **desciende de Severo (I = −50) a Moderado** en la matriz residual (§IV.6). La restitución de la cubierta no ocurre en el propio predio —destinado a la obra— sino, de forma permanente, en el **predio de compensación**.

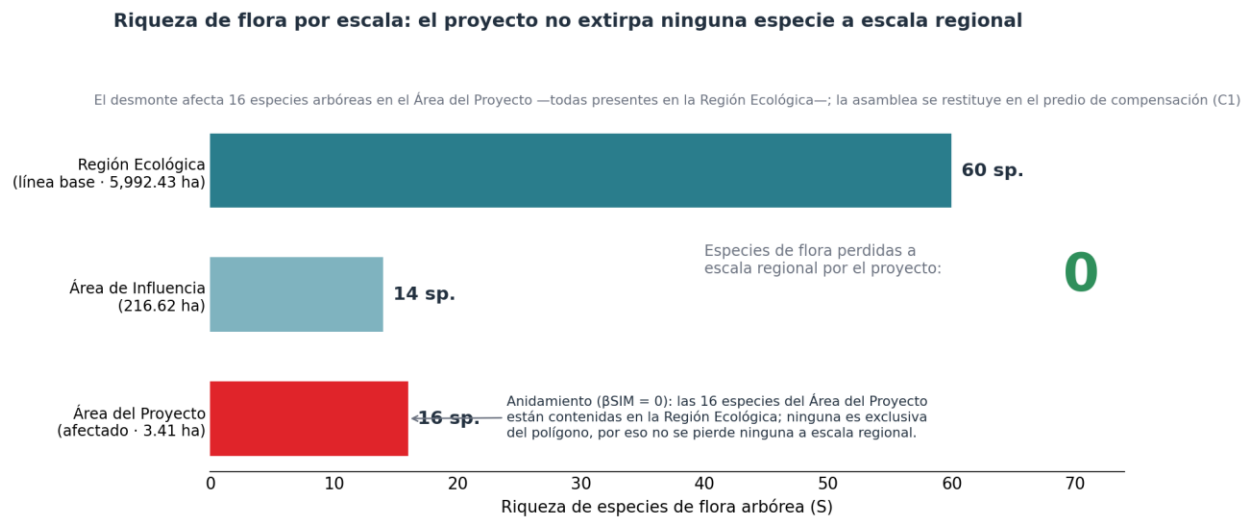


Figura 11. Riqueza de flora por escala: el proyecto no extirpa ninguna especie a escala regional. Riqueza de especies de flora arbórea en la Región Ecológica (línea base, §IV.2), el Área de Influencia y el Área del Proyecto. Las 16 especies del polígono están contenidas en las 60 de la Región Ecológica (anidamiento); el proyecto no extirpa ninguna especie a escala regional y la asamblea local se restituye en el predio de compensación (C1).

Fuente: línea base del §IV.2 (riqueza arbórea; estudio de flora del proyecto — Anexo) y análisis de diversidad por escala (Anexo).

Indicadores y seguimiento. El cumplimiento y la eficacia de M1 se verifican con la **tasa de supervivencia (prendimiento) de los individuos reubicados**, en porcentaje, con seguimiento **no menor de siete años** y reporte al Programa de Vigilancia Ambiental (§IV.5). La meta es un prendimiento no menor del **80 %** al primer año (Anexo A), con reposición por debajo de ese umbral y seguimiento a cargo de la supervisión ambiental designada por el promovente.

Conclusión de eficacia. El impacto Severo sobre la flora —remoción de individuos en riesgo y endémicos— se atiende con una medida que actúa **antes** del desmonte, salva las diez especies prioritarias y el germoplasma del resto, y reintegra el material en el hábitat compensatorio; con ello el impacto se vuelve recuperable, desciende de clase y **no se pierde ninguna especie a escala regional**.

M2 · Rescate y reubicación de fauna

Descripción de la medida. M2 es una medida de **mitigación** que evita la mortandad directa de la fauna del Área del Proyecto durante el desmonte y reubica a los individuos que no pueden huir por sí mismos. Combina dos acciones **según la movilidad** de cada grupo: el **ahuyentamiento dirigido** de la fauna de rápido desplazamiento —que abandona el sitio ante la perturbación previa a la obra— y el **rescate físico y la reubicación** de la fauna de lento desplazamiento. Se ejecuta en la **etapa de preparación**, con un barrido **previo** al frente de desmonte alineado a las etapas del proyecto (Cap. I), con reubicación en el sitio receptor y en el predio de compensación (C1). La ejecución corresponde al promovente, con dirección técnica de un prestador de servicios técnicos forestales con Registro Forestal Nacional.

Impacto que atiende. Responde al impacto **sobre la fauna (claves IMP-030 e IMP-085)**, valorado como **Severo (I = −50)** (Conesa, 1997): el derribo y el despalme destruyen el hábitat y ponen en riesgo de mortandad a los individuos presentes, con atención especial a las **cinco especies de fauna en la NOM-059** —tres de ellas **reptiles endémicos de lento desplazamiento**, que no pueden huir del frente de obra—.

Encuadre en la jerarquía de mitigación. En la secuencia prevención → mitigación → restauración → compensación (Reglamento de la LGEEPA en materia de EIA, art. 3), M2 opera como **mitigación**: reduce la magnitud del daño —la mortandad— que el desmonte no puede evitar, y se articula con la reforestación del predio de compensación (C1), que restablece el hábitat al que la fauna reubicada y la del entorno pueden desplazarse.

Mecanismo y alcance. El protocolo cubre **51 especies** con una acción de manejo asignada según su movilidad (Figura 12): **ahuyentamiento dirigido (N1)** para las **31 especies de aves** y **1 de mamíferos** de rápido desplazamiento, y **rescate físico y reubicación (N2)** para las **9 especies de mamíferos** y **10 de reptiles** de lento desplazamiento —los grupos que no pueden huir del frente de obra—. El barrido se realiza **antes** del desmonte, sobre las 3.4097 ha, en una jornada alineada a los frentes de trabajo del proyecto.

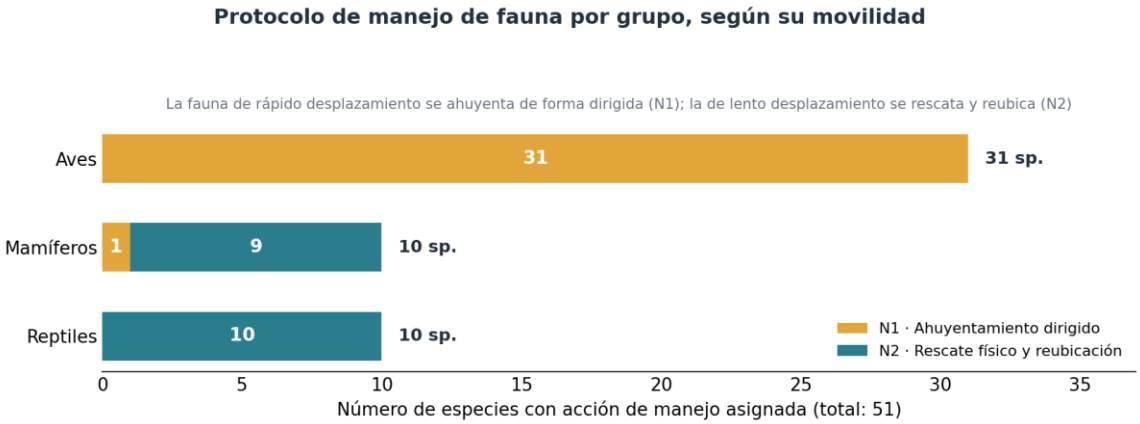


Figura 12. Protocolo de manejo de fauna por grupo, según su movilidad. La fauna de rápido desplazamiento (aves y un mamífero) se ahuyenta de forma dirigida (N1); la de lento desplazamiento (mamíferos y reptiles) se rescata físicamente y se reubica (N2).

Fuente: Programa de Ahuyentamiento, Rescate y Reubicación de Fauna (Anexo).

Demostración de eficacia. Como en la flora, la eficacia se lee en la **escala del impacto** y en la **valoración**. Sobre la línea base del §IV.2 —riqueza de vertebrados: **90 especies en la Región Ecológica**, 78 en el Área de Influencia y 68 en el Área del Proyecto—, la fauna del polígono está **anidada** en la de la cuenca (aves, mamíferos y reptiles: **0 especies exclusivas** del Área del Proyecto) y es, además, **móvil**: el impacto la **desplaza**, no la extirpa. Por eso, a escala regional el proyecto **no extirpa ninguna especie** (Figura 13). En cuanto a la valoración, el ahuyentamiento evita la mortandad de la fauna de rápido desplazamiento y el rescate reubica la de lento desplazamiento, con lo que la medida **mejora la recuperabilidad** y el impacto sobre la fauna **desciende de Severo (I = −50) a Moderado** en la matriz residual (§IV.6).

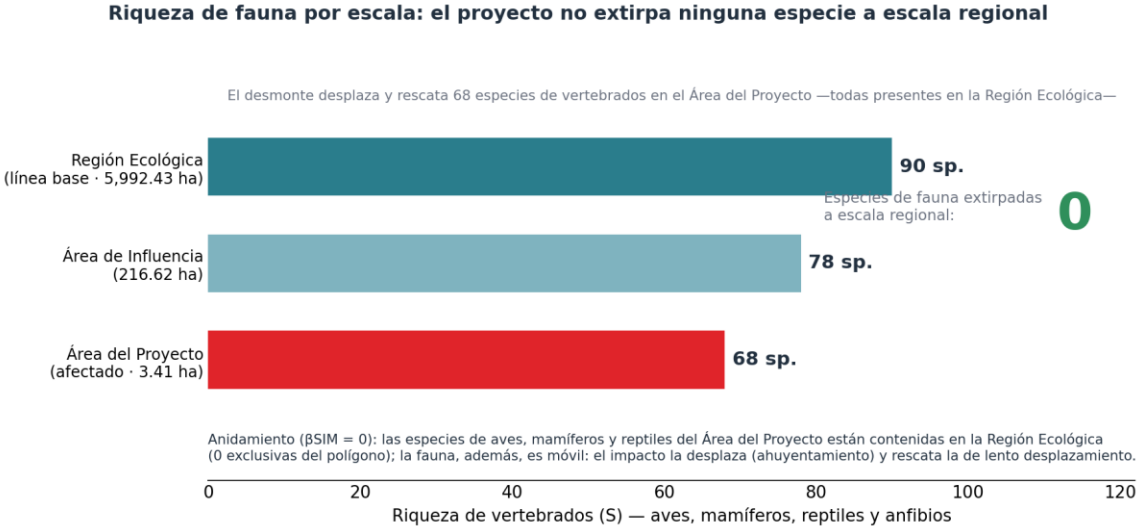


Figura 13. Riqueza de fauna por escala: el proyecto no extirpa ninguna especie a escala regional. Riqueza de vertebrados en la Región Ecológica (línea base, §IV.2), el Área de Influencia y el Área del Proyecto. Las especies de aves, mamíferos y reptiles del polígono están contenidas en las de la Región Ecológica (anidamiento) y la fauna es móvil, por lo que el proyecto no extirpa ninguna especie a escala regional.

Fuente: línea base del §IV.2 (riqueza de vertebrados; estudio de fauna del proyecto — Anexo) y análisis de diversidad por escala (Anexo).

Indicadores y seguimiento. El cumplimiento y la eficacia de M2 se verifican con el **número de individuos rescatados y reubicados** y el **porcentaje de permanencia en el sitio receptor**, con seguimiento **no menor de siete años** y reporte al Programa de Vigilancia Ambiental (§IV.5). Las metas son la **cobertura del 100 % del barrido** por frente, la **mortalidad directa mínima o nula**, el **100 % de los ejemplares rescatados liberados en hábitat análogo** y el **100 % de las especies NOM-059 con ficha individual** de seguimiento (Anexo B); el plazo de seguimiento se fija en **no menos de siete años**, conforme al horizonte del programa.

Conclusión de eficacia. El impacto Severo sobre la fauna —riesgo de mortandad por el desmonte— se atiende con una medida que actúa **antes** de la obra, ahuyenta a la fauna móvil y rescata a la de lento desplazamiento; ninguna especie se extirpa a escala regional y el impacto se vuelve recuperable, descendiendo de clase.

M3 · Obras de conservación de suelo y agua

Descripción de la medida. M3 reúne las **obras físicas de conservación de suelo y agua** que retienen el suelo que la remoción de la cubierta pone en movimiento y controlan el sedimento que, de otro modo, alcanzaría el cauce. Comprende cuatro obras con función y ubicación diferenciadas: **terrazas individuales (cajeteo)** y **barreras de material muerto** en el predio de compensación, que retienen suelo e infiltran; la **cortina rompevientos** en el perímetro a barlovento del predio del proyecto, que corta la erosión eólica; y el **mulching** con el residuo del propio desmonte sobre las áreas verdes perimetrales, que protege el suelo desnudo de forma temporal. Se ejecutan en la **etapa de preparación y construcción**.

Impacto que atiende. Responde a los impactos sobre el **suelo (claves IMP-024 e IMP-079, Severo I = −56)** —multiplicación de la erosión hídrica y eólica, con sedimento que alcanza el cauce y erosión progresiva mientras el suelo queda expuesto— y sobre el **agua (claves IMP-025 e IMP-080, Severo I = −58)** —pérdida de recarga, reforzada por la pérdida de suelo (efecto sinérgico)—, además de la erosión por extracción y tránsito (IMP-068 e IMP-090, I = −50). Es la remoción de la cubierta la que dispara esta cascada, y las obras cortan su eslabón erosivo.

Encuadre en la jerarquía de mitigación. M3 opera como **mitigación**: no evita la exposición del suelo —inherente al desmonte— pero **reduce y controla** sus consecuencias erosivas, y se articula con la reforestación del predio de compensación (C1), que restablece la cobertura que a largo plazo protege el suelo. En la cascada causa-efecto (§IV.6), actuar sobre el suelo atenúa también la pérdida de recarga que de él deriva.

Mecanismo y alcance. Cada obra se dimensiona sobre la geometría del proyecto y su capacidad se calcula con el **Manual de obras y prácticas de la CONAFOR (2023, 6.ª ed.)**; el azolve se modela por conectividad de sedimentos (Borselli / InVEST-SDR; densidad del sedimento 1.3 $t \cdot m^{-3}$). La Tabla 12 resume el diseño, la cantidad y la capacidad de retención de cada obra; en conjunto, las terrazas y las barreras aportan una capacidad física de retención de azolve de **891.56 m³** (357.72 + 533.83).

Tabla 12. Diseño y capacidad de las obras de conservación de suelo y agua (M3).

Obra	Ubicación	Diseño	Cantidad	Capacidad de retención
Terraza individual (cajeteo)	Predio de compensación	D = 1.00 m · P = 0.10 m · tresbolillo s = 3.00 m (una por planta)	**4,555** terrazas (1,283·ha⁻¹)	357.72 m³
Barrera de material muerto	Predio de compensación	H = 0.40 m · tramos de 8.00 m sobre curvas de nivel	**89** barreras · 710 m lineales	533.83 m³
Cortina rompevientos	Perímetro a barlovento (predio del proyecto)	4 hileras · altura de dosel maduro 8 m	**1,344** m lineales	reduce la erosión eólica

Obra	Ubicación	Diseño	Cantidad	Capacidad de retención
Mulching (temporal)	Áreas verdes perimetrales (0.79 ha)	Capa de residuo de 0.05 m · 80 % de cobertura	0.79 ha	protege el suelo desnudo

Fuente: Anexo D — Programa de Obras de Conservación de Suelo y Agua; capacidades según el Manual de la CONAFOR (2023).

Demostración de eficacia. La eficacia de M3 se demuestra con el **balance del recurso** en unidades reales (Figura 14). En la erosión hídrica, el proyecto añade un incremento de **38.96 t·año⁻¹** (Esc1 1.97 → Esc2 40.93), y solo las obras **retienen 119.39 t·año⁻¹** —el **306 %** de ese incremento—. En el criterio decisivo, el **azolve entregado al cauce**, el balance pasa de **0.209 t·año⁻¹ en la línea base (Esc1) a 0.00 con las obras (Esc3)**, por debajo de la línea base (**veredicto satisfactorio**). En la erosión eólica, la **cortina rompevientos evita 50.79 t·año⁻¹** que, sumada a la cobertura de la reforestación (30.4 t·año⁻¹), cubre el **124.5 %** del incremento (§IV.4.2). Con ello el impacto sobre el suelo **mejora su recuperabilidad** y su clasificación residual se reduce (§IV.6), si bien —como los demás recursos del sistema— permanece como residual significativo hasta que la reforestación madura, lo que fundamenta la compensación (C1).

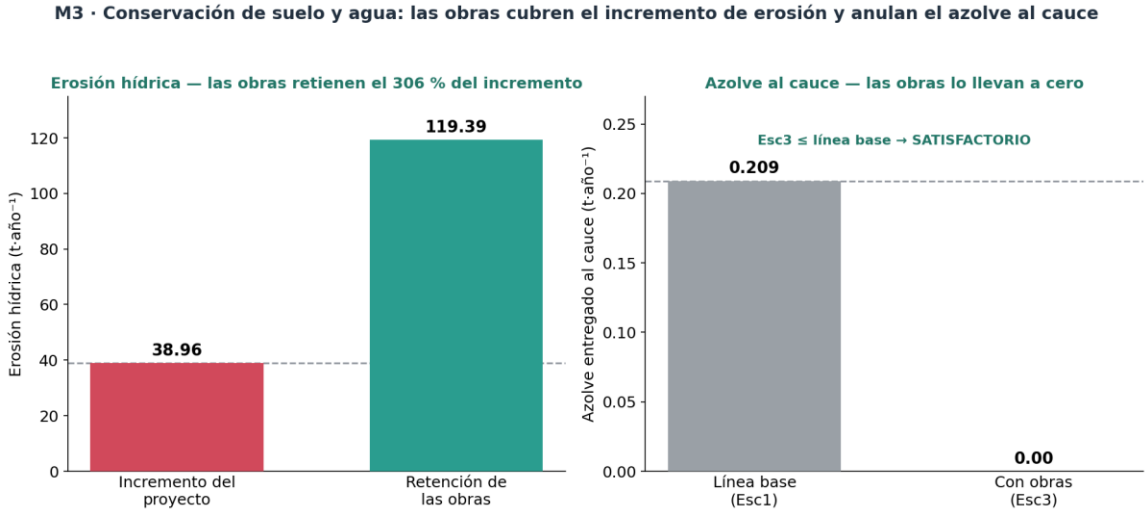


Figura 14. Balance del suelo y el agua por las obras de conservación (M3). Izquierda: la erosión hídrica que añade el proyecto (+38.96 t·año⁻¹) frente al suelo que retienen las obras (119.39 t·año⁻¹). Derecha: el azolve entregado al cauce, de 0.209 t·año⁻¹ en la línea base (Esc1) a 0.00 con las obras (Esc3).

Fuente: balance de conservación de suelo y agua (memoria de cálculo, Anexo); capacidad de obras según el Manual de la CONAFOR (2023).

Indicadores y seguimiento. Se verifican la **integridad de las obras (meta ≥ 90 % funcionales)**, la **superficie con obras** y la **reducción del azolve entregado al cauce** (meta «azolve ≤ línea base»), con seguimiento **no menor de siete años** y reporte al Programa de Vigilancia Ambiental (§IV.5). La **ejecución** corresponde al **promovente** (titular de la autorización) y la **dirección técnica** a un **prestador de servicios técnicos forestales con Registro Forestal Nacional**.

Conclusión de eficacia. El impacto Severo sobre el suelo y el agua —erosión y azolve por la exposición del suelo— se atiende con obras que retienen más del triple del incremento de erosión hídrica y anulan el azolve al cauce; el impacto se vuelve recuperable y su recuperación definitiva se completa con la cobertura que restablece la reforestación (C1).

C1 · Reforestación del predio de compensación

Descripción de la medida. C1 es la medida de **compensación** de mayor alcance: reforesta con especies nativas de selva baja caducifolia un **predio de compensación de 3.55 ha** —la parcela 126 del ejido **Nuevo Cuyutlán** (Manzanillo, Colima)—, distinto del predio del proyecto y de manera permanente, restableciendo la cubierta forestal que la obra remueve y, con ella, los seis servicios ambientales que el desmonte afecta. Se

apoya en las obras de conservación de suelo y agua (M3) instaladas en el mismo predio, y su seguimiento se extiende **al menos siete años**.

Impacto que atiende. Compensa los impactos residuales que ninguna mitigación in situ puede revertir en el propio predio: la **pérdida del recurso forestal (IMP-023 e IMP-078, I = −52)** —remoción total del arbolado en pie, con pérdida irreversible del volumen maderable— y la **pérdida del stock de carbono (IMP-031 e IMP-086, I = −53)** —cerca del 80 % del carbono almacenado—, y contribuye a cerrar los balances de **agua** y **suelo** y a restituir el hábitat de **flora y fauna**: los seis servicios.

Encuadre en la jerarquía de mitigación. C1 es el **último escalón** de la jerarquía: se aplica porque la prevención, la mitigación y la restauración in situ no bastan —el predio se destina de forma permanente a la obra—, de modo que el beneficio ambiental equivalente se **genera en otra superficie**. Su superficie (3.55 ha) **supera** la del cambio de uso de suelo (3.4097 ha), condición que permite que el sistema {área del proyecto + predio de compensación} cierre los balances de los recursos con superávit.

Mecanismo y alcance. La reforestación planta **5,568 individuos** a una densidad de **1,283 individuos·ha^{-1}** —4,555 en el predio de compensación (3.55 ha) y 1,013 en la revegetación in situ de las áreas verdes (0.79 ha)—, provenientes del **rescate de flora (M1): 1,543 individuos** y de **vivero local: 4,025**, y prioriza las especies nativas de valor y las protegidas (Tabla 13). La cubierta se restablece según una trayectoria de recuperación que lleva la **cabida cubierta del 15 % en el año 0 al 85 % en el año 7** en el predio de compensación (y de 0 % a 75 % en la revegetación in situ); a través de ella C1 aporta a los balances de los recursos: **+541.7 tC** de carbono, **65,300 m³** de recarga y 360.18 t·año^{-1} a la erosión hídrica y 30.4 a la eólica.

Tabla 13. Composición de la reforestación por especie.

Especie	Nombre común	Estatus de conservación	Individuos
Swietenia humilis	Cóbano	CITES II · UICN EN	1,855
Cedrela odorata	Cedro rojo	NOM-059 Pr · CITES II · UICN VU	900
Cordia alliodora	Botoncillo	—	500
Enterolobium cyclocarpum	Parota	—	500
Roseodendron donnell-smithii	Primavera	CITES II	500
Tabebuia rosea	Rosa morada	CITES II	413
Cordia elaeagnoides	Barcino	Endémica	300
Coulteria platyloba	Coral	Endémica	300
Ficus velutina	Zalate	—	200
Aristolochia taliscana	Bejuco corchozo	Endémica	100
Total			**5,568**

Fuente: Anexo C — Programa de Reforestación del Predio de Compensación. Estatus según NOM-059-SEMARNAT-2010, Apéndices de la CITES y Lista Roja de la UICN.

Demostración de eficacia. La eficacia de C1 se demuestra con el **balance de los recursos a nivel del sistema {área del proyecto + predio de compensación}** (Figura 15). En **carbono**, el stock pasa de **294.2 tC en la línea base (Esc1)** a **60.19 con el impacto (Esc2)** y se restablece a **601.89 con la compensación (Esc3)**: el escenario con medidas **supera la línea base** —recupera el **231 %**—. En **agua**, la recarga acumulada en el horizonte de 8 años se compensa: frente a una pérdida de **73,200 m³**, la recuperación suma **88,042 m³** —de los cuales la reforestación aporta 80,320—, con un **margen de +14,843 m³**. Así, los recursos que permanecían como residuales significativos (§IV.6) **cierran su balance con superávit** una vez que la cubierta se restablece; es la compensación, y no la mitigación in situ, la que completa esa recuperación. La equivalencia de la medida (superficie, función y horizonte), su catálogo de conceptos y su costo se desarrollan en §IV.8 y §IV.9.

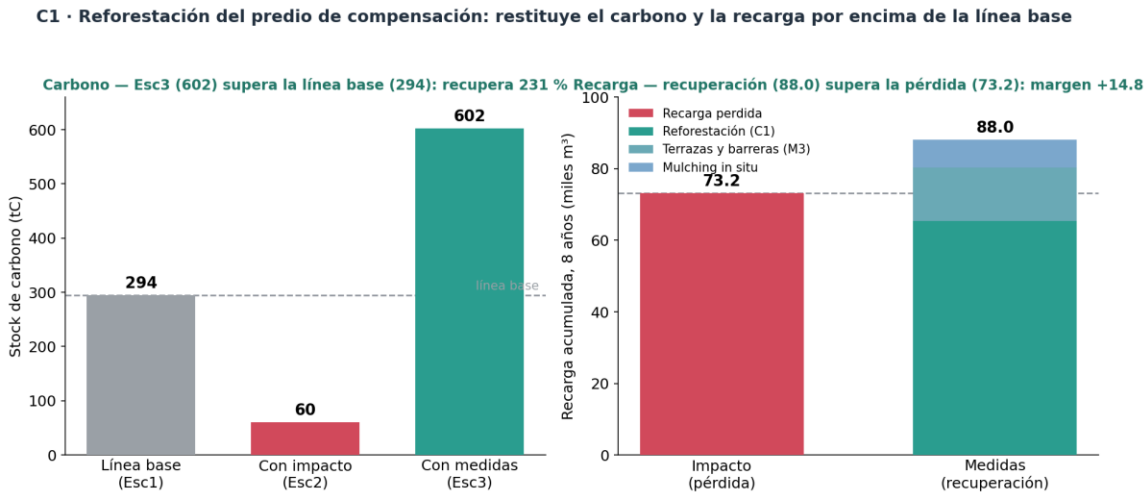


Figura 15. Balance del carbono y la recarga por la reforestación del predio de compensación (C1). Izquierda: el stock de carbono, de 294 tC en la línea base a 60 con el impacto y a 602 con la compensación (supera la línea base). Derecha: la recarga acumulada en 8 años, con una recuperación de 88.0 mil m³ frente a la pérdida de 73.2 (margen +14.8).

Fuente: balances de suficiencia de carbono y recarga a nivel del sistema {área del proyecto + predio de compensación} (memoria de cálculo, Anexo).

Indicadores y seguimiento. Se verifican la **supervivencia de la planta** (meta **≥ 80 % al año 1** y ≥ 70 % acumulada), la **densidad establecida** (≥ 1,283 individuos·ha⁻¹), la **cabida cubierta** (85 % en el predio de compensación al año 7) y la **reposición de la mortandad** (100 % en los años 2–3), con muestreo en parcelas circulares de 100 m², seguimiento **no menor de siete años** y reporte al Programa de Vigilancia Ambiental (§IV.5). La **ejecución** corresponde al **promovente** y la **dirección técnica** a un **prestador de servicios técnicos forestales con Registro Forestal Nacional**.

Conclusión de eficacia. Los impactos residuales sobre el recurso forestal, el carbono, el agua y el suelo —los que la mitigación in situ no puede revertir— se compensan con la reforestación de una superficie mayor que la afectada, que restablece la cubierta y cierra los balances de los recursos por encima de la línea base; es la medida que garantiza que el sistema {proyecto + predio de compensación} no degrade la calidad ambiental, sino que la restituya.

Programa de manejo ambiental de la obra — medidas de prevención (P-1 a P-5)

Los impactos **reversibles y no significativos** que la obra y la operación añaden al entorno —las emisiones a la atmósfera, el ruido, la alteración del escurrimiento y del suelo, y la intrusión en el paisaje— no se atienden con compensación ni con un balance de escenarios, sino **previniéndolos en la fuente** mediante un **programa de buenas prácticas de obra**. Se trata de impactos que, a diferencia de la remoción de la cubierta, **sí admiten prevención**: buena parte de ellos puede evitarse o reducirse a un nivel imperceptible con disciplina operativa. Por eso ocupan el primer escalón de la jerarquía de mitigación —*evitar*— y se organizan en cinco medidas (P-1 a P-5), cada una dirigida a un vector de impacto y desarrollada a continuación con el detalle que corresponde a su nivel (N2): el impacto que previene, las acciones concretas que la integran, su indicador de verificación y la etapa en que opera.

P-1 · Control de emisiones a la atmósfera

El desmonte, el despalme, el movimiento de tierras y el tránsito de maquinaria pesada levantan **polvo** (material particulado) y liberan **gases de combustión**. El impacto es sensible porque la línea base del §IV.2 documenta un entorno con **PM2.5 media anual elevada**, de modo que cualquier aporte adicional se suma a una condición de partida desfavorable; es, sin embargo, un impacto **temporal y reversible**, ceñido a la obra.

El **polvo fugitivo** se previene con un paquete de buenas prácticas de eficacia reconocida (referencia US EPA e IFC): el **riego y la humectación** de las superficies desprovistas de cubierta y de los caminos de terracería —del orden de **1.0 a 1.6 L·m⁻²** por aplicación y, en el estiaje, hasta **dos aplicaciones por hora** por la alta evaporación—; el **desmonte por frentes**, que limita la superficie de suelo desnudo expuesta a la vez; el **cubrimiento con lonas del material suelto y de las cajas de los camiones** y la estabilización de los acopios; el **control de velocidad a 15 km·h⁻¹** en los caminos internos; **barreras cortaviento perimetrales** (reducen la velocidad del viento entre un 50 y un 80 %); y la **limpieza de las llantas y de las vías** de acceso. Las **emisiones de combustión** de los motores de la maquinaria y la flota se atienden con el **programa de mantenimiento preventivo (medida P-5)** y la **verificación vehicular vigente**, que mantienen la opacidad y los gases dentro de los límites de las **NOM-045-SEMARNAT-2017** (diésel) y **NOM-041-SEMARNAT-2015** (gasolina), complementados con la práctica de **evitar el ralentí** prolongado. Se verifica con el **porcentaje de riego programado ejecutado** y la **verificación vehicular vigente** de la maquinaria y la flota (bitácora de obra y comprobantes), durante la **preparación y la construcción**.

P-2 · Control de ruido y perturbación de la fauna

La operación de la maquinaria y los vehículos genera **ruido**, la principal forma de perturbación sobre la **fauna** del entorno —con especial cuidado en las especies de la **NOM-059-SEMARNAT-2010**—. El ruido es, además, el **agente de perturbación dominante del entorno**, con un alcance de 600 m que define el radio del Área de Influencia; y su umbral importa: la literatura documenta **respuestas de la fauna a partir de ~40 dB(A)** (Shannon et al., 2016), lo que justifica medidas **más allá del mero cumplimiento**.

Dos normas concurren sobre componentes distintos del ruido. El **patio de contenedores constituye una fuente fija** —una instalación establecida en un solo lugar con actividad de servicios—, por lo que el ruido que emite hacia el exterior a través de sus **colindancias** se rige por la **NOM-081-SEMARNAT-1994** (ruido de fuentes fijas; modificada en el DOF el 3 de diciembre de 2013): es la norma **central de la operación** y, por medirse en el lindero, la **más pertinente para la fauna** del entorno; su límite es el de las **zonas industriales y comerciales** —**68 dB(A) de día y 65 de noche**—, conforme al uso urbano-industrial que le asignan el ordenamiento ecológico (POETEC, UGA 45 y 49) y el programa de desarrollo urbano (Cap. II). Los **camiones y tractocamiones en circulación** se rigen, a su vez, por la **NOM-080-SEMARNAT-1994** (emisión de ruido del escape de vehículos en circulación). La **maquinaria pesada de la construcción está excluida** del ámbito de la NOM-080 y no existe una norma federal que fije un límite numérico a su ruido; éste se gestiona como fuente y actividad temporal bajo el criterio de la NOM-081 y la reglamentación municipal de Manzanillo.

El cumplimiento se articula con el **mantenimiento de los escapes y los silenciadores** de la maquinaria, el **control de los horarios de operación** (trabajo en horario diurno), la **cortina de arbolado perimetral** —la misma cortina rompevientos de M3— que actúa como **pantalla acústica** en la colindancia, y el **ahuyentamiento previo de la fauna** (las 51 especies del protocolo de M2), que aleja a los individuos móviles antes de que el ruido alcance su máximo; se suman el **control de velocidad** y la **inspección previa de nidos activos** y el anclaje del barrido de fauna al calendario de desmonte (Anexo B; Cap. VIII). Como buena práctica complementaria para no desorientar a la fauna nocturna, la **iluminación** de la obra emplea **luminarias apantalladas, dirigidas al suelo, de temperatura de color ≤ 3000 K** —ámbar en la interfaz con el hábitat—, a la mínima intensidad y con apagado programado (referencia de DarkSky International). Se verifica con **medición de ruido en la colindancia** (NOM-081), el mantenimiento documentado de la maquinaria y la bitácora de horarios, durante la **preparación, la construcción y la operación**.

P-3 · Manejo de agua y suelo en la obra

Mientras el suelo permanece expuesto, las lluvias pueden **movilizar sedimentos** y el tránsito de maquinaria **compactar** el suelo. Conviene precisar el marco que fija el Capítulo II: el proyecto **no incide en cuerpos de agua, cauce ni zona federal (0 ha de incidencia) y no descarga aguas residuales a bienes nacionales**, por lo que **no se actualizan la NOM-001-SEMARNAT-2021 ni la Ley de Aguas Nacionales**; la finalidad de

esta medida es precisamente **preservar esa condición de cero incidencia**, impidiendo que el sedimento y el escurrimiento del frente de obra alcancen el entorno.

Para ello, la medida aplica el principio de **minimizar la superficie y el tiempo de suelo expuesto** —desmonte por frentes con estabilización inmediata— e instala **barreras de limo (silt fences) sobre las curvas de nivel**, **trampas de sedimento o desarenadores temporales** y **diques derivadores** que separan el escurrimiento limpio de aguas arriba del agua sucia de la obra, reteniéndola y sedimentándola **dentro del predio** (criterio de referencia del orden de 250 m³ por hectárea perturbada). Contra la **compactación**, se **confina el tránsito** a los caminos definidos, se **despalma y acopia por separado el suelo orgánico** —que es, además, un residuo de manejo especial (§P-4)— y, al cierre, se **escarifica y descompacta** el suelo de las áreas no ocupadas para restituir su infiltración; los **taludes** se tienden a ≤ 3H:1V con **biomantas de control de erosión** hasta consolidar la cobertura, y las obras permanentes se rigen por el **Manual de la CONAFOR (2024)**. La **prevención de derrames de combustible o aceite** de la maquinaria sobre el suelo se atiende con contención en las áreas de manejo y atención inmediata, conforme a la **NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012**. Las aguas residuales sanitarias de la obra se manejan mediante **sanitarios portátiles retirados por un prestador autorizado**. Se verifica con la **superficie con control de sedimentos y con suelo escarificado**, durante la **construcción y el cierre**.

P-4 · Integración paisajística y manejo de residuos

La obra introduce en el paisaje elementos ajenos y genera **residuos** de tres orígenes: el **material vegetal del desmonte**, los **residuos de la construcción** y los **residuos peligrosos** de la maquinaria. En un entorno ya antropizado —urbano-portuario—, el impacto sobre el **paisaje** es moderado: la evaluación por **calidad y fragilidad visual y por capacidad de absorción visual** (Muñoz-Pedreros, 2004; Solari y Cazorla, 2009) sitúa a estos entornos en calidad baja-media y alta capacidad de absorción. El manejo del material del desmonte, en cambio, es sustantivo por su volumen.

El **material vegetal del desmonte —77.24 m³ de material maderable, 934 individuos arbóreos y 2,522 elementos no maderables**— y el **suelo de despalme (14,554.8 t)** son **residuos de manejo especial** sujetos a un **Plan de Manejo** conforme a la **NOM-161-SEMARNAT-2011**: se privilegia su **valorización**, triturando el material vegetal como **mulch** e incorporándolo al suelo —con un incremento de la recarga de **965 $m^3 \cdot año^{-1}$**—, sin recurrir a la quema; realimenta así la protección temporal del suelo de M3. Los **residuos peligrosos** de la maquinaria —los **10,756.6 L de aceites lubricantes gastados**, con estopas y filtros impregnados— se identifican y clasifican por sus características CRETIB conforme a la **NOM-052-SEMARNAT-2005**, se envasan y almacenan temporalmente en contención y se entregan a un prestador de servicios autorizado; un eventual derrame de hidrocarburos al suelo se atiende conforme a la **NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012**. Los **residuos sólidos urbanos** (6,240 kg en la construcción) se separan y disponen en el sitio municipal autorizado que cumple la **NOM-083-SEMARNAT-2003**. En el plano paisajístico, la medida **delimita los frentes de obra**, coloca **pantallas visuales**, restaura cromáticamente la infraestructura y habilita **1.0074 ha de áreas verdes y jardinería con especies nativas** de la selva baja caducifolia —que aprovechan el mulch del desmonte—. Se verifica con la **superficie restaurada y el volumen de residuos manejado por corriente**, durante **todas las etapas**.

P-5 · Mantenimiento preventivo de la maquinaria para el control de emisiones

Las emisiones de gases de combustión y de partículas de los motores diésel y de gasolina de la maquinaria y los vehículos de obra dependen **directamente de su estado mecánico**: un motor descalibrado, con los inyectores sucios o los filtros saturados, quema el combustible de forma incompleta y **multiplica** su opacidad y sus emisiones. Por eso el impacto sobre el **aire** —y, a través del consumo de combustible, sobre el **carbono**— no se controla solo en el uso (P-1), sino en la **condición** de los equipos. En un entorno cuya línea base de aire ya es desfavorable (§IV.2) y frente a las emisiones de gases de efecto invernadero cuantificadas para la etapa de construcción (Cap. I), mantener los equipos en su punto óptimo de operación es la vía más

eficaz —y más económica— de reducir el impacto atmosférico en la fuente. Es un impacto **temporal y reversible**, ligado a la operación de los equipos.

La medida es un **programa de mantenimiento preventivo de toda la maquinaria y la flota, ejecutado conforme a las especificaciones y los intervalos que señala el fabricante** de cada equipo —y no a la espera de la falla—. Su núcleo es respetar el **calendario de servicio por horas de operación** del manual de cada máquina: el **cambio de aceite y de los filtros** de aceite, aire y combustible en los intervalos indicados; la **limpieza y la calibración del sistema de inyección** (inyectores y bomba), que aseguran una combustión completa; el **ajuste de válvulas y la afinación** del motor; la **revisión del sistema de escape** —silenciadores y, cuando el equipo los incorpore, convertidor catalítico o filtro de partículas—, que reduce a la vez las emisiones y el ruido (en apoyo de P-2); y la verificación del turbocompresor y del sistema de admisión. La medida se apoya en el **uso del combustible y de los lubricantes que especifica el fabricante** y en llevar una **bitácora de mantenimiento por equipo** —horas de operación, intervenciones, refacciones y responsable—, que es a la vez su instrumento de control. Todo equipo que, pese al mantenimiento, no logre mantener sus emisiones dentro de norma se **repara o se sustituye** antes de reincorporarse a la obra.

El objetivo verificable es que la maquinaria pesada y los camiones a diésel mantengan su **opacidad dentro de los límites de la NOM-045-SEMARNAT-2017** y que los vehículos ligeros a gasolina cumplan la **NOM-041-SEMARNAT-2015**; el mantenimiento preventivo es lo que hace **sostenible en el tiempo** ese cumplimiento —la verificación vehicular comprueba el resultado, el mantenimiento lo garantiza—. Como beneficio colateral, un motor bien mantenido **consume menos combustible** —y con ello reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (Cap. I)— y **prolonga la vida útil** del equipo. Se verifica con el **porcentaje de equipos con su mantenimiento al día** conforme al calendario del fabricante y con los **registros de opacidad y emisiones** de la flota, mediante la bitácora de mantenimiento y los comprobantes de verificación, durante la **preparación y la construcción** (maquinaria) y la **operación** (flota de transporte).

Tabla 14. Programa de manejo ambiental de la obra — medidas de prevención.

Clave	Medida	Impacto que previene	Acciones principales	Indicador · etapa
P-1	Control de emisiones	Polvo y emisiones (aire · carbono)	Riego, cubrimiento de material y camiones, verificación vehicular	% de riego y de flota verificada · preparación–construcción
P-2	Control de ruido	Ruido y perturbación de fauna	Mantenimiento de escapes y silenciadores, horario diurno, cortina de arbolado perimetral (pantalla), ahuyentamiento (M2), iluminación apantallada	**NOM-081** (colindancia) y NOM-080 (vehículos); medición en el lindero · todas las etapas
P-3	Manejo de agua y suelo	Sedimentos y compactación (agua · suelo · relieve)	Drenaje y trampas de sedimento, tránsito confinado, escarificación, taludes	Superficie con control (ha · %) · construcción–cierre
P-4	Integración paisajística y residuos	Intrusión visual y residuos (paisaje · microclima)	Delimitación de frentes, retiro de residuos, áreas verdes (1.0074 ha), mulching	Superficie restaurada y residuos manejados · todas las etapas
P-5	Mantenimiento preventivo de la maquinaria	Emisiones de combustión (aire · carbono)	Servicio por horas conforme al fabricante (aceite, filtros, inyección, escape), combustible/lubricantes especificados, bitácora por equipo	% de equipos con mantenimiento al día; opacidad/emisiones NOM-045/041 · preparación–construcción y operación

Normas aplicables (criba del Capítulo II, Tabla II.11): emisiones vehiculares NOM-041-SEMARNAT-2015 y NOM-045-SEMARNAT-2017; ruido de vehículos en circulación NOM-080-SEMARNAT-1994; residuos NOM-

161-SEMARNAT-2011, NOM-052-SEMARNAT-2005 y NOM-083-SEMARNAT-2003; hidrocarburos en suelo NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012; fauna en riesgo NOM-059-SEMARNAT-2010. Se identifica además como aplicable la NOM-081-SEMARNAT-1994 (ruido de fuente fija, medido en la colindancia; norma central de la operación del patio), pendiente de incorporar a la vinculación del Capítulo II al actualizarlo tras el cierre del Capítulo IV. Referencias técnicas de buenas prácticas (no vinculantes): Manual de la CONAFOR (2024); US EPA e IFC (control de polvo y sedimentos); DarkSky International (iluminación); Shannon et al. (2016) y Muñoz-Pedreros (2004), para el sustento del binomio ruido-fauna y la evaluación del paisaje. La vigencia de cada norma se verifica en el DOF (Regla 13). Volúmenes de residuos, suelo de despalme y aceites: Capítulos I y IV (Anexos).

Monitoreo · Programa de Vigilancia Ambiental

El seguimiento **no es una categoría de medida**, sino el **Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)** que verifica el cumplimiento y la eficacia de todas las medidas (nivel de detalle N3, transversal):

- **Objetivo.** Verificar que cada medida se ejecute conforme a lo comprometido y alcance su meta de eficacia, y disparar las medidas correctivas cuando un indicador no se cumpla.

- **Alcance y contenido.** Integra los indicadores de todas las medidas —prendimiento y supervivencia (M1, C1), permanencia de la fauna (M2), integridad de las obras y azolve al cauce (M3) y los indicadores de las buenas prácticas (P-1 a P-5)— en un cuadro de supervisión por medida (indicador · meta · frecuencia · medio de verificación) que se desarrolla en §IV.5.

- **Momento de aplicación.** Durante la preparación, la construcción y la operación, con un seguimiento **no menor de siete años** en las medidas de restablecimiento de la cubierta.

- **Responsables.** La **ejecución** corresponde al **promovente** (titular de la autorización); la **dirección técnica**, a un **prestador de servicios técnicos forestales con Registro Forestal Nacional**; y la **supervisión ambiental**, a la persona que el promovente designe.

- **Indicador.** El **porcentaje de cumplimiento verificado** (meta 100 %), con reporte **semestral y anual** mediante los informes del Programa de Vigilancia Ambiental (§IV.5).

IV.4.2 Recuperación de la calidad ambiental

El objetivo último de las medidas no es solo *reducir* el impacto, sino **recuperar la calidad ambiental** que la línea base del §IV.2 documentó. Para los recursos sustantivos del artículo 93 —carbono, agua y suelo— esa recuperación es **cuantificable**, y se verifica en el sistema {área del proyecto + predio de compensación} a lo largo del horizonte comprometido: en cada caso, el indicador de calidad, disminuido por el impacto, se corrige **hasta la línea base o por encima**.

Tabla 15. Recuperación de la calidad ambiental por las medidas (recursos del artículo 93).

Componente	Indicador	Impacto del proyecto	Recuperación por las medidas	Resultado
Carbono	Stock (tC)	−234 (de 294 a 60)	Reforestación (C1): +542 → 602	**Recupera 231 %** (por encima de la línea base)
Agua	Recarga acumulada, 8 años (m^3)	−73,200	Mulch in situ (7,722) + reforestación (80,320) = 88,042	**Compensa 120 %** (margen +14,843)
Suelo — erosión eólica	Erosión ($t \cdot año^{-1}$)	+65.21 (incremento)	Medidas permanentes: 81.19 evitadas	**Recupera 124.5 %** (margen +15.98)

Componente	Indicador	Impacto del proyecto	Recuperación por las medidas	Resultado
Suelo — azolve al cauce	Azolve (t·año⁻¹)	0.209 (línea base)	Obras de conservación (M3) → 0.0	**Satisfactorio** (queda ≤ línea base)

Fuente: balances de suficiencia del artículo 93 (memoria de cálculo, Anexo); el físico del cambio de uso de suelo se toma del Estudio Técnico Justificativo (ETJ) del mismo predio.

El cuadro muestra que, recurso por recurso, la recuperación **excede** lo que el proyecto afecta: el carbono se restituye a más del doble de la línea base, y la recarga hídrica y la retención de suelo con un margen del 20 % y del 24.5 % por encima del impacto. No es, por tanto, una simple mitigación parcial, sino una **restitución con superávit**.

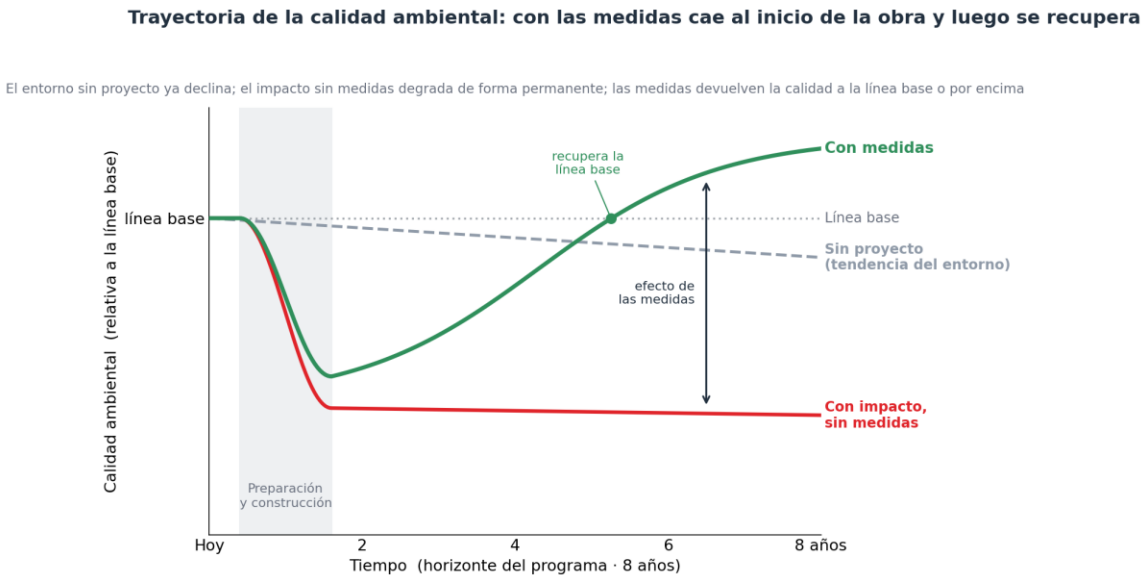


Figura 16. Trayectoria de la calidad ambiental en el tiempo: sin proyecto, con impacto y con medidas. El eje vertical expresa la calidad ambiental relativa a la línea base del §IV.2; el horizontal, el horizonte del programa (8 años). La banda gris marca la preparación y la construcción.

Fuente: elaboración propia; el desenlace (la calidad con medidas alcanza y supera la línea base) se sustenta en los balances de suficiencia del artículo 93 (memoria de cálculo, Anexo).

La figura sintetiza el argumento del capítulo en una sola trayectoria. **Sin proyecto**, la calidad del entorno —ya perturbado (§IV.2)— sigue su **tendencia de ligera decadencia**: la línea base no es un estado estacionario, sino el punto de partida de un medio que se degrada por sí mismo. Al iniciar la obra, la preparación y la construcción **deprimen** la calidad en los dos escenarios con proyecto; la diferencia está en lo que ocurre después. **Con el impacto y sin medidas**, la calidad permanece degradada de forma **permanente** —la remoción de la cubierta no se revierte sola—. **Con las medidas**, esa depresión inicial se **corrige**: el rescate y las obras amortiguan la caída y la reforestación la recupera progresivamente, hasta **cruzar la línea base** hacia el año cinco y **estabilizarse por encima** de ella al cierre del horizonte. La distancia vertical entre las dos curvas con proyecto es el **efecto neto de las medidas**.

Este desenlace no es una afirmación cualitativa: lo respaldan las cifras de la Tabla 15 —carbono al **231 %**, recarga al **120 %** y erosión eólica al **124.5 %** de lo afectado—. En los componentes **biológicos**, la recuperación es de la misma naturaleza aunque su métrica sea distinta: el rescate de **1,543 individuos de flora** (M1) y el protocolo sobre **51 especies de fauna** (M2) evitan la pérdida directa, y las **3.55 ha reforestadas** (C1) —superficie mayor que la del cambio de uso de suelo— restablecen de forma permanente el hábitat y la cubierta forestal. La conclusión que enmarca todo el capítulo es, por tanto, que **con la aplicación de las medidas la calidad ambiental definida en el §IV.2 no solo no se degrada, sino que el sistema {proyecto + predio de compensación} la restituye por encima de su estado previo**.

IV.5 Parámetros de verificación de cumplimiento y eficacia

La eficacia de la cartera de medidas no se afirma: se **verifica**. Para ello, cada medida lleva al menos un indicador **objetivo, verificable, medible y reproducible**, y que distingue dos planos: el **cumplimiento** —que la medida se ejecute conforme a lo comprometido (¿se hizo?)— y la **eficacia** —que alcance su resultado ambiental (¿funcionó?)—. Así, en la reforestación (C1) el cumplimiento se comprueba con la densidad de planta establecida y la eficacia con la supervivencia y la cobertura logradas; en las obras de conservación (M3), el cumplimiento con la superficie con obras y la eficacia con la reducción del azolve entregado al cauce.

Cada indicador se define con su **unidad**, su **línea base** —el punto de partida contra el que se mide el avance—, su **meta** —el valor que acredita el logro—, su **frecuencia** de medición y su **medio de verificación** documental. A ello se añade el elemento que cierra el sistema: un **umbral de alerta** que, de no alcanzarse, **dispara una medida correctiva** —reposición, refuerzo, reparación o ajuste—. Este encadenamiento —medir, comparar, corregir— convierte al programa en un instrumento de **mejora adaptativa**, y no en un mero registro de cumplimiento. Los métodos de cálculo de cada indicador se detallan en los anexos de los programas correspondientes (Anexos A a D).

La operación de estos parámetros corresponde al **Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)**, que mide cada indicador, lo compara con su meta y su umbral, y ordena las medidas correctivas a lo largo del **horizonte de al menos siete años** comprometido, con reporte periódico a la autoridad. La Figura 17 resume ese ciclo; la Tabla 16 concentra los parámetros de las nueve medidas.



Figura 17. Ciclo de vigilancia y mejora adaptativa de las medidas. El Programa de Vigilancia Ambiental mide cada indicador, lo compara con su línea base, su meta y su umbral de alerta y —de no alcanzarse el umbral— dispara la medida correctiva, repitiendo el ciclo durante el horizonte del programa.

Fuente: elaboración propia.

Sobre esa lógica de vigilancia, la Tabla 16 fija, para cada medida, su indicador y su plano (cumplimiento o eficacia), la unidad, el recorrido de la línea base a la meta, la frecuencia, el medio de verificación y el umbral que dispara la corrección.

Tabla 16. Parámetros de verificación de cumplimiento y eficacia por medida.

Medida	Indicador (plano)	Unidad	Línea base → meta	Frecuencia	Medio de verificación	Umbral de alerta → medida correctiva
M1	Supervivencia (prendimiento) de los individuos reubicados (eficacia)	%	0 % al plantar → **≥ 80 %** al año 1 (Anexo A)	Anual	Informe de monitoreo del rescate	< 80 % → **reposición** de individuos
M2	Cobertura del barrido y liberación en hábitat análogo (cumplimiento y eficacia)	%	0 → **100 %** del frente barrido; **mortalidad nula**; **100 %** liberados (Anexo B)	Por evento y anual	Bitácora de rescate e informe	Mortalidad > mínima o barrido < 100 % → **revisión del protocolo**
M3	Azolve entregado al cauce e integridad de las obras (eficacia)	$t \cdot año^{-1}$ · %	0.209 $t \cdot año^{-1}$ → **0.00** (≤ línea base); obras **≥ 90 %** funcionales (Anexo D)	Anual	Informe de supervisión de obras	Azolve > línea base o integridad < 90 % → **reparación** de obras
C1	Supervivencia, densidad y cabida cubierta de la reforestación (cumplimiento y eficacia)	% · $ind \cdot ha^{-1}$	Cobertura 15 % → **85 %** al año 7; supervivencia **≥ 80 %**; densidad **≥ 1,283** (Anexo C)	Anual	Informe de reforestación	Supervivencia < 80 % o desviación de cobertura > 10 % → **reposición** (100 % en años 2–3)
P-1	Cumplimiento del riego y verificación de la flota (cumplimiento)	% · nº	0 → riego programado **cumplido**; flota **verificada**	Mensual / por evento	Bitácora de obra y comprobantes	Polvo perceptible o incumplimiento → **refuerzo del riego**
P-2	Ruido perimetral y control de iluminación (eficacia)	dB(A)	Ruido de fondo del entorno → **≤ 68/65 dB(A)** (NOM-081, zona industrial) y vehículos ≤ NOM-080	Trimestral / por evento	Medición de ruido en la colindancia y bitácora	> límite → **mantenimiento**, ajuste de horarios o pantalla acústica
P-3	Superficie con control de sedimentos y suelo escarificado (cumplimiento)	ha · %	0 → sistema operando; suelos **escarificados** al cierre	Semestral	Informe de supervisión	Arrastre de sedimento o falla → **reparación** del control
P-4	Superficie restaurada y áreas verdes establecidas (cumplimiento)	ha · %	0 → frentes delimitados; **1.0074 ha** de áreas verdes	Anual	Informe de supervisión y de áreas verdes	Incumplimiento → **corrección** de la restauración

Medida	Indicador (plano)	Unidad	Línea base → meta	Frecuencia	Medio de verificación	Umbral de alerta → medida correctiva
P-5	Equipos con mantenimiento al día y opacidad de la maquinaria (cumplimiento y eficacia)	%	0 → **100 %** de equipos al día; opacidad ≤ NOM-045/041	Por horas de operación y verificación	Bitácora de mantenimiento y comprobantes	Opacidad > límite o mantenimiento vencido → **afinación o reparación**
Seguimiento (PVA)	Informes de supervisión y cumplimiento verificado (cumplimiento)	nº · %	0 → **100 %** de cumplimiento verificado	Semestral / anual	Informes del Programa de Vigilancia Ambiental	< 100 % → **medidas correctivas** por medida

Fuente: cartera de medidas del proyecto; líneas base, metas y umbrales de los programas de rescate de flora (Anexo A), de fauna (Anexo B), de reforestación (Anexo C) y de obras de conservación de suelo y agua (Anexo D). Límites de ruido: NOM-080 y NOM-081-SEMARNAT-1994; de emisiones vehiculares: NOM-045 y NOM-041-SEMARNAT.

IV.6 Análisis de impactos significativos, acumulativos, sinérgicos y residuales

El análisis que sigue no se limita a enumerar los impactos: los **jerarquiza por su significancia**, rastrea los que se **encadenan y se acumulan** y —sobre todo— demuestra cómo cada uno **se cierra con una medida**. El marco metodológico es el que ordena todo el capítulo (§IV.1): la valoración de **Conesa Fernández-Vítora (1997)** para la significancia, las **redes de Sorensen (1971)** para las cadenas causa-efecto y los criterios de significancia consolidados en la literatura de evaluación de impacto ambiental (**Canter, 1998; Gómez Orea, 2002**).

IV.6.1 Impactos significativos

De las 98 interacciones adversas, **catorce alcanzan el umbral de significancia** (valor absoluto de la Importancia ≥ 50), todas de clase Severo y todas concentradas en la **preparación del sitio** (Tabla 17). Un impacto no es significativo solo por su valor numérico: lo es cuando concurren en él varios de los **criterios de significancia** que reconoce la literatura (Canter, 1998; Conesa, 1997; Gómez Orea, 2002) —el criterio **ecológico** (afecta especies en la NOM-059 y su hábitat), el de **irreversibilidad** (la remoción no se revierte por sí sola), el de **extensión** (el servicio trasciende el polígono) y los de **sinergia** y **acumulación** (el efecto se refuerza y crece en el tiempo)—. Los catorce significativos del proyecto cumplen varios de esos criterios a la vez, y por eso se concentran justamente en los servicios que el estándar sustantivo del artículo 93 de la LGDFS obliga a conservar —agua, suelo, carbono, recursos forestales, flora y fauna—, todos desencadenados por las dos acciones de desmonte (derribo y despalme).

Tabla 17. Impactos significativos, su Importancia y su medida asociada.

Factor	Clave	Importancia *I*	Justificación de la significancia	Medida
Agua	IMP-025, IMP-080	**−58**	Pérdida de ~75 % de la recarga del acuífero; servicio que trasciende el polígono (extensión parcial) y se refuerza con la pérdida de suelo (sinérgico)	M3 · C1
Suelo	IMP-024, IMP-079	**−56**	Multiplicación de la erosión hídrica y eólica; el sedimento alcanza el cauce (extensión parcial) y la erosión es progresiva mientras el suelo queda expuesto (acumulativa)	M3 · C1
Carbono/servicios	IMP-031, IMP-086	**−53**	Pérdida de ~80 % del stock de carbono almacenado; servicio de alcance regional	C1

Factor	Clave	Importancia *I*	Justificación de la significancia	Medida
			(extensión parcial), derivado de la remoción (sinérgico)	
Recursos forestales	IMP-023, IMP-078	**−52**	Remoción total del arbolado en pie del predio; pérdida irreversible del volumen forestal maderable y no maderable	C1
Flora	IMP-029, IMP-084	**−50**	Remoción de la cubierta vegetal con pérdida de individuos de especies en categoría de riesgo y endémicas; pérdida no reversible por sí sola	M1 · C1
Fauna	IMP-030, IMP-085	**−50**	Pérdida de hábitat de la fauna, con cinco especies en la NOM-059 —tres reptiles endémicos de lento desplazamiento que no huyen—, cuya pérdida no es reversible	M2 · C1
Suelo (extracción, tránsito)	IMP-068, IMP-090	**−50**	Erosión progresiva del suelo expuesto por la extracción de material y el tránsito de maquinaria	M3 · C1

Fuente: matriz de evaluación de impactos por el método de Conesa Fernández-Vítora (1997); memoria de cálculo (Anexo).

El análisis se cierra, para cada impacto significativo, con la medida que lo atiende, y conforme a la **jerarquía de mitigación** —evitar → minimizar → restaurar → compensar— (Gómez Orea, 2002). Como la remoción de la cubierta es la esencia del cambio de uso de suelo autorizado y no puede *evitarse* sin cancelar el proyecto, la cartera se concentra en los escalones siguientes: **minimizar** el daño con el rescate previo de la flora (M1) y de la fauna (M2) —que salva el material biológico y mejora su recuperabilidad— y con las obras de conservación de suelo y agua (M3) —que cortan la erosión y el azolve—, y **compensar** lo que no puede recuperarse in situ con la reforestación del predio de compensación (C1). Cada medida ataca el atributo que la vuelve eficaz: el rescate y las obras elevan la **recuperabilidad** del impacto, y la reforestación **restaura** el servicio en otra superficie. Se cumple así la regla de cierre —**cada impacto significativo cuenta con al menos una medida**— y en todos los casos con una de mitigación o compensación, no solo de compensación.

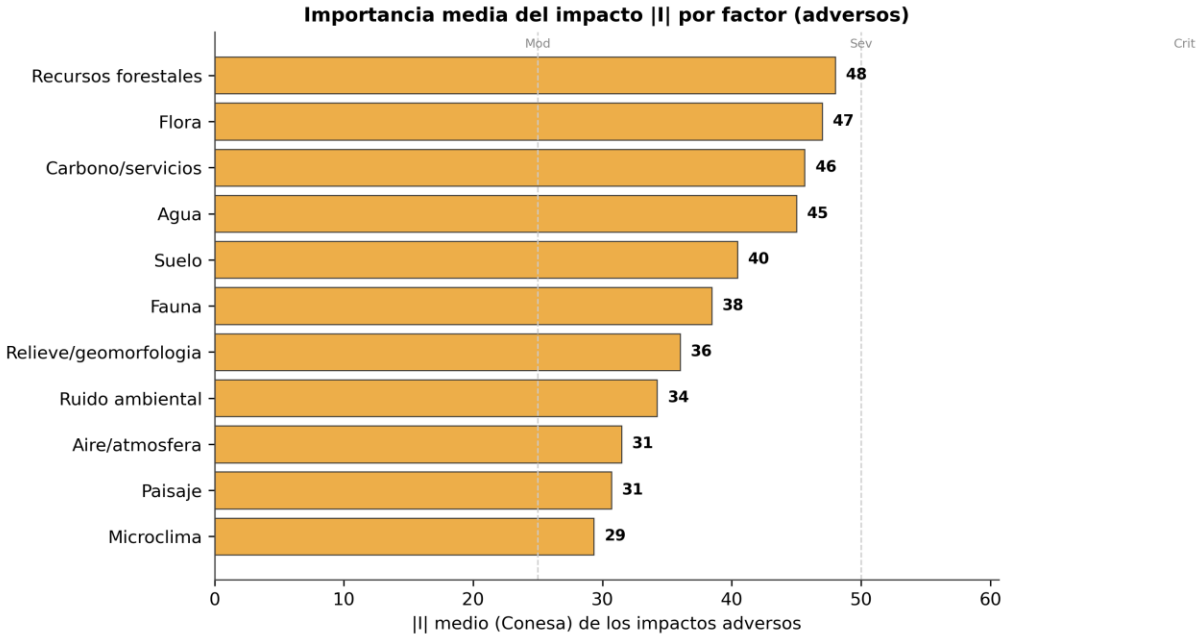


Figura 18. Importancia de los impactos por factor ambiental. Los impactos significativos se concentran en los factores ligados al artículo 93 —agua, suelo, carbono, recursos forestales, flora y fauna—; en el aire, el ruido, el relieve y el paisaje no se alcanza el umbral de significancia.

Fuente: matriz de evaluación de impactos (Conesa, 1997; memoria de cálculo, Anexo).

La figura hace visible la **asimetría de la valoración**: la remoción de la cubierta vegetal no reparte su efecto de manera uniforme, sino que lo concentra en los servicios ambientales sustantivos —que son, precisamente, los que las medidas deben conservar—. Esa concentración es la que orienta el diseño de la cartera hacia el rescate, las obras de conservación y la reforestación.

IV.6.2 Impactos acumulativos

Un impacto es **acumulativo** cuando el efecto del proyecto **se suma al de otras acciones —pasadas, presentes o razonablemente previsibles— sobre el mismo recurso y en el mismo territorio** (Canter, 1998; Gómez Orea, 2002). La literatura advierte dos cosas sobre este tipo de impacto: que **no se evalúa —ni se resuelve— a la escala del sitio**, sino a la de la unidad territorial que lo acumula —aquí, la microcuenca de la Región Ecológica—, y que su valoración parte del estado **real** del medio, no de uno prístino. La línea base (§IV.2) documenta ese estado: una Región Ecológica donde la expansión urbano-portuaria ya ocupa el **26.21 %** de la superficie, la actividad agropecuaria el **8.23 %** y donde el riesgo de deforestación es alto o muy alto en el **43.04 %** del territorio. Sobre ese fondo, el impacto acumulativo del proyecto es la **pérdida adicional de 3.4097 ha de cubierta forestal**, que se añade a una tendencia regional de deforestación ya documentada.

Porque opera a **escala de paisaje**, un impacto acumulativo **no puede mitigarse solo dentro de la huella del proyecto**: exige una medida que actúe sobre la misma unidad territorial que lo acumula. Ésa es, precisamente, la función de la **compensación ex situ**: la reforestación de **3.55 ha en el predio de compensación** —superficie **mayor** que la afectada (3.4097 ha) y en la misma microcuenca—, con especies nativas de selva baja caducifolia, no solo resarce la pérdida propia del proyecto, sino que **añade cubierta forestal neta al territorio**, contribuyendo a **revertir —en la superficie que compensa— la tendencia regional** que lo precede. A ello se suma la **mitigación in situ** dentro del propio predio —la revegetación de **0.79 ha** de áreas verdes con especies nativas y la cortina de arbolado perimetral—, que reduce todavía más la huella neta del proyecto sobre la cubierta de la microcuenca. La combinación **in situ + ex situ** convierte el aporte del proyecto a la tendencia acumulativa de negativo a **positivo neto**: el sistema {Área del Proyecto + predio de compensación} deja en la microcuenca más cubierta forestal de la que remueve. Con ello se cumple el criterio que la literatura fija para la mitigación de un impacto acumulativo —la **no pérdida neta** (Canter, 1998; Gómez Orea, 2002)—: en la superficie que compensa, el territorio no queda por debajo, sino **igual o por encima**, de la cubierta que tendría en el escenario **sin el proyecto**.

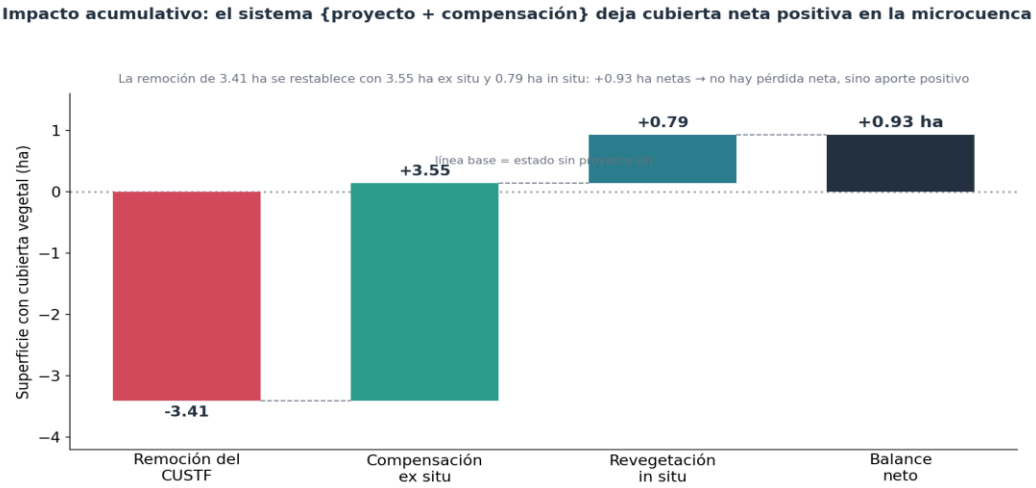


Figura 19. Balance de superficie con cubierta vegetal en la microcuenca por el proyecto. La remoción del CUSTF (−3.4097 ha) se restablece con la compensación ex situ (+3.55 ha) y la revegetación in situ (+0.79 ha), con un balance neto de +0.93 ha: el sistema {Área del Proyecto + predio de compensación} no deja pérdida neta, sino aporte positivo de cubierta.

Fuente: superficie del CUSTF (Anexo cartográfico) y programa de reforestación —compensación ex situ y revegetación in situ— (Anexo C). Elaboración propia.

El balance es la prueba gráfica de la no pérdida neta: aunque el proyecto remueve 3.4097 ha de cubierta forestal, la compensación ex situ (3.55 ha) por sí sola ya restituye más de lo removido, y la revegetación in situ (0.79 ha) añade un excedente. El resultado —**+0.93 ha netas**— sitúa a la microcuenca **por encima** del estado que tendría sin el proyecto y, en la superficie que compensa, revierte la tendencia regional de pérdida de cubierta en lugar de sumarse a ella. Ése es el modo en que un impacto acumulativo, que opera a escala de paisaje, se mitiga a esa misma escala.

IV.6.3 Impactos sinérgicos

La sinergia y la acumulación no se evalúan como impactos aparte: son **atributos de la valoración** —los factores SI (sinergia) y AC (acumulación) de Conesa (1997)—, que la literatura define como la **potenciación de un efecto por la concurrencia de otros**, y que se identifican trazando las **cadenas causa-efecto** de las redes de Sorensen (1971). En este proyecto, la concurrencia se explica por una sola **cascada**: la remoción de la cubierta vegetal —impacto primario sobre la flora y el arbolado— **expone el suelo**, que se erosiona; la erosión **reduce la infiltración** y, con ella, la recarga del acuífero; y la misma remoción **libera el carbono** almacenado (Figura 20). Por eso los impactos sobre el suelo, el agua y el carbono llevan el atributo de **sinergia** —se refuerzan entre sí— y el del suelo, además, el de **acumulación** —la erosión crece mientras dura la exposición—.

El tratamiento que la literatura recomienda para un impacto sinérgico es **actuar sobre la causa común** antes que sobre cada efecto derivado por separado, porque neutralizar la raíz atenúa toda la cadena de una sola vez (Gómez Orea, 2002). La cartera del proyecto sigue ese principio en sus dos planos. **In situ**, el **rescate previo** de la flora (M1) y la fauna (M2) sustrae el material biológico antes de que la remoción lo pierda; las **obras de conservación, el mulching y la cortina rompevientos** protegen el suelo expuesto —el segundo eslabón de la cascada—; y la **revegetación de las áreas verdes** reinicia la cubierta dentro del predio. **Ex situ**, la **reforestación del predio de compensación (C1)** ataca la raíz de la sinergia en su forma más completa: al restablecer la cubierta forestal, recupera **simultáneamente** el suelo que ésta protege, el agua que infiltra y el carbono que fija. Ésa es la razón de que la reforestación sea la medida de mayor alcance del capítulo: no atiende un solo factor, sino toda la cadena de efectos que la cubierta encadena. **La medida más eficaz es la que ataca la raíz de la sinergia, no sus ramas.**

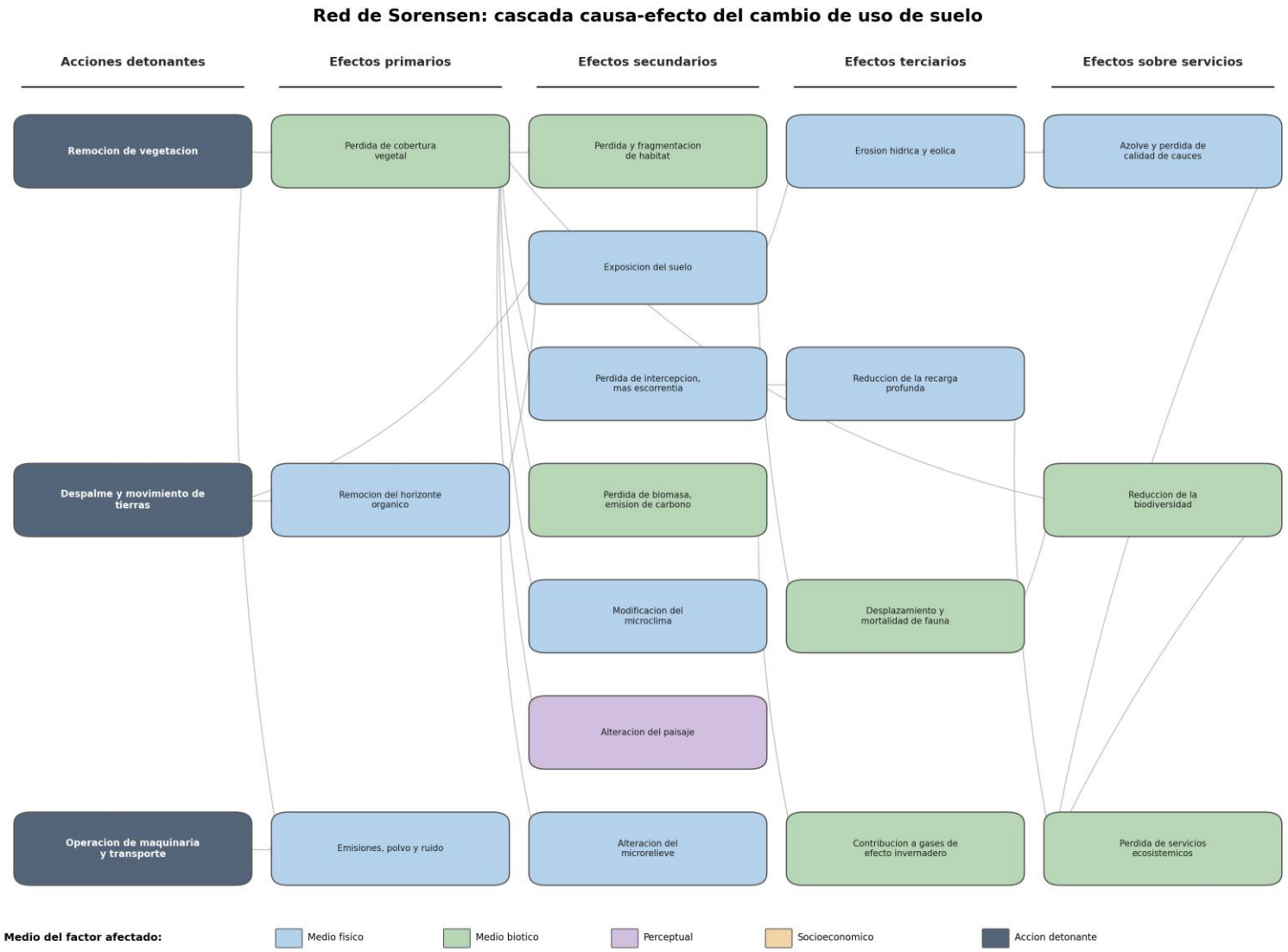


Figura 20. Red de Sorensen: cascada causa-efecto del cambio de uso de suelo. La remoción de la cubierta vegetal (efecto primario) desencadena los efectos derivados sobre el suelo, el agua y el carbono.

Fuente: red de cadenas causa-efecto (Sorensen, 1971; memoria de cálculo, Anexo).

La cascada explica por qué los impactos sobre el suelo, el agua y el carbono no son efectos independientes, sino consecuencias encadenadas de un mismo impacto primario; y por eso, actuar sobre la causa —restablecer la cubierta— atenúa toda la cadena de efectos derivados, que es el principio que ordena la cartera de medidas. Y porque la cadena se recupera desde su raíz, los servicios encadenados —suelo, agua y carbono— se restituyen hasta la línea base **sin el proyecto** o por encima de ella, como demuestran los balances del §IV.6.5.

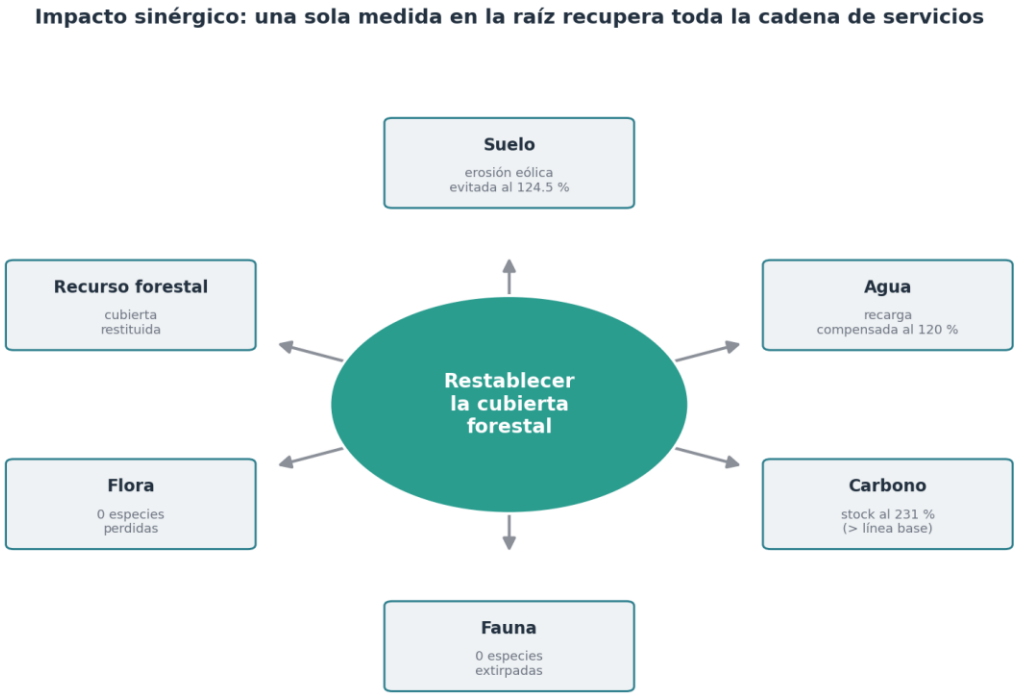


Figura 21. Una sola medida en la raíz recupera toda la cadena de servicios. Al restablecer la cubierta forestal —mediante la reforestación (C1, ex situ) y la revegetación y la cortina rompevientos (in situ), reforzadas por las obras de conservación (M3) para la retención del suelo— se recuperan simultáneamente los servicios encadenados: la erosión eólica evitada al 124.5 %, la recarga compensada al 120 %, el stock de carbono al 231 % (por encima de la línea base) y el hábitat de flora y fauna sin pérdida de especies.

Fuente: balances de los escenarios de erosión eólica, recarga y carbono, y veredictos de los programas de rescate de flora y fauna (memorias de cálculo, Anexos A a D). Elaboración propia.

La figura ilustra por qué la reforestación es la medida de mayor alcance del capítulo: no atiende un factor aislado, sino la **raíz** de la cascada. Cada valor del diagrama —todos iguales o superiores al 100 %, o en la línea base para flora y fauna— confirma que actuar sobre la cubierta conduce cada servicio encadenado **hasta o por encima de la línea base sin proyecto**. Ésa es la lógica que ordena la cartera: una intervención en la causa común rinde más que varias intervenciones dispersas sobre cada efecto derivado.

IV.6.4 Impactos residuales

Tras aplicar las medidas se **recalcula la Importancia** de cada impacto significativo siguiendo la regla metodológica de Conesa (1997): se modifican **solo los atributos que la medida efectivamente altera** —la recuperabilidad (MC) y, cuando la medida restaura, la persistencia (PE)—, y **nunca la naturaleza, la intensidad ni la extensión**, que son propias del impacto y no de su tratamiento. El impacto **residual** —lo que subsiste tras la mitigación— es la prueba objetiva de la eficacia de las medidas (Tabla 18).

Tabla 18. Distribución de la significancia antes y después de las medidas.

Clase	Sin medidas	Residual (con medidas)
Compatible	4	4
Moderado	80	88
Severo	**14**	**6**
Crítico	0	0

Fuente: recálculo de la Importancia residual por el método de Conesa (1997); memoria de cálculo (Anexo).

Ocho de los catorce impactos significativos descienden a la clase Moderado: los de flora y fauna, por el rescate previo (M1, M2) que salva los individuos y eleva la recuperabilidad; los del recurso forestal, por la reforestación (C1) que restablece la cubierta; y los de suelo de menor intensidad —extracción y tránsito—, por las obras de conservación (M3). **Seis persisten como significativos residuales** —los dos del **agua** (−56), los dos de mayor intensidad sobre el **suelo** (−54) y los dos sobre el **carbono** (−51)—.

Que seis impactos persistan como residuales no es una falla del análisis: es el punto exacto en el que la **jerarquía de mitigación** —evitar → minimizar → restaurar → compensar— (Gómez Orea, 2002; Canter, 1998) alcanza su último escalón. La literatura es clara al respecto: los impactos que la prevención y la mitigación **in situ** no logran recuperar —porque el predio se destina de forma permanente a la obra— deben cerrarse con **compensación**. Y ésa es exactamente la relación entre los dos planos de la cartera: la **mitigación in situ** —el rescate, las obras de conservación, el mulching, la cortina rompevientos y la revegetación de las áreas verdes— **reduce** el impacto, y por ella ocho de los catorce descienden a Moderado; pero **no puede restituir, sobre un predio construido, los servicios hídrico, edáfico y de carbono**, de modo que el residual se cierra **ex situ**, con la **reforestación del predio de compensación (C1)**, que restablece **en otra superficie, mayor que la afectada y de forma permanente**, el servicio que el Área del Proyecto pierde. El residual no queda sin atender: **la mitigación in situ lo reduce y la compensación ex situ lo cierra.**

El criterio que ordena todo el sistema es el que la literatura fija para la mitigación y la compensación: **reducir el impacto y, en los recursos sustantivos, restituir el servicio hasta la línea base sin proyecto o por encima** (Gómez Orea, 2002; Canter, 1998). Los balances del §IV.6.5 demuestran que ese criterio se cumple: el azolve entregado al cauce queda **por debajo** de la línea base (0.00 frente a 0.209 t·año^{-1}), la recarga se restituye **por encima** de la perdida (88,042 frente a 73,200 m³) y el stock de carbono **supera** el de la línea base (601.89 frente a 294.2 tC). La trayectoria de la calidad ambiental (Figura 16) resume ese resultado: cada indicador, deprimido por el impacto, es devuelto por las medidas al menos hasta el estado que el territorio tendría **sin el proyecto**.

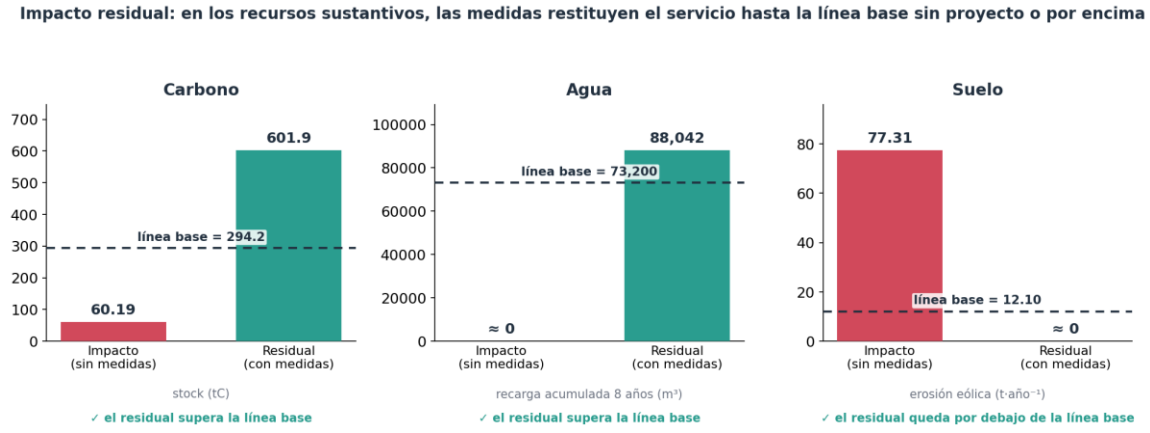


Figura 22. El impacto residual, por recurso sustantivo, frente a la línea base sin proyecto. En el carbono y el agua —recursos donde "más es mejor"— el residual con medidas supera la línea base (601.9 > 294.2 tC; 88,042 > 73,200 m^3); en el suelo —donde "menos es mejor"— la erosión eólica residual queda por debajo de ella (≈ 0 < 12.10 t·año^{-1}). En los tres, el residual alcanza o rebasa el estado que el territorio tendría sin el proyecto.

Fuente: escenarios de stock de carbono, recarga hídrica acumulada y erosión eólica (memorias de cálculo, Anexos). Elaboración propia.

La figura traduce a cifras la última frase de la jerarquía de mitigación. Aunque en el índice de Conesa seis impactos persisten como severos residuales, el gráfico muestra que —medido sobre el recurso mismo— el residual no deja al territorio por debajo de su estado sin proyecto: la compensación ex situ restituye el carbono y la recarga **por encima** de la línea base, y la mitigación in situ mantiene la erosión eólica **por debajo** de ella. La persistencia en el índice refleja la **intensidad y la extensión** del impacto —atributos propios del hecho de remover la cubierta, que ninguna medida borra—, no una recuperación incompleta del servicio: por eso el impacto se clasifica aún como significativo residual y, a la vez, el recurso queda restituido. Es precisamente esa distinción la que justifica que la compensación sea permanente y de superficie mayor que la afectada.

IV.6.5 Resumen ejecutivo del análisis

El proyecto genera 98 impactos adversos, de los cuales 14 son significativos y, tras las medidas, 6 persisten como residuales, todos sobre los servicios hídrico, edáfico y de carbono. La viabilidad ambiental del cambio de uso de suelo no descansa en negar esos impactos, sino en demostrar que **el sistema {Área del Proyecto + predio de compensación} conserva los servicios ambientales sustantivos** que exige el artículo 93 de la LGDFS. El balance de los tres recursos así lo confirma:

- **Suelo.** El azolve entregado al cauce con las medidas (Esc 3 = 0.0 ton·año⁻¹) es inferior al de la línea base (0.209 ton·año⁻¹): el balance de sedimento es **satisfactorio**. En la erosión eólica, las medidas permanentes aportan una ganancia de 81.19 ton·año⁻¹ frente a un incremento de 65.21, es decir, **cubren el 124.5 %** del impacto.

- **Agua.** La recarga que el Área del Proyecto deja de aportar suma 73,200 m³ en el horizonte de ocho años; la recuperación acumulada por las medidas asciende a 88,042 m³, de modo que el servicio de recarga queda **compensado, con un margen de 14,843 m³**.

- **Carbono.** El stock perdido (234 tC) se recupera con la reforestación: el sistema alcanza un stock de 601.89 tC, **superior al de la línea base** (294.2 tC).

En los tres casos sustantivos, el proyecto **cumple** el estándar de suficiencia del artículo 93. El detalle por escenario se desarrolla, junto con la valoración económica de las medidas, en los apartados siguientes.

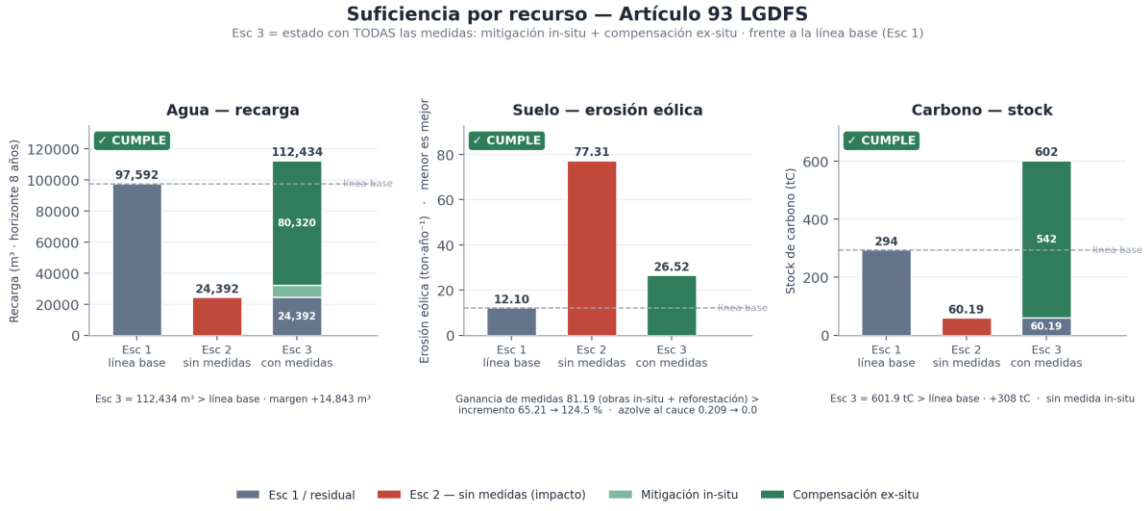


Figura 23. Suficiencia por recurso — artículo 93 LGDFS. En cada recurso sustantivo, el estado con todas las medidas (Esc 3 = mitigación in situ + compensación ex situ) supera la línea base —agua y carbono— o cumple el balance exigido —suelo—.

Fuente: balances de suficiencia por recurso, artículo 93 de la LGDFS (memoria de cálculo, Anexo).

La figura sintetiza la tesis del capítulo: el proyecto genera impactos reales y significativos sobre los servicios hídrico, edáfico y de carbono, pero el sistema {Área del Proyecto + predio de compensación} los compensa

—con margen en agua y carbono, un balance de sedimento satisfactorio y una ganancia del 124.5 % en la erosión eólica del suelo—.

IV.7 Delimitación del Área de Influencia del proyecto

El Área de Influencia (AI) del proyecto es el **entorno dentro del cual sus impactos se manifiestan con intensidad relevante**. No es una geometría arbitraria ni un radio administrativo: se delimitó con un **procedimiento determinista, paramétrico y reproducible**, documentado en el **Anexo E**, que da contenido al concepto de área de influencia de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (artículo 28) y su Reglamento en materia de Evaluación del Impacto Ambiental (artículos 5, 12 y 13), los cuales exigen caracterizar el entorno del proyecto sin prescribir un algoritmo para delimitarlo. El AI se forma de **dos componentes que se unen geométricamente**: un **buffer radial** alrededor del polígono del proyecto y una **franja de depósito de azolve** a lo largo del cauce receptor. La Figura 24 resume ambos.

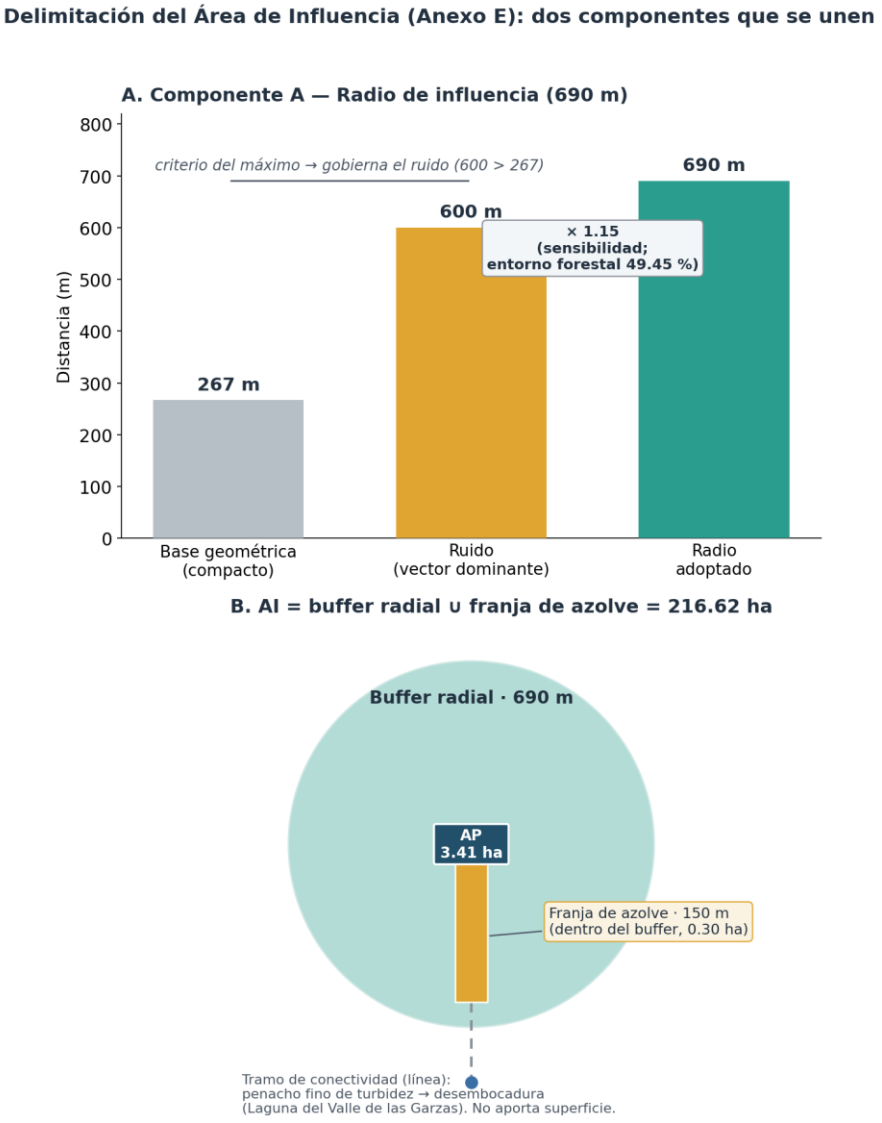


Figura 24. Delimitación del Área de Influencia: composición del radio y unión de los dos componentes. El radio del buffer resulta del criterio del máximo entre la base geométrica (267 m) y el alcance del proceso físico dominante —el ruido (600 m)—, multiplicado por el factor de sensibilidad del entorno (1.15); la franja de depósito de azolve queda contenida dentro del buffer, de modo que el Área de Influencia es de 216.62 ha.

Fuente: procedimiento de delimitación del Área de Influencia (Anexo E). Elaboración propia.

El **Componente A (radio de influencia)** dimensiona el buffer a partir de tres términos: una **base geométrica** por la forma y el tamaño del polígono, el **alcance del proceso físico dominante** y un **factor de sensibilidad** del entorno receptor. El polígono del proyecto es de tipología **compacta** (elongación 2.05), lo que fija una base geométrica de **267 m**; pero el radio se rige por el **criterio del máximo** —nunca queda por debajo del alcance del proceso físico que más lejos llega—, que aquí es el **ruido**, con un alcance de **600 m** por la atenuación geométrica de la maquinaria pesada a plena carga. Ese alcance se multiplica por el **factor de sensibilidad del entorno** —**1.15**, correspondiente a una cobertura forestal del entorno de **49.45 %** (categoría media)—, de modo que el radio adoptado es 600 × 1.15 = **690 m**, acotado al rango [200, 2000] m y redondeado a 10 m. El factor de sensibilidad tiene fundamento ecológico: un entorno con hábitat continuo propaga más lejos el efecto de borde, y por eso el multiplicador crece con la cobertura forestal del entorno.

El **Componente B (franja de depósito de azolve)** reconoce que el sedimento grueso desplazado por la obra se deposita **aguas abajo**, donde la capacidad de transporte del cauce decae. Su longitud no se postula: **emerge de la pendiente real** del cauce receptor, que es el proxy directo del esfuerzo cortante de fondo y de la capacidad de transporte de sedimento (Shields, 1936; Meyer-Peter y Müller, 1948; Bagnold, 1966), con los regímenes morfológicos de Montgomery y Buffington (1997). El cauce receptor es de **orden 4** y su tramo proximal tiene una pendiente de **0.40 %** —régimen bajo—, al que corresponde una **distancia de depósito de 150 m**; el margen de esa franja se toma de la **zona federal** de la Ley de Aguas Nacionales (artículo 3, fracción XLVII), inferido del orden de Strahler en 10 m por lado. La franja resultante aporta **0.30 ha**. Más allá del depósito, el cauce se representa únicamente como **línea de conectividad** —el penacho fino de turbidez que llega a la desembocadura, la Laguna del Valle de las Garzas—, que es un asunto de calidad del agua y no de azolve, y por eso **no aporta superficie** al Área de Influencia.

Como la franja de depósito (150 m, 0.30 ha) queda **íntegramente dentro** del buffer radial de 690 m, la unión de ambos componentes **no agrega superficie**: el **Área de Influencia del proyecto es de 216.62 ha**, leída del atributo del shapefile resultante. Este criterio —depósito por pendiente— corrige de forma deliberada un método alternativo que extendía el corredor de azolve hasta la desembocadura por orden de Strahler y que, aplicado a este proyecto, producía un corredor irreal de 3 km y un Área de Influencia de 221.22 ha; el criterio físico lo acota a las 216.62 ha reales (Anexo E, §5.5).

Delimitada así, el Área de Influencia ordena la escala a la que se manifiesta cada impacto: los que actúan por **contacto directo** se agotan en el Área del Proyecto; los **difusos** alcanzan el Área de Influencia; y los **servicios** se expresan a escala de la Región Ecológica. La Tabla 19 detalla esa correspondencia.

Tabla 19. Extensión de los impactos por factor ambiental y escala alcanzada.

Escala alcanzada	Factores ambientales	Extensión del impacto
Área del Proyecto (contacto)	Recursos forestales · Suelo · Flora · Relieve	Puntual — confinada al polígono de 3.41 ha
Área de Influencia (difuso)	Ruido ambiental · Aire/atmósfera · Fauna	Parcial a extensa — hasta el radio de 690 m (vector dominante: ruido, 600 m)
Región Ecológica (regional)	Agua · Carbono/servicios	Regional — servicios de la microcuenca y del clima

Fuente: delimitación del Área de Influencia (Anexo E); escala por factor conforme a la caracterización del Capítulo III.

Conviene subrayar una consecuencia de esta delimitación: los servicios **hídrico y de carbono** se manifiestan **más allá del Área de Influencia**, a escala de la Región Ecológica. Su afectación no se resuelve dentro del radio de 690 m, sino a la escala en que se produce —la de la microcuenca—, que es precisamente donde actúa la **compensación** (§IV.6.2): el predio de compensación restituye esos servicios en la misma unidad territorial que los acumula. La delimitación del Área de Influencia y la escala de la medida de compensación son, por eso, coherentes entre sí.

El polígono del Área de Influencia se representa georreferenciado en el **plano del Anexo E (Figura E.5)**, en UTM WGS 84, Zona 13 Norte (EPSG:32613), a escala 1:15 000 y renderizado desde los shapefiles del

proyecto; es **congruente con la delimitación de la Región Ecológica** del Capítulo III, dentro de cuya microcuenca y entorno —predominantemente urbano-portuario y de pastizal inducido— queda inscrito.

IV.8 Medidas de compensación y/o restauración ambiental

La medida de compensación del proyecto es la **reforestación del predio de compensación (C1)**: el escalón final de la jerarquía de mitigación —evitar → minimizar → restaurar → **compensar**—, que restablece **en una superficie distinta a la intervenida** la cubierta forestal y los servicios ambientales que el Área del Proyecto pierde. Atiende a los impactos residuales significativos sobre el agua, el suelo y el carbono, y a los del arbolado y la flora (§IV.6.4). Su ejecución técnica se detalla en el **Anexo C**.

La compensación se realiza sobre una **parcela ejidal en Nuevo Cuyutlán, de 3.55 ha**, que —junto con las 0.79 ha de revegetación in situ dentro del predio del proyecto— integra un programa de reforestación de **4.34 ha** con vegetación de **selva baja caducifolia (SBC) nativa**, a una densidad de **1,283 individuos por hectárea** en arreglo a tresbolillo, para un total de **5,568 individuos** (4,555 en la compensación y 1,013 en la mitigación). La planta procede, de forma prioritaria, del **rescate de flora** del propio predio (Anexo A) y de producción de vivero local de la misma procedencia.

Tabla 20. Medidas de compensación y restauración.

Descripción, objetivos, alcances, periodicidad y plazo	Ubicación	Parámetros de verificación (indicadores y unidades)
Reforestación/restauración del predio de compensación (C1). Establecimiento de SBC nativa (1,283 ind·ha⁻¹; 5,568 individuos) para restablecer la cubierta, el stock de carbono, la captación de agua y la retención de suelo. Periodicidad: mantenimiento y reposición durante el plazo de **≥ 7 años**.	Parcela ejidal, Nuevo Cuyutlán (**3.55 ha** ex situ) + 0.79 ha in situ; polígono georreferenciado por cuadro de construcción (Anexo C)	Supervivencia de la planta (**≥ 80 %**, año 1); densidad lograda (**≥ 1,283 ind·ha⁻¹**); cabida cubierta (**85 %**, año 7)

Fuente: programa de reforestación y restauración del predio de compensación (Anexo C).

Justificación de la equivalencia. La compensación es equivalente al impacto en tres planos que se refuerzan entre sí.

En superficie, las **3.55 ha** compensadas superan las **3.41 ha** afectadas por el cambio de uso de suelo, de modo que la reforestación resarce la totalidad de la cubierta removida con un margen favorable.

En composición, la reforestación emplea las **mismas 10 especies nativas de SBC afectadas** por el cambio de uso de suelo —incluidas las de estatus de protección, como el cóbano (*Swietenia humilis*, CITES II / UICN EN) y el cedro rojo (*Cedrela odorata*, NOM-059 Pr), y las endémicas (barcino, coral, bejuco corchozo)—, de propagación factible, buena producción de hojarasca y sin comportamiento malezoide (Figura 25). No se restituye una cubierta genérica, sino la misma comunidad vegetal que se remueve.

En función, el balance de suficiencia por servicio ambiental (Anexo C; §IV.6.5) acredita que las medidas restituyen cada servicio **hasta la línea base o por encima**: el azolve entregado al cauce baja de 0.209 a **0.00 t·año⁻¹**, la recarga se recupera con un margen de **+14,842 m³** y el stock de carbono se incrementa en **+307.69** respecto de la línea base. La equivalencia no es, por tanto, solo de superficie: es **funcional**.

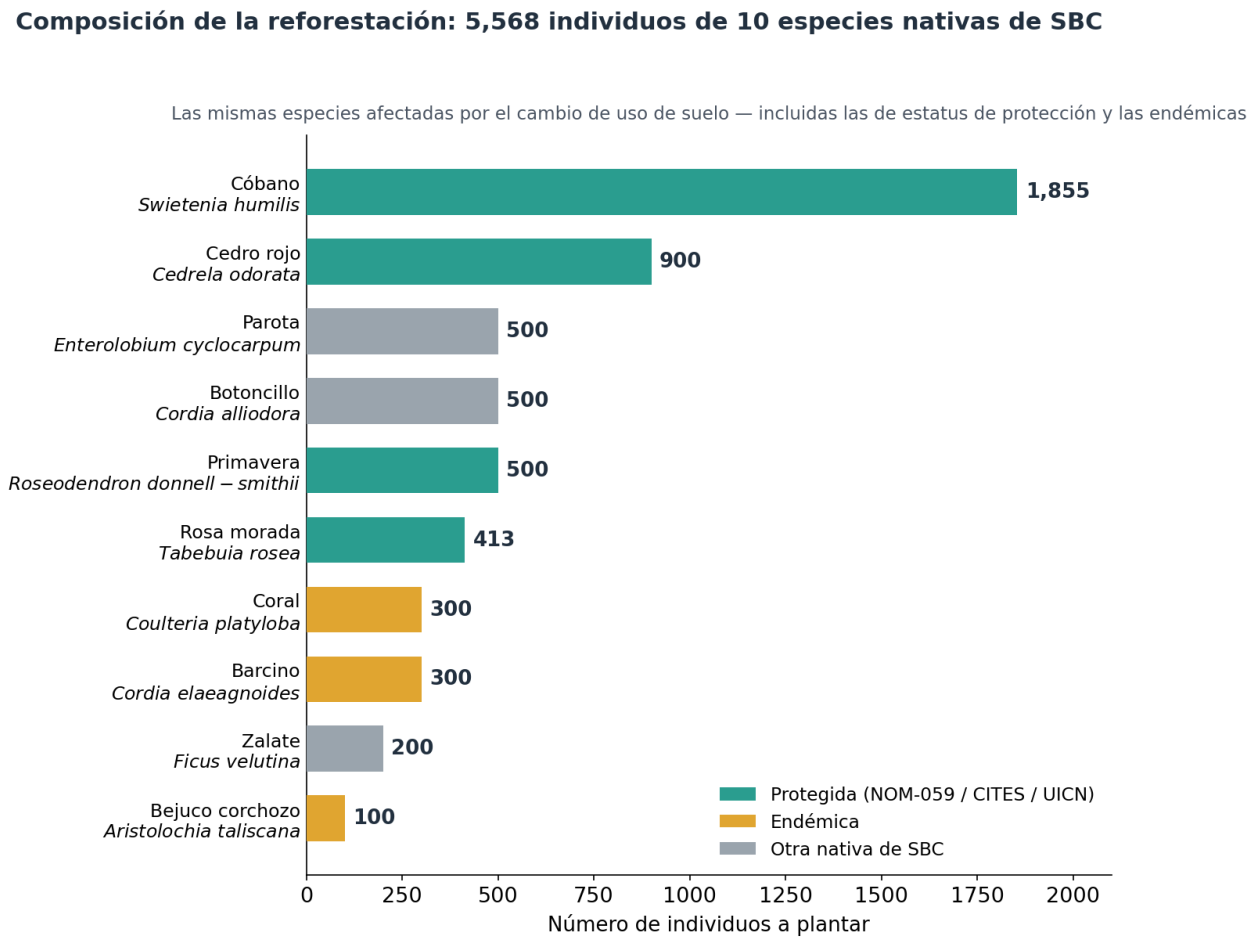


Figura 25. Composición por especie de la reforestación. Las 5,568 plantas se reparten en 10 especies nativas de selva baja caducifolia —las mismas afectadas por el cambio de uso de suelo—, con predominio del cóbano (*Swietenia humilis*) y el cedro rojo (*Cedrela odorata*), y presencia de especies protegidas y endémicas.

Fuente: composición definitiva por especie del programa de reforestación (Anexo C). Elaboración propia.

La composición confirma el carácter de restitución de la medida: seis de las diez especies tienen estatus de protección o son endémicas, y las dos de mayor abundancia —cóbano y cedro rojo— son precisamente las de mayor valor de conservación entre las afectadas. La reforestación no persigue solo cerrar el dosel, sino **reconstruir la misma comunidad de SBC** que el proyecto remueve, lo que sostiene la equivalencia funcional del párrafo anterior.

El **programa** (Anexo C) comprende la preparación del sitio —limpieza selectiva, trazo a tresbolillo con separación de 3.0 m, apertura de cepas de 40 × 40 × 40 cm y cajetes de captación— y las obras de conservación de suelo y agua; la plantación al **inicio de la temporada de lluvias**, para aprovechar la ventana húmeda de la SBC; y un mantenimiento de riego de establecimiento, deshierbe, control fitosanitario y **reposición del 100 % de la mortandad en los años 2 y 3**. La cabida cubierta del predio evoluciona del **15 % de partida al 85 % al año 7**. Un **programa de monitoreo de al menos siete años** verifica la supervivencia (meta ≥ 80 % al año 1), la densidad establecida (≥ 1,283 ind·ha^{-1}) y la cobertura lograda, y dispara la reposición ante cualquier desviación superior al 10 %.

El programa se ejecutará conforme a las **guías y manuales técnicos de reforestación y restauración** aplicables (SEMARNAT/CONAFOR). El costo estimado del programa de reforestación se presenta en la valoración económica (§IV.9) y se detalla en la memoria de costos (Anexo); el catálogo de conceptos y precios unitarios definitivos lo aporta el promovente al momento de la contratación.

IV.9 Valoración económica de las medidas

La valoración económica integra el costo de **ejecutar y dar seguimiento** a todas las medidas comprometidas: las de mitigación (rescate de flora M1, rescate de fauna M2 y obras de conservación de suelo y agua M3), la de compensación (reforestación C1), las de prevención (P-1 a P-5) y el Programa de Vigilancia Ambiental. El costo se estima aplicando **costos unitarios de referencia** a los **alcances físicos** determinados en los Anexos A a D: los costos de reforestación y de obras de conservación provienen del *Acuerdo de costos de referencia para la compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales* (Diario Oficial de la Federación, 8 de marzo de 2023, ecosistema tropical), actualizados a 2026; los conceptos de mano de obra se calculan con el salario mínimo vigente (CONASAMI, 2026); y los de prevención y seguimiento, con precios de mercado. El desglose por concepto, cantidad y costo unitario se integra en la **memoria de costos (Anexo)**.

Tabla 21. Valoración económica del paquete de medidas (estimación 2026).

Medida	Alcance físico (fuente)	Costo estimado (MXN)
M1 · Rescate de flora	Rescate y trasplante de 1,543 individuos (Anexo A)	115,797
M2 · Rescate de fauna	Ahuyentamiento y rescate (protocolo, Anexo B)	58,451
M3 · Obras de conservación de suelo y agua	4,555 terrazas, 710 m de barreras, mulching y cortina (Anexo D)	113,573
C1 · Reforestación del predio de compensación	5,568 plantas, mantenimiento, replante y protección a 7 años (Anexo C)	273,310
P-1 · Control de emisiones a la atmósfera	Riego, verificación vehicular y cubrimiento de camiones	111,000
P-2 · Control de ruido	Monitoreo perimetral (sonometría, NOM-081)	48,000
P-3 · Manejo de agua y suelo en la obra	Trampas de sedimento y escarificación al cierre	51,935
P-4 · Integración paisajística y residuos	Manejo de residuos del desmonte y áreas verdes	74,606
P-5 · Manejo de emisiones de la maquinaria	Mantenimiento preventivo y medición de opacidad	25,000
PVA · Programa de Vigilancia Ambiental	Residente ambiental, responsiva ambiental y seguimiento (≥7 años)	570,000
Total integrado del paquete		**1,441,672**

Fuente: memoria de costos (Anexo). Costos unitarios de referencia: Acuerdo de costos de compensación ambiental por cambio de uso de suelo (DOF, 08/03/2023, ecosistema tropical) actualizados a 2026, y salario mínimo (CONASAMI, 2026).

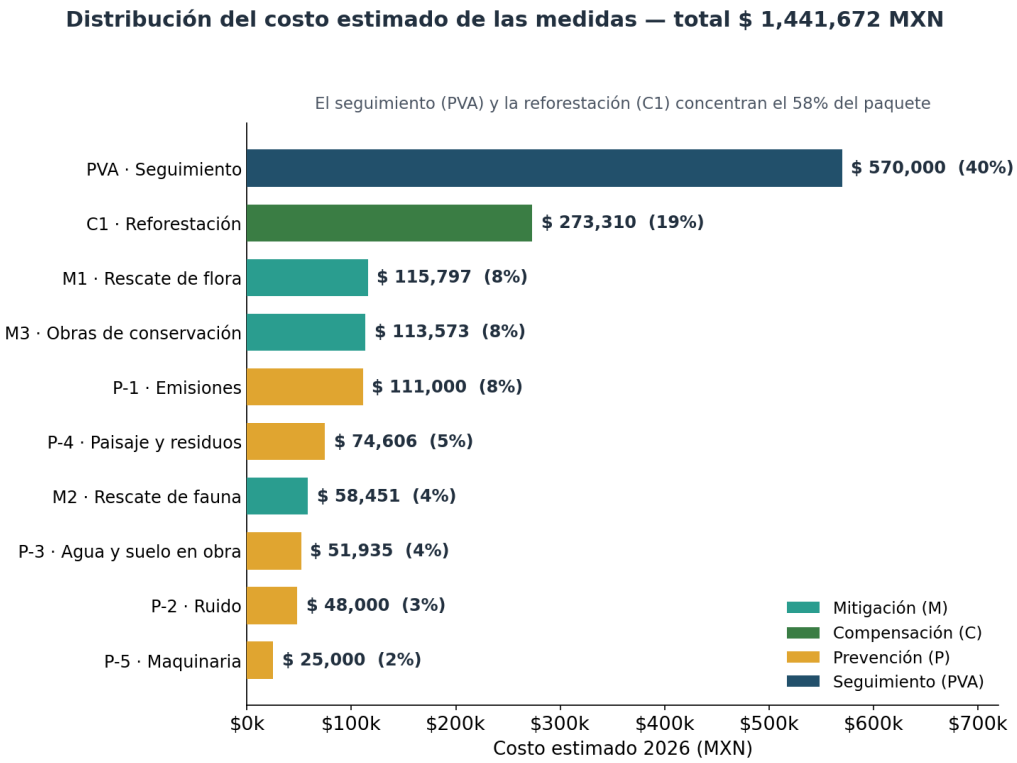


Figura 26. Distribución del costo estimado de las medidas. El costo se ordena por medida y por tipo —mitigación, compensación, prevención y seguimiento—; el seguimiento (PVA) y la reforestación (C1) concentran el 58 % del paquete.

Fuente: memoria de costos (Anexo). Elaboración propia.

La distribución del costo es coherente con la lógica de la cartera: las partidas mayores corresponden a los **compromisos de largo plazo** —el seguimiento a lo largo de al menos siete años y la reforestación de compensación—, que son precisamente las medidas que atienden los impactos residuales significativos (§IV.6). Las medidas de prevención, de carácter temporal y ligadas al frente de obra, representan en conjunto una fracción menor del paquete.

Estos importes constituyen una **estimación de referencia** fundada en costos unitarios oficiales y de mercado; el costo definitivo se ajustará conforme al **catálogo de conceptos y precios unitarios** del promovente al momento de la contratación, sin que ello altere los alcances físicos ya comprometidos en los anexos.

IV.10 Estrategias integradas de protección ambiental

Las medidas anteriores no operan de forma aislada: se articulan en **estrategias integradas por componente ambiental afectado**, cada una de las cuales combina las medidas de **prevención, mitigación y compensación** que actúan sobre ese componente para sostener su función. La lógica que las une es la de la cascada del desmonte (§IV.6.3): al **prevenir** en el frente de obra, **actuar sobre la causa** —la remoción de la cubierta— y **compensar** en otro predio, cada estrategia atiende tanto el impacto directo como sus efectos derivados. La Tabla 22 sintetiza qué medidas integran cada estrategia y el resultado que sostienen.

Tabla 22. Estrategias integradas por componente ambiental.

Componente ambiental	Medidas que integran la estrategia	Resultado sostenido (§IV.6.5)
Suelo y agua	Obras de conservación (M3) · reforestación (C1) · manejo de agua y suelo en la obra (P-3)	Balance de azolve satisfactorio; recarga compensada con margen
Carbono	Reforestación (C1)	Stock de carbono por encima de la línea base

Componente ambiental	Medidas que integran la estrategia	Resultado sostenido (§IV.6.5)
Vegetación y recurso forestal	Rescate y reubicación de flora (M1) · reforestación (C1)	Individuos y germoplasma conservados; cubierta restablecida
Fauna	Ahuyentamiento y rescate de fauna (M2) · reforestación (C1)	Protección inmediata de individuos + hábitat reconstituido
Aire y ruido	Control de emisiones (P-1) · control de ruido (P-2) · mantenimiento de maquinaria (P-5)	Emisiones y ruido dentro de norma en el frente de obra
Paisaje y residuos	Integración paisajística y manejo de residuos (P-4)	Frentes restaurados; residuos aprovechados o dispuestos

Fuente: cartera de medidas del proyecto (§IV.4); resultados del balance de eficacia (§IV.6.5).

Suelo y agua. La estrategia combina las **obras de conservación de suelo y agua (M3)**, que retienen el suelo expuesto y controlan el azolve durante la fase crítica, con la **reforestación del predio de compensación (C1)**, que restablece a mediano plazo la cubierta que sostiene la infiltración y la retención, reforzadas por el **manejo de agua y suelo en la obra (P-3)**. El resultado es un balance de sedimento satisfactorio y una recarga hídrica compensada con margen (§IV.6.5).

Carbono. La estrategia descansa en la **reforestación (C1)**: la nueva cubierta forestal recaptura el carbono liberado por la remoción y lleva el stock del sistema por encima de la línea base, de modo que el servicio climático no solo se conserva, sino que se incrementa.

Vegetación y recurso forestal. La estrategia articula el **rescate y reubicación de flora (M1)** —que salva a los individuos de las especies prioritarias, incluidas las de categoría de riesgo, con el desmonte programado en temporada seca— con la **reforestación (C1)**, que restablece la cubierta y el volumen forestal con las mismas especies afectadas (§IV.8). La primera conserva el germoplasma y los individuos; la segunda, la función del ecosistema.

Fauna. La estrategia integra el **ahuyentamiento dirigido de la avifauna y el rescate y reubicación de la fauna de lento desplazamiento (M2)** —dirigido en particular a las especies protegidas que no huyen, como los reptiles endémicos— con la **reforestación (C1)**, que reconstituye el hábitat en el predio de compensación. Se atiende así tanto la protección inmediata de los individuos como la recuperación del hábitat.

Aire, ruido y paisaje. A diferencia de las anteriores, esta estrategia es **preventiva** y opera en el frente de obra durante las etapas de preparación y construcción: el **control de emisiones (P-1)** y el **mantenimiento preventivo de la maquinaria conforme al fabricante (P-5)** contienen el polvo y los gases; el **control de ruido (P-2)** mantiene los niveles dentro de norma en la colindancia; y la **integración paisajística y el manejo de residuos (P-4)** ordenan los frentes y aprovechan el material del desmonte. Son impactos difusos y reversibles que se resuelven donde se generan, sin necesidad de compensación.

Cada estrategia se sostiene, por último, en el **Programa de Vigilancia Ambiental**, que verifica el cumplimiento y la eficacia de todas las medidas a lo largo del plazo comprometido y habilita las medidas correctivas cuando un indicador no alcanza su meta.

Manifestación de Impacto Ambiental para el

CAMBIO DE USO DE SUELO EN TERRENOS FORESTALES

Anexo A

Programa de Rescate y Reubicación de Flora

Express Port — Patio de Contenedores y Maniobra

Manzanillo, Colima

Contenido

II. I. Introducción 4
III. Objetivos 5
IV. Área de aplicación y localización 5
V. Criterios de selección de especies 7
VI. Especies con rescate individual 9
V.1 Atención específica de la especie en la NOM-059-SEMARNAT-2010 11
V.2 Métodos de rescate (Eje B) 12
V.3 Especies atendidas por banco de germoplasma del suelo 12
V.4 Especies exóticas o invasoras (excluidas del programa) 14
VI. Metodología de rescate por método 14
VI.1 Trasplante de regeneración (≤ 1.8 m) 15
VI.2 Colecta de germoplasma / esqueje 16
VI.3 Colecta de semilla (oportunista) 16
VI.4 Manejo del suelo vegetal como banco de germoplasma 17
VII Centro de acopio temporal (vivero) 19
VIII Sitios de reubicación 20
IX Mantenimiento 21
X Indicadores de éxito y seguimiento 21
XI.1 Cronograma 22
X.2 Recursos humanos y materiales 23
X.3 Formatos y bitácoras 24

Índice De Tablas

Tabla 1. Sitios del programa de rescate y reubicación de flora (UTM 13N, WGS84). 6
Tabla 2. Ponderación de prioridad (Eje A) para el rescate individual de flora. 8
Tabla 3. Características ecológicas y prioridad de las especies con rescate individual. 9
Tabla 4. Metas de trasplante de regeneración (≤ 1.8 m) por especie. 10
Tabla 5. Métodos de rescate individual (Eje B), especies atendidas, material objetivo y meta de colecta. 12
Tabla 6. Especies de flora nativas atendidas por el banco de germoplasma del suelo y motivo de su asignación. 13
Tabla 7. Equipo por método de rescate. 17
Tabla 8. Actividades de mantenimiento de los sitios de reubicación. 21
Tabla 9. Indicadores de éxito del programa de rescate y reubicación de flora. 22
Tabla 10. Cronograma del programa de rescate y reubicación de flora. 22
Tabla 11. Recursos humanos y materiales del programa. 23
Tabla 12. Ficha de rescate por individuo/lote. 24
Tabla 13. Bitácora de colecta de germoplasma/semilla. 24
Tabla 14. Bitácora de ingreso a vivero. 24
Tabla 15. Ficha de reubicación. 24
Tabla 16. Bitácora de mantenimiento y riego. 25
Tabla 17. Seguimiento de supervivencia por periodo. 25

Índice De Figuras

Figura 1. Distancia entre el frente de desmonte y el área de compensación. 7
Figura 2. Selección de las especies de flora por criterior establecidos. 8
Figura 3. Prioridad de rescate por especie (Eje A), diferenciada por el criterio de importancia que la determina. ...10
Figura 4. Meta de trasplante por especie (individuos a trasplantar, N). Σ N = 1 234 (1 543 con prendimiento 0.8). .11
Figura 5. Proceso operativo del rescate y reubicación de flora, desde el marcaje PRE-derribo hasta el seguimiento de supervivencia, con las tres vías de rescate convergiendo en el centro de acopio. 15
Figura 6. Procedimiento paso a paso de los tres métodos de rescate individual de flora. 17
Figura 7. Procedimiento de manejo del suelo vegetal como banco de germoplasma, de la delimitación del despalme al control de propágulos exóticos. 19
Figura 8. Ubicación del centro de acopio temporal (vivero). 20

I. Introducción

El presente Programa de Rescate y Reubicación presenta como objetivo principal el rescate anticipado del componente fitogenético —individuos de regeneración y material de propagación— presente en la superficie sujeta a Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales (CUSTF), previo al derribo y despalme, así como su reubicación en sitios de vegetación análoga.

El programa de rescate y reubicación de flora se sustenta en el régimen de excepcionalidad aplicable al cambio de uso de suelo en terrenos forestales. De conformidad con el artículo 93 de la **Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS)**, la autorización correspondiente requiere demostrar, entre otros aspectos, que el proyecto no compromete la biodiversidad, no provoca erosión de los suelos, ni deteriora la calidad o la captación del agua. En este contexto, el programa constituye una medida preventiva y de mitigación orientada a rescatar y reubicar los individuos y el germoplasma de las especies prioritarias presentes en el área de CUSTF antes del desmonte, contribuyendo a reducir la pérdida directa de componentes florísticos de valor ecológico.

El contenido del programa responde a una exigencia reglamentaria expresa. El **artículo 141, fracción IX, del Reglamento de la LGDFS (RLGDFS)** requiere que el Manifestación de Impacto Ambientalincluya la propuesta del programa de rescate y reubicación de especies de flora y fauna afectadas y su adaptación al nuevo hábitat. En consecuencia, este anexo detalla los criterios de selección, los métodos por especie, los sitios de reubicación en Selva Baja Caducifolia (hábitat análogo) y los indicadores de establecimiento que dan cumplimiento a dicha fracción.

De manera complementaria, el marco jurídico aplicable comprende:

- La **Ley General de Vida Silvestre (LGVS)** —artículos 4, 9, 18, 56, 60 BIS y 99— y su Reglamento, en cuanto al manejo de la vida silvestre, la corresponsabilidad del propietario del predio y la atención a las especies en categoría de riesgo. La flora silvestre queda comprendida en el concepto de vida silvestre que tutela la Ley.
- La **NOM-059-SEMARNAT-2010** (Modificación al Anexo III, DOF 14-XI-2019), que define las categorías de riesgo y detona la atención específica de las especies enlistadas. En el CUSTF la única especie de flora con estatus en esta norma es *Cedrela odorata* (categoría **Pr**, sujeta a protección especial), la cual recibe atención diferenciada (§ A.4 y § A.5).
- La **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)** —artículos 79 a 87 BIS 2— en materia de criterios para la preservación y aprovechamiento sustentable de la flora silvestre; la **CITES** (Apéndice II, aplicable a *Cedrela odorata*, *Swietenia humilis*, *Roseodendron donnell-smithii* y *Tabebuia rosea*); y el **artículo 8 del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)**, relativo a la conservación in situ.

Sustento ecológico del rescate a escala local. El análisis comparativo de biodiversidad del Capítulo V estableció que no existen especies exclusivas de la superficie de CUSTF a escala regional (0 especies exclusivas; complementariedad por anidamiento puro), de modo que el retiro de vegetación no compromete el acervo florístico regional (γ). En este contexto, el rescate se plantea correctamente como

un **salvamento local de individuos y germoplasma** dentro de la misma formación vegetal determinada como Selva Baja Caducifolia, y no como la preservación de taxones que de otro modo desaparecerían.

II. Objetivos

Objetivo general. Rescatar y reubicar el germoplasma y los individuos de flora silvestre con criterio de conservación presentes en la superficie de CUSTF del proyecto (**3.4097 ha**), de manera anticipada al desmonte, para evitar la pérdida directa de biodiversidad y dar cumplimiento al artículo 93 de la LGDFS y al artículo 141 fracción IX del RLGDFS.

Objetivos específicos.

1. Identificar, marcar y georreferenciar los individuos y las fuentes de germoplasma objeto de rescate dentro de los dos polígonos de CUSTF, conforme a los criterios de selección.
2. Ejecutar el rescate individual de **10 especies** de flora prioritarias, con una meta de **1,234 individuos a trasplantar** que, aplicando el factor de prendimiento de 0.8, equivale a **1,543 individuos** para asegurar la meta de establecimiento.
3. Conservar y reincorporar el banco de germoplasma del suelo (banco de semillas y propágulos del horizonte superficial) para la recuperación de **21 especies nativas** de estrategia pionera o ruderal, de baja factibilidad de trasplante individual.
4. Dar atención específica a la especie de flora en la NOM-059-SEMARNAT-2010 presente en el predio (*Cedrela odorata*, Pr), mediante colecta dirigida de germoplasma, propagación en vivero e incorporación prioritaria a la reforestación.
5. Operar un centro de acopio temporal (vivero, 0.0375 ha) con infraestructura de sombreo y riego para la aclimatación del material rescatado.
6. Reubicar el material rescatado en los sitios de vegetación análoga (Selva Baja Caducifolia) de las zonas de Mitigación (0.79 ha) y Compensación (3.55 ha), a una densidad de referencia de 1,283 plantas/ha.
7. Verificar el establecimiento mediante indicadores de supervivencia (≥ 80 % al primer año; ≥ 70 % acumulada) y reposición de planta muerta al 100 %.
8. Documentar la totalidad del proceso mediante los formatos y bitácoras del programa, garantizando la trazabilidad del material desde su rescate hasta su establecimiento.

III. Área de aplicación y localización

El programa se aplica en dos ámbitos espaciales: el **área de origen** (la superficie de CUSTF de donde se rescata el material) y los **sitios de destino** (centro de acopio y sitios de reubicación definitiva). Todas las coordenadas se expresan en UTM Zona 13N, Datum WGS84.

Área de origen (CUSTF). Superficie de **3.4097 ha** distribuida en dos polígonos, con vegetación de Selva Baja Caducifolia en estado sucesional secundario arbóreo, en predio de propiedad privada. Es la superficie sobre la que opera el rescate anticipado, frente por frente, conforme al calendario de desmonte del Capítulo VIII.

Sitios de destino. El material rescatado se aclimata en un centro de acopio temporal y se reubica en dos sitios de vegetación análoga, según se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Sitios del programa de rescate y reubicación de flora (UTM 13N, WGS84).

Sitio	Función	Superficie	Este (m)	Norte (m)	Observación
Vivero / centro de acopio temporal	Aclimatación y propagación	0.0375 ha	575 838.58	2 111 952.40	Instalación temporal (sombreo y riego) en terreno no forestal; superficie por geometría
Reubicación — Mitigación	Destino definitivo	0.79 ha	575 956.36	2 112 027.35	SBC; densidad de referencia 1,283 plantas/ha
Reubicación — Compensación	Destino definitivo	3.55 ha	592 980.40	2 105 970.17	SBC; densidad de referencia 1,283 plantas/ha

Los dos sitios de reubicación definitiva —Mitigación y Compensación— se localizan sobre vegetación de Selva Baja Caducifolia, el mismo tipo de vegetación de la superficie de origen, con lo que se satisface el requisito de reubicación en hábitat análogo del artículo 141 fracción IX del RLGDFS (adaptación al nuevo hábitat). El vivero o centro de acopio temporal, en cambio, es una instalación transitoria de aclimatación (sombreo y riego) situada en terreno no forestal; no constituye hábitat de destino ni se ubica sobre vegetación forestal, y su función se limita al resguardo y propagación del material mientras se ejecuta la reubicación. La superficie de destino disponible para reubicación (0.79 ha de Mitigación + 3.55 ha de Compensación = 4.34 ha) es holgadamente superior a la superficie de origen (3.4097 ha), por lo que la densidad objetivo de 1,283 plantas/ha no satura los sitios receptores. La distancia entre el frente de desmonte y cada sitio de destino se reporta en el plano siguiente:

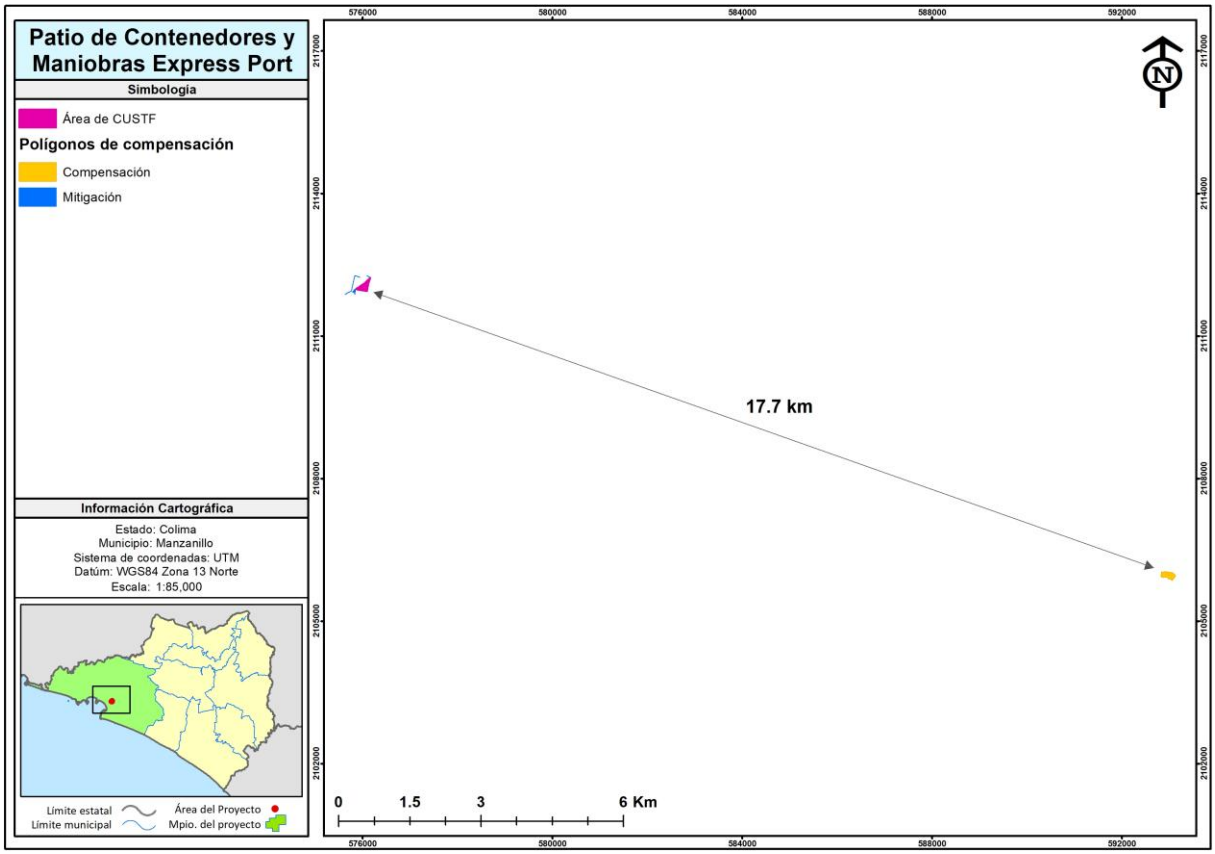


Figura 1. Distancia entre el frente de desmonte y el área de compensación.

IV. Criterios de selección de especies

Las especies objeto de rescate individual se seleccionan por su **importancia** para la conservación, evaluada a través de dos criterios: su estatus de conservación y su valor ecológico según el gremio sucesional. Con carácter previo, las especies exóticas o invasoras quedan excluidas del programa por no constituir objeto de conservación —su reincorporación mediante el banco de germoplasma sería, además, contraproducente—, de modo que los criterios de selección se aplican al componente florístico nativo. Las especies nativas que satisfacen alguno de estos criterios se rescatan de manera individual; las de estrategia pionera o ruderal —de ciclo corto y baja factibilidad de trasplante— se recuperan con mayor eficacia mediante la conservación del banco de germoplasma del suelo, mecanismo que preserva su semilla persistente, sus propágulos y la microbiota edáfica que favorece la germinación. La prioridad y la intensidad del esfuerzo se jerarquizan.

Criterio 1 — Estatus de conservación. Se rescatan de manera individual todas las especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, incluidas en la CITES, endémicas o clasificadas por la UICN en categoría VU, EN o CR. Este criterio asegura la atención específica de las especies en riesgo; por su aplicación, *Cedrela odorata* (NOM-059, Pr) alcanza la máxima prioridad de rescate.

Criterio 2 — Valor ecológico por gremio. Para el estrato arbóreo y la regeneración, se rescatan los individuos de los gremios de mayor valor sucesional —primaria madura y secundaria tardía—, cuya reposición por regeneración natural es lenta y cuya importancia estructural en la Selva Baja Caducifolia

justifica su conservación por trasplante. Los gremios de recambio rápido —secundaria temprana, pionera y pionera efímera— se derivan al banco de germoplasma del suelo, donde su prolífica producción de semilla persistente los recupera con mayor eficacia que el trasplante individual.

La aplicación de ambos criterios se representa en la figura siguiente.

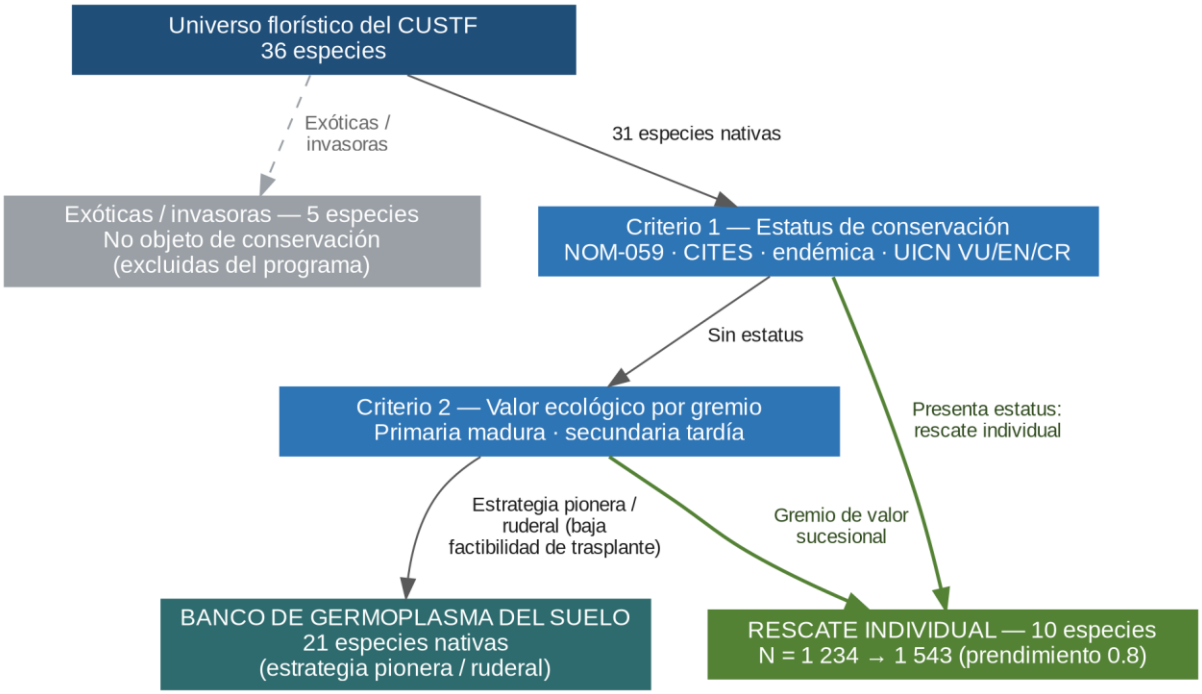


Figura 2. Selección de las especies de flora por criterior establecidos.

Ponderación de prioridad (Eje A). La prioridad y la intensidad del esfuerzo de rescate individual se jerarquizan mediante la ponderación de la Tabla 2, tomando para cada especie el valor más alto aplicable.

Tabla 2. Ponderación de prioridad (Eje A) para el rescate individual de flora.

Criterio	Ponderación
Especie en NOM-059-SEMARNAT-2010	100 %
UICN en categoría VU, EN o CR	70 %
Rareza local (índice de rareza *r*)	hasta 50 %
Especie en CITES	40 %
Especie endémica	40 %
Piso por gremio — primaria madura	40 %
Piso por gremio — secundaria tardía	25 %

Los dos criterios de importancia y la ponderación del Eje A garantizan que la totalidad de las especies nativas con criterio de conservación (NOM-059, CITES, endémicas o UICN VU/EN/CR) sea atendida por rescate individual, así como los individuos de los gremios arbóreos de mayor valor sucesional. Las especies

nativas de estrategia pionera o ruderal, cuya recuperación por trasplante es de baja factibilidad, se canalizan al mecanismo más eficaz para su forma de vida: la conservación del banco de germoplasma del suelo; las especies exóticas o invasoras quedan fuera del programa por no ser objeto de conservación. La especie de flora en la NOM-059 (Cedrela odorata, Pr) alcanza la ponderación máxima (100 %) por el criterio de estatus, lo que la sitúa en el primer nivel de prioridad. El detalle por especie —las 10 de rescate individual y las 21 del banco de germoplasma— se presenta en los apartados posteriores.

V. Especies con rescate individual

De las 36 especies de flora inventariadas en el CUSTF, **10 se seleccionan para rescate individual** por satisfacer alguno de los dos criterios de importancia definidos (estatus de conservación o valor ecológico por gremio). La Tabla 3 resume sus características ecológicas y su prioridad (Eje A), y la Tabla 4, el método de rescate asignado (Eje B) y las metas cuantitativas.

Tabla 3. Características ecológicas y prioridad de las especies con rescate individual.

N.º	Especie	Común	Estatus	Gremio	Dens. CH (ind./ha)	Dens. CUSTF (ind./ha)	*r*	Prioridad Eje A
1	*Cedrela odorata*	Cedro rojo	NOM-059 (Pr); endémica; CITES II; UICN VU	Primaria madura	38.67	2.67	0.069	100 %
2	*Swietenia humilis*	Cóbano	CITES II; UICN EN	Primaria madura	69.33	514.67	7.423	70 %
3	*Aristolochia taliscana*	Bejuco corchozo	Endémica	Secundaria tardía	66.67	20.00	0.300	40 %
4	*Cordia elaeagnoides*	Barcino	Endémica	Primaria madura	82.67	81.33	0.984	40 %
5	*Coulteria platyloba*	Coral	Endémica	Secundaria tardía	16.00	9.33	0.583	40 %
6	*Roseodendron donnell-smithii*	Primavera	CITES II	Secundaria tardía	82.67	41.33	0.500	40 %
7	*Tabebuia rosea*	Rosa morada	CITES II	Secundaria tardía	38.67	9.33	0.241	40 %
8	*Cordia alliodora*	Botoncillo	—	Secundaria tardía	128.00	4.00	0.031	25 %
9	*Enterolobium cyclocarpum*	Parota	—	Secundaria tardía	17.33	4.00	0.231	25 %
10	*Ficus velutina*	Zalate	—	Secundaria tardía	22.67	2.67	0.118	25 %

La prioridad de rescate reproduce la jerarquía de importancia del § A.4. La única especie en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (*Cedrela odorata*, Pr) encabeza la lista con el 100 %; *Swietenia humilis*, en categoría UICN EN, ocupa el segundo lugar con 70 %; las cinco especies endémicas o en CITES se sitúan en 40 %, y las tres especies arbóreas de gremio secundaria tardía sin estatus reciben el piso de 25 %. La incorporación de estas tres últimas —sin categoría de riesgo— responde al Criterio 2 (valor ecológico por gremio), que

reconoce la importancia estructural y sucesional del componente arbóreo de la Selva Baja Caducifolia. El índice *r* evidencia contrastes de densidad relevantes para el diseño del rescate: *Swietenia humilis* es notablemente más abundante en el CUSTF que en el hábitat de comparación (*r* = 7.423), lo que sustenta una meta de trasplante elevada, mientras que especies como *Cordia alliodora* (*r* = 0.031) o *Cedrela odorata* (*r* = 0.069) presentan densidades marginales en el sitio, coherentes con metas de trasplante nulas y con estrategias basadas en la colecta de material de propagación (germoplasma o semilla).

Tabla 4. Metas de trasplante de regeneración (≤ 1.8 m) por especie.

N.º	Especie	Dens. regen. (ind./ha)	N a trasplantar	N con prendimiento (÷ 0.8)
1	*Swietenia humilis*	486.67	1,162	1,453
2	*Cordia elaeagnoides*	20.00	27	34
3	*Roseodendron donnell-smithii*	20.00	27	34
4	*Coulteria platyloba*	6.67	9	11
5	*Tabebuia rosea*	6.67	9	11
	Total		**1 234**	**1 543**

La meta de trasplante corresponde exclusivamente a las cinco especies con regeneración establecida en el sitio: *Swietenia humilis* (1 162), *Cordia elaeagnoides* (27), *Roseodendron donnell-smithii* (27), *Coulteria platyloba* (9) y *Tabebuia rosea* (9), que suman **1,234 individuos a trasplantar**; aplicando el factor de prendimiento de 0.8 (N ÷ 0.8), la meta operativa asciende a **1,543 individuos**. Las cinco especies restantes seleccionadas para rescate individual no cuentan con regeneración aprovechable (densidad de regeneración 0.00), por lo que su objeto de rescate no son individuos para trasplante sino material de propagación —germoplasma/esqueje o semilla—; su método y su meta de colecta se detallan mas delante, y su aportación a la conservación se materializa mediante propagación en vivero e incorporación a la reforestación.

La distribución de la prioridad y la de la meta de trasplante se ilustran en las figuras siguientes.

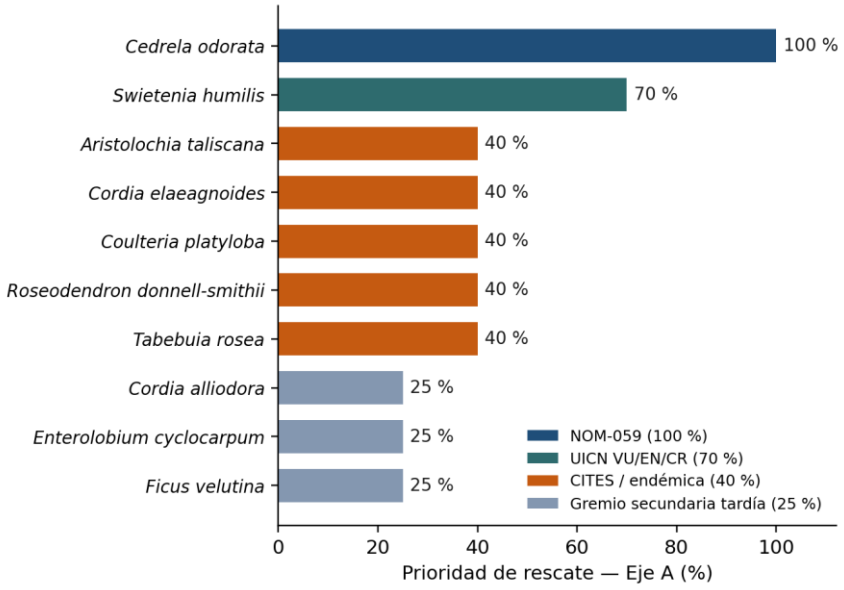


Figura 3. Prioridad de rescate por especie (Eje A), diferenciada por el criterio de importancia que la determina.

La Figura 3 muestra que la prioridad se concentra en dos escalones superiores gobernados por el estatus de conservación —*Cedrela odorata* (NOM-059, 100 %) y *Swietenia humilis* (UICN EN, 70 %)— seguidos del conjunto de endémicas y especies en CITES (40 %) y, finalmente, del componente arbóreo de valor sucesional sin estatus (25 %). Esta gradación confirma que la selección para rescate individual se rige primero por la importancia para la conservación y, subsidiariamente, por el valor ecológico del gremio.

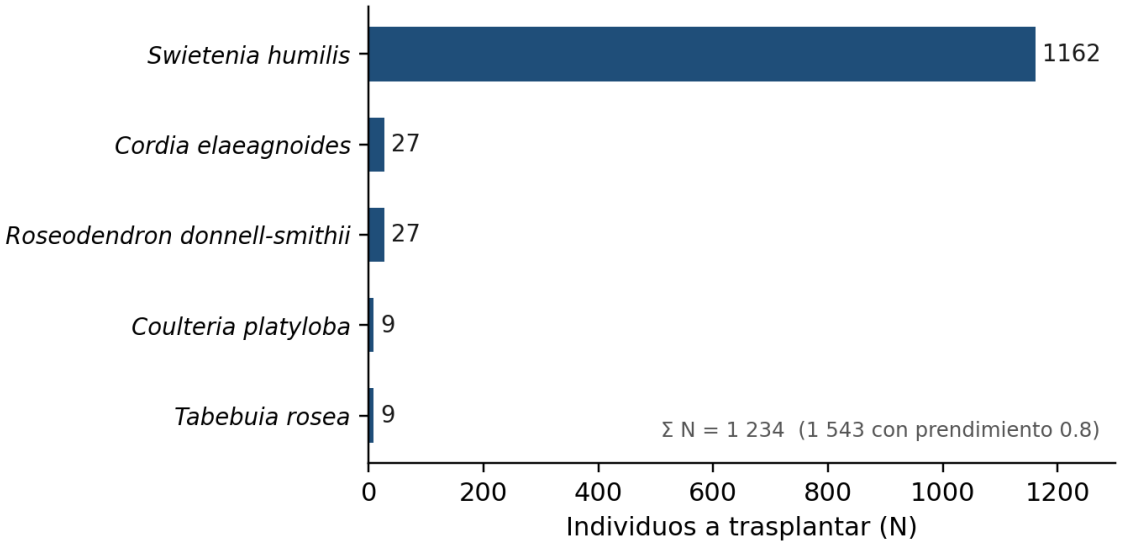


Figura 4. Meta de trasplante por especie (individuos a trasplantar, N). Σ N = 1 234 (1 543 con prendimiento 0.8).

La Figura 4 evidencia que la meta de trasplante se concentra de manera marcada en *Swietenia humilis*, que aporta 1 162 de los 1 234 individuos (94 %), en congruencia con su elevada densidad de regeneración en el CUSTF (486.67 ind./ha) y su índice de rareza local (r = 7.423). Las otras cuatro especies de trasplante aportan en conjunto 72 individuos. Esta concentración orienta la logística del rescate —esfuerzo de cuadrilla, capacidad del vivero y calendario— hacia la extracción y aclimatación de la regeneración de cóbano como componente dominante del programa.

V.1 Atención específica de la especie en la NOM-059-SEMARNAT-2010

Cedrela odorata (cedro rojo) es la única especie de flora del predio enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en categoría **Pr (sujeta a protección especial)**; es además endémica, está incluida en el Apéndice II de la CITES y clasificada como **VU** por la UICN, por lo que alcanza la máxima prioridad de rescate (100 %, Eje A). Su densidad en el CUSTF es marginal (2.67 ind./ha) y no se registró regeneración establecida (densidad de regeneración 0.00), condición que hace inviable el trasplante de regeneración. En consecuencia, su atención específica comprende: (i) la **colecta dirigida de germoplasma** —estructuras reproductivas (frutos y semillas) y, en su caso, esquejes— de los individuos adultos presentes, previo al derribo, con una meta de colecta de **300 esquejes por ejemplar**; (ii) la **propagación en el vivero/centro de acopio temporal**; y (iii) su **incorporación prioritaria a la reforestación** de los sitios de reubicación, a fin de restituir su presencia en la Selva Baja Caducifolia de destino.

V.2 Métodos de rescate (Eje B)

Los cuatro métodos de rescate individual, con las especies que atienden y el material objetivo, se resumen en la tabla siguiente; su procedimiento detallado (equipo y pasos) se desarrollan mas delante.

Tabla 5. Métodos de rescate individual (Eje B), especies atendidas, material objetivo y meta de colecta.

Método (Eje B)	Especies	Material objetivo	Meta de colecta
Trasplante de regeneración (≤ 1.8 m)	*Swietenia humilis*, *Cordia elaeagnoides*, *Coulteria platyloba*, *Roseodendron donnell-smithii*, *Tabebuia rosea*	Individuo de regeneración con cepellón	1 234 individuos (Tabla A.3b)
Colecta de germoplasma / esqueje	*Cedrela odorata*, *Aristolochia taliscana*	Esqueje/propágulo y estructura reproductiva	300 esquejes por ejemplar
Colecta de semilla (oportunista)	*Cordia alliodora*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Ficus velutina*	Semilla/fruto	1 kg de semilla por especie

La asignación de métodos jerarquiza el esfuerzo hacia el trasplante de regeneración —única vía que produce individuos establecibles en los sitios de reubicación— y reserva la colecta de germoplasma/esqueje y la colecta de semilla para las especies sin regeneración aprovechable, cuyo aporte se canaliza a la propagación en vivero y a la reforestación. Las metas de colecta se fijan en **300 esquejes por ejemplar** para las especies de germoplasma/esqueje y en **1 kg de semilla por especie** para las de colecta de semilla. Los nombres de método se mantienen en su forma canónica y son consistentes con la memoria de cálculo anexa.

V.3 Especies atendidas por banco de germoplasma del suelo

De las 26 especies de flora no seleccionadas para rescate individual, **21 son nativas** y se recuperan mediante la **conservación y reincorporación del horizonte superficial del suelo** (banco de semillas y propágulos), y no por trasplante individual; las **5 restantes son exóticas o invasoras** y quedan **excluidas del programa** por no constituir objeto de conservación (§ A.6.1). La recuperación por banco de germoplasma atiende a la condición pionera o ruderal de las 21 especies nativas, de ciclo corto y prolífica producción de semilla persistente en el suelo: para estas formas de vida el trasplante individual es de baja factibilidad, mientras que el manejo del suelo preserva la microbiota y la estructura edáfica que favorecen la germinación y el restablecimiento espontáneo.

Las 21 especies nativas atendidas por el banco de germoplasma se reparten, por su forma de vida y gremio, de la siguiente manera: **16 especies de formas de vida no arbóreas sin estatus de conservación** (9 herbáceas, 3 arbustivas y 4 trepadoras/bejucos) y **5 especies arbóreas de gremio de recambio rápido** (secundaria temprana/pionera). El detalle por especie se presenta en la Tabla posterior.

Tabla 6. Especies de flora nativas atendidas por el banco de germoplasma del suelo y motivo de su asignación.

N.º	Especie	Común	Gremio	Motivo de asignación
1	*Abutilon trisulcatum*	Acapán	Pionera efímera ruderal	Forma herbácea sin estatus de conservación
2	*Acacia cochliacantha*	Espino blanco	Secundaria temprana pionera	Gremio de recambio rápido (secundaria temprana/pionera)
3	*Acacia farnesiana*	Huizache	Secundaria temprana pionera	Forma arbustiva sin estatus de conservación
4	*Adenopodia gymnantha*	Bejuco sierrilla de agua	Secundaria tardía	Trepadora/bejuco sin estatus de conservación
5	*Albizia tomentosa*	Parotilla morada	Secundaria temprana pionera	Gremio de recambio rápido (secundaria temprana/pionera)
6	*Amphilophium crucigerum*	Bejuco matapalos	Secundaria temprana pionera	Trepadora/bejuco sin estatus de conservación
7	*Antigonon leptopus*	Zarzal morado	Secundaria temprana pionera	Trepadora/bejuco sin estatus de conservación
8	*Cissus verticillata*	Bejuco de tripa de vaca	Secundaria temprana pionera	Trepadora/bejuco sin estatus de conservación
9	*Cordia dentata*	Tamborcillo	Secundaria temprana pionera	Gremio de recambio rápido (secundaria temprana/pionera)
10	*Cucurbita argyrosperma*	Calabacilla	Pionera efímera ruderal	Forma herbácea sin estatus de conservación
11	*Dicliptera resupinata*	Maleza de las lomas	Pionera efímera ruderal	Forma herbácea sin estatus de conservación
12	*Elytraria imbricata*	Cordoncillo	Secundaria temprana pionera	Forma herbácea sin estatus de conservación
13	*Guazuma ulmifolia*	Guásima	Secundaria temprana pionera	Gremio de recambio rápido (secundaria temprana/pionera)
14	*Malachra fasciata*	Malva jamaiquilla	Pionera efímera ruderal	Forma herbácea sin estatus de conservación
15	*Martynia annua*	Uña de gato	Pionera efímera ruderal	Forma herbácea sin estatus de conservación
16	*Petiveria alliacea*	Arriscále patrás	Secundaria temprana pionera	Forma herbácea sin estatus de conservación
17	*Pithecellobium dulce*	Guamúchil	Secundaria temprana pionera	Gremio de recambio rápido (secundaria temprana/pionera)
18	*Randia armata*	Crucillo	Secundaria tardía	Forma arbustiva sin estatus de conservación
19	*Senna occidentalis*	Retama	Pionera efímera ruderal	Forma herbácea sin estatus de conservación
20	*Sida glabra*	Guinar escobero	Pionera efímera ruderal	Forma herbácea sin estatus de conservación
21	*Tournefortia mutabilis*	Huele de noche	Secundaria temprana pionera	Forma arbustiva sin estatus de conservación

El reparto confirma la coherencia del criterio de selección: ninguna de las 21 especies nativas canalizadas al banco de germoplasma presenta estatus de conservación (NOM-059, CITES, endemismo o categoría UICN de amenaza), y todas corresponden a formas de vida o gremios cuya recuperación por semilla persistente es más eficaz que el trasplante individual.

V.4 Especies exóticas o invasoras (excluidas del programa)

Las cinco especies exóticas o invasoras registradas en el CUSTF —*Delonix regia*, *Indigofera spicata*, *Momordica charantia*, *Panicum maximum* y *Tamarindus indica*— quedan excluidas del programa de rescate y del banco de germoplasma por no constituir objeto de conservación. Su inclusión como material a conservar sería técnicamente improcedente y su reincorporación mediante el suelo vegetal resultaría contraproducente, al favorecer la propagación de especies no nativas en los sitios de reubicación. En consecuencia, los propágulos de estas especies presentes en el horizonte superficial se someten a control y no a conservación, y su presencia se vigila durante el mantenimiento de los sitios receptores.

La atención del componente florístico del CUSTF se resuelve en tres vías mutuamente excluyentes que cubren la totalidad de las 36 especies inventariadas, sin omisiones: **10 especies** nativas con criterio de conservación o valor sucesional por **rescate individual**; **21 especies** nativas de estrategia pionera o ruderal por el **banco de germoplasma del suelo**; y **5 especies** exóticas o invasoras **excluidas del programa** por no ser objeto de conservación. Cada especie recibe así el tratamiento técnicamente idóneo a su biología y a su condición de conservación.

VI. Metodología de rescate por método

El rescate se organiza en tres métodos, definidos según la biología reproductiva y la disponibilidad de material de cada especie: trasplante de regeneración, colecta de germoplasma/esqueje y colecta de semilla. Todos operan de manera anticipada al derribo y avanzan frente por frente conforme al Capítulo VIII, de modo que el material se rescata inmediatamente antes de que cada polígono sea intervenido. La secuencia operativa general —común a los tres métodos— se representa en la Figura 5.

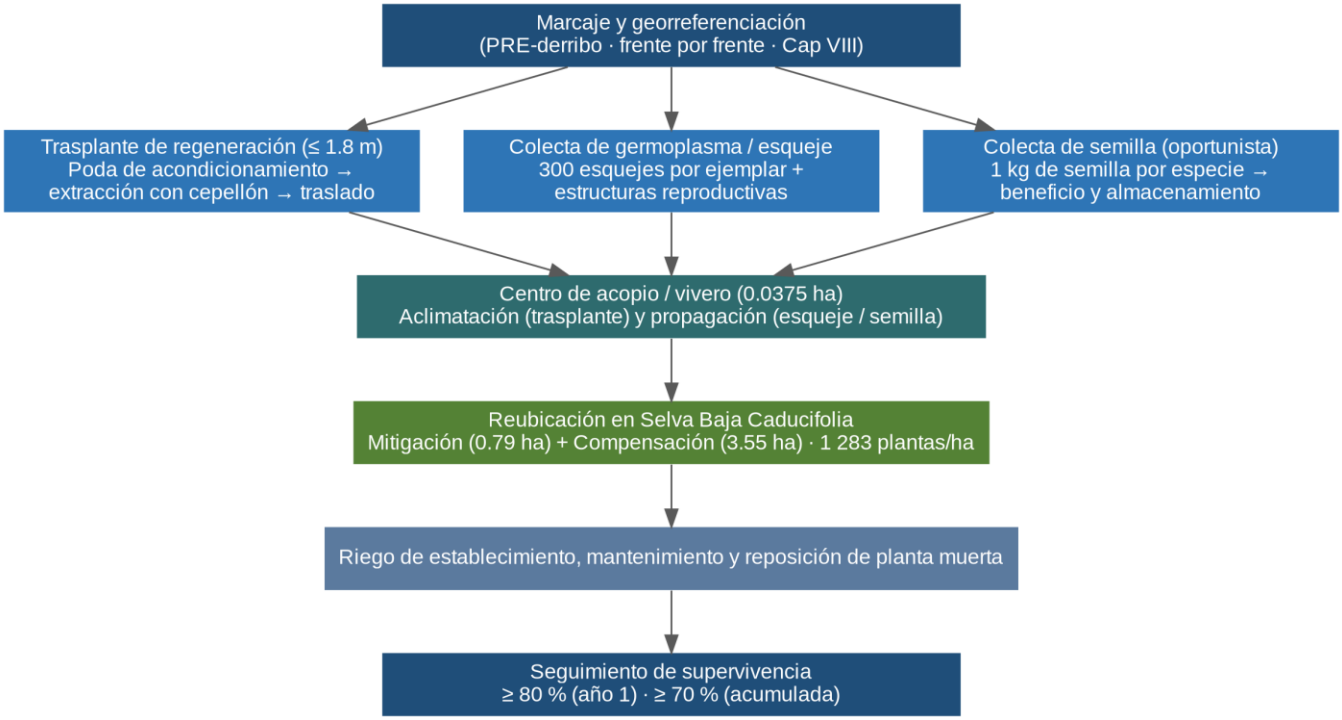


Figura 5. Proceso operativo del rescate y reubicación de flora, desde el marcaje PRE-derribo hasta el seguimiento de supervivencia, con las tres vías de rescate convergiendo en el centro de acopio.

El proceso encadena cinco fases —marcaje y georreferenciación, rescate por método, acopio/propagación en vivero, reubicación en Selva Baja Caducifolia y mantenimiento con seguimiento—, garantizando la trazabilidad del material desde su origen en el CUSTF hasta su establecimiento en los sitios de destino. La convergencia de los tres métodos en el centro de acopio asegura que tanto los individuos de trasplante como el material propagado (esquejes y semilla) reciban aclimatación antes de la reubicación definitiva, condición que sustenta la meta de supervivencia.

VI.1 Trasplante de regeneración (≤ 1.8 m)

Las especies mediante esta tecnica son: *Swietenia humilis*, *Cordia elaeagnoides*, *Coulteria platyloba*, *Roseodendron donnell-smithii* y *Tabebuia rosea*, con una meta de **1,234 individuos** a trasplantar (1,543 con el factor de prendimiento de 0.8). El procedimiento comprende:

1. **Marcaje y selección.** Identificación y marcaje de los individuos de regeneración de talla ≤ 1.8 m dentro del frente de desmonte, con registro en la ficha de rescate.
2. **Poda de acondicionamiento.** Poda ligera de la parte aérea para reducir la demanda hídrica y equilibrar la relación parte aérea/raíz previo a la extracción.
3. **Extracción con cepellón.** Excavación perimetral y extracción del individuo conservando el cepellón (masa de raíz y suelo adherido), a fin de preservar el sistema radical y la micorriza; protección inmediata del cepellón para evitar su desecación.
4. **Traslado inmediato.** Transporte al centro de acopio el mismo día de la extracción, en condiciones de sombra y humedad para minimizar el estrés.

5. **Aclimatación en vivero.** Estancia en el centro de acopio bajo sombreo y riego hasta la recuperación de turgencia y emisión de raíz nueva.
6. **Reubicación.** Plantación en los sitios de reubicación (Selva Baja Caducifolia) a la densidad de referencia de 1,283 plantas/ha, seguida de riego de establecimiento.

Equipo: palas, barretas, azadones, tijeras y serrote de poda, bolsas/contenedores para cepellón, malla sombra para traslado, etiquetas de marcaje.

VI.2 Colecta de germoplasma / esqueje

Dentro de las actividades de esta tecnica se engloban las epecies *Cedrela odorata* y *Aristolochia taliscana*, especies con criterio de conservación (NOM-059 y endemismo, respectivamente) pero sin regeneración aprovechable en el sitio. Meta de colecta: **300 esquejes por ejemplar**, más las estructuras reproductivas disponibles. El procedimiento comprende:

1. **Colecta de propágulos.** Obtención de esquejes de la parte vegetativa y de estructuras reproductivas (frutos, semillas) de los individuos adultos presentes, previo al derribo.
2. **Preparación de esquejes.** Corte a la longitud y ángulo adecuados y tratamiento de la base con hormonas de enraizamiento.
3. **Propagación en vivero.** Establecimiento en charolas con sustrato bajo condiciones controladas de humedad y sombra hasta el enraizamiento.
4. **Integración a la reforestación.** Las plantas propagadas se incorporan de manera prioritaria a la reforestación de los sitios de reubicación, con especial atención a *Cedrela odorata* por su condición de especie en la NOM-059.

Equipo: tijeras de esqueje, hormonas de enraizamiento, charolas y sustrato de propagación, bolsas para estructuras reproductivas, etiquetas.

VI.3 Colecta de semilla (oportunista)

Las espcies meiante este método son *Cordia alliodora*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Ficus velutina*, especies arbóreas de gremio secundaria tardía sin regeneración aprovechable. Meta de colecta: **1 kg de semilla por especie**. El procedimiento comprende:

1. **Aprovechamiento oportunista.** Colecta de frutos y semillas de los individuos al momento del desmonte, aprovechando el material que de otro modo se perdería.
2. **Beneficio y almacenamiento.** Limpieza, secado y almacenamiento de la semilla en contenedores rotulados, en condiciones que preserven su viabilidad.
3. **Germinación en vivero.** Siembra y producción de planta para su incorporación a la reforestación de los sitios de reubicación.

Equipo: bolsas de semilla, contenedores rotulados, cribas/mallas para beneficio, etiquetas.

El detalle paso a paso de los tres métodos se sintetiza en la siguiente figura.

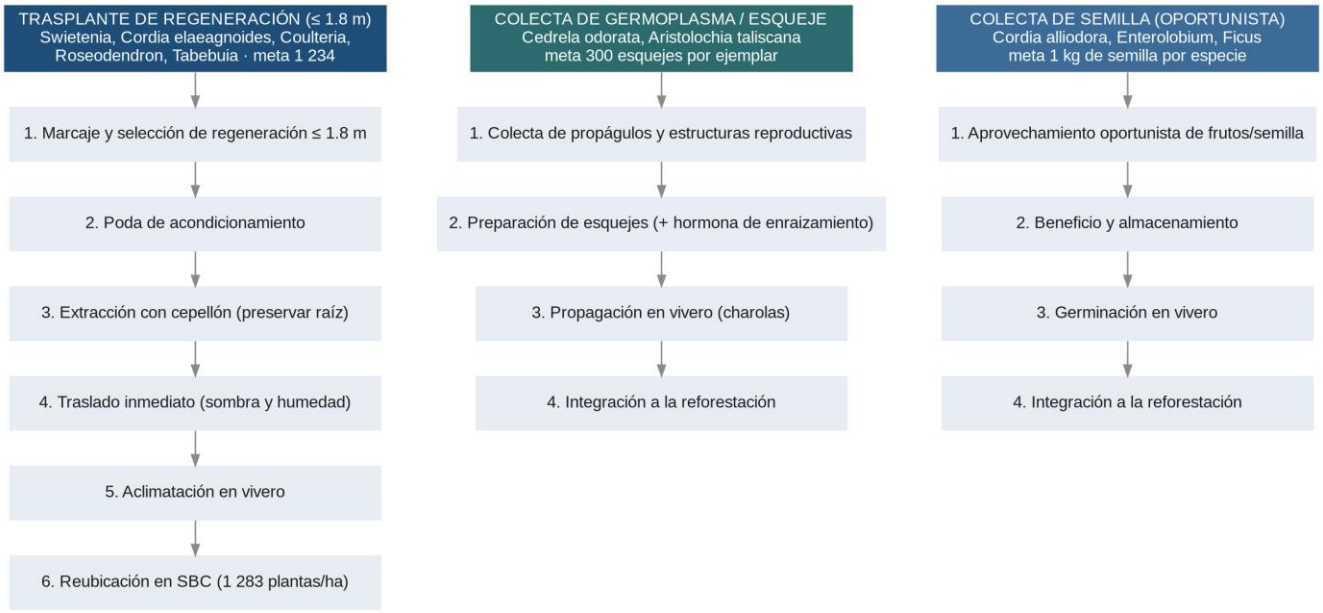


Figura 6. Procedimiento paso a paso de los tres métodos de rescate individual de flora.

La figura ordena la secuencia operativa de cada método: el trasplante de regeneración concentra seis fases centradas en la preservación del cepellón y la aclimatación; la colecta de germoplasma/esqueje y la colecta de semilla comparten la lógica de obtención del material de propagación, su enraizamiento o beneficio en vivero y su integración a la reforestación. La homologación de estas secuencias facilita la programación de la cuadrilla y la asignación del equipo dentro de la ventana PRE-derribo del Capítulo VIII.

Tabla 7. Equipo por método de rescate.

Método	Equipo principal
Trasplante de regeneración (≤ 1.8 m)	Palas, barretas, azadones, tijeras y serrote de poda, contenedores para cepellón, malla sombra, etiquetas
Colecta de germoplasma / esqueje	Tijeras de esqueje, hormonas de enraizamiento, charolas y sustrato, bolsas para estructuras reproductivas, etiquetas
Colecta de semilla (oportunista)	Bolsas de semilla, contenedores rotulados, cribas/mallas de beneficio, etiquetas

El equipo se dimensiona en función del método dominante —el trasplante de regeneración, que concentra la meta de 1 234 individuos— y prevé el instrumental específico para la propagación vegetativa (hormonas de enraizamiento, charolas) y el beneficio de semilla. La disponibilidad de este equipo en el frente de trabajo y en el centro de acopio es condición para cumplir la ventana PRE-derribo del Capítulo VIII.

VI.4 Manejo del suelo vegetal como banco de germoplasma

La recuperación de las 21 especies nativas no seleccionadas para rescate individual se realiza mediante la conservación y reincorporación del **horizonte superficial del suelo**, que constituye un banco natural de semillas y propágulos. El procedimiento comprende:

1. **Delimitación del despalme.** Identificación de las áreas de despalme dentro de cada frente, previo al retiro de la vegetación.
2. **Retiro selectivo del horizonte superficial.** Separación y acopio de la capa fértil superficial durante el despalme, evitando su mezcla con el subsuelo, a fin de conservar el banco de semillas, los propágulos, la microbiota y la estructura edáfica.
3. **Almacenamiento temporal.** Resguardo del suelo vegetal en montículos de altura limitada que mantengan la aireación y eviten la compactación y el encharcamiento, con el menor tiempo de acopio posible para preservar la viabilidad del banco.
4. **Reincorporación.** Extendido del horizonte superficial conservado sobre los sitios de reubicación y compensación como capa germinadora, que favorece el restablecimiento espontáneo de las especies pioneras y ruderales nativas.
5. **Protección con acolchado (*mulching*).** El material vegetal fino producto del desmonte se pica y esparce como acolchado sobre la capa germinadora, para conservar humedad, moderar la temperatura del suelo y proteger el banco de semillas.
6. **Control de propágulos exóticos.** Vigilancia y retiro de la germinación de especies exóticas o invasoras que pudieran provenir del propio banco, de modo que la reincorporación del suelo no favorezca su propagación.

El manejo del suelo vegetal es el mecanismo técnicamente idóneo para las 21 especies nativas de estrategia pionera o ruderal, cuya recuperación por trasplante individual es de baja factibilidad; preserva la capacidad de regeneración natural del sitio y complementa el rescate individual sin duplicar esfuerzos. El uso del material leñoso y fino del desmonte in situ —acolchado y, en el predio de compensación, barreras de material muerto— no requiere aviso de aprovechamiento ante la CONAFOR por tratarse de aprovechamiento en el propio sitio; cualquier quema en sitio quedaría sujeta a autorización por parte de la autoridad.

El procedimiento se resume en la figura de a continuación.

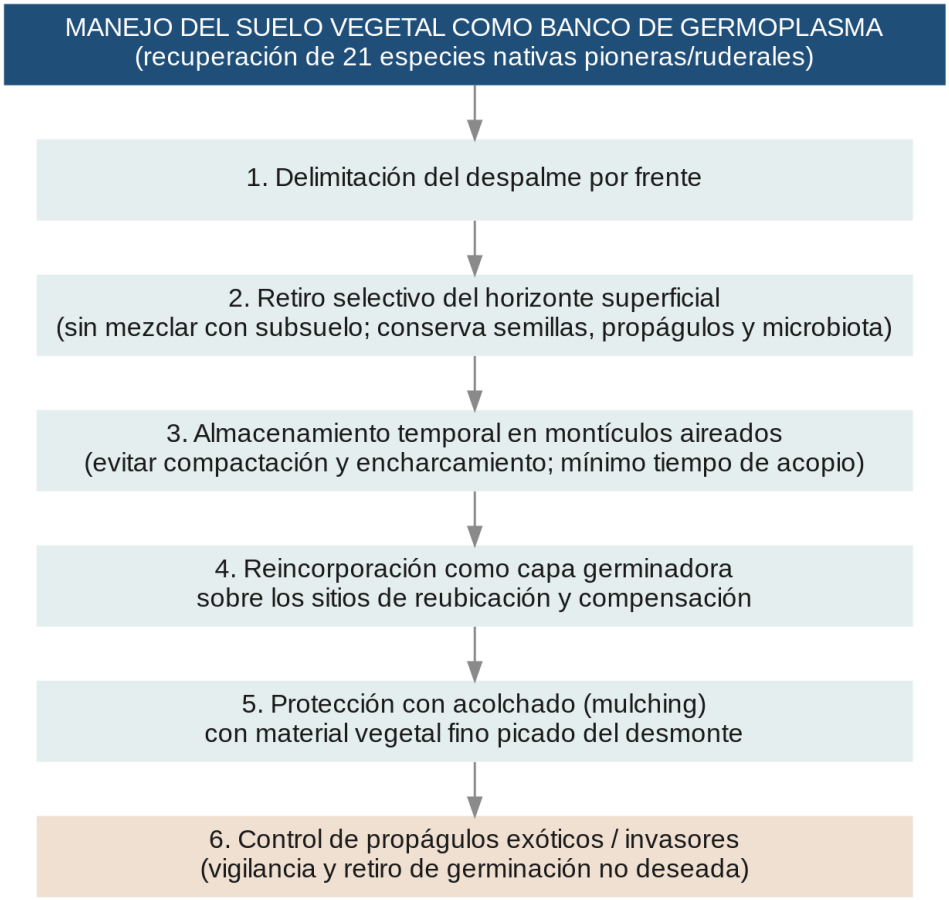


Figura 7. Procedimiento de manejo del suelo vegetal como banco de germoplasma, de la delimitación del despalme al control de propágulos exóticos.

VII Centro de acopio temporal (vivero)

El centro de acopio temporal (vivero) es la instalación de tránsito entre el rescate y la reubicación. Se ubica en terreno no forestal, con una superficie de 0.0375 ha, en las coordenadas UTM 575 838.58 E, 2 111 952.40 N. Su infraestructura y operación comprenden:

- **Infraestructura.** Malla de sombreo, sistema de riego, mesas o camas de aclimatación y propagación, y área de resguardo de insumos.
- **Recepción y manejo diferenciado.** Los individuos de trasplante se aclimatan hasta su recuperación; los esquejes se establecen en charolas para su enraizamiento; la semilla se beneficia y se siembra para producción de planta.
- **Riego y control fitosanitario.** Riego de mantenimiento y monitoreo sanitario del material durante su estancia.
- **Bitácora de ingreso.** Registro del material recibido por especie, método, cantidad y fecha, para asegurar su trazabilidad hasta la reubicación.

El vivero garantiza que el material rescatado —por trasplante o por propagación— alcance la condición fisiológica adecuada antes de su reubicación definitiva, lo que incrementa la probabilidad de prendimiento y sustenta la meta de supervivencia. Su condición de instalación temporal en terreno no forestal evita afectar superficie forestal adicional.

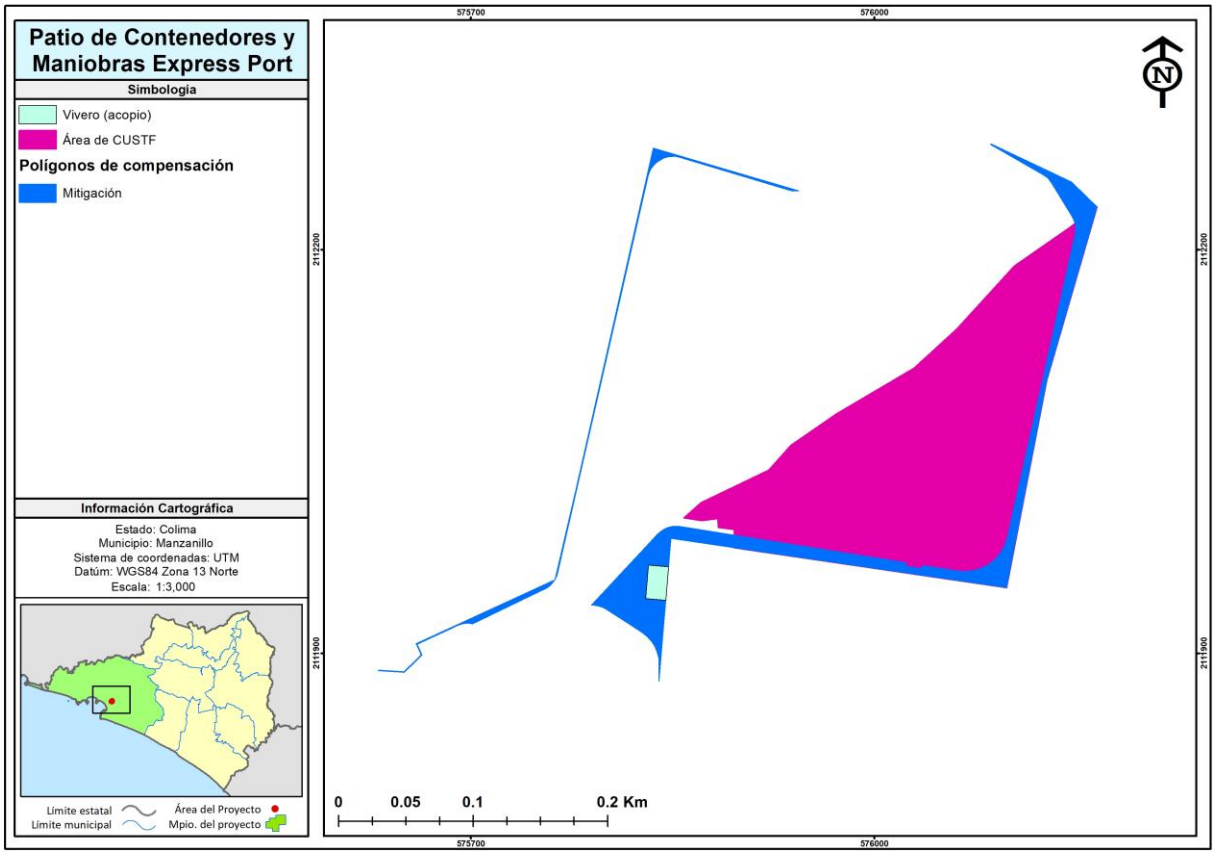


Figura 8. Ubicación del centro de acopio temporal (vivero).

VIII Sitios de reubicación

El material rescatado y propagado se reubica en dos sitios de Selva Baja Caducifolia —hábitat análogo al de origen—, conforme a la Tabla 1: la zona de **Mitigación (0.79 ha)** y la zona de **Compensación (3.55 ha)**, ambas a una densidad de referencia de **1m283 plantas/ha**. La superficie total de destino (4.34 ha) supera a la superficie de origen (3.4097 ha), por lo que no existe saturación de los sitios receptores; a la densidad de referencia, la capacidad de plantación de ambos sitios asciende a aproximadamente 5,568 plantas, holgadamente superior a los 1,543 individuos de trasplante (con prendimiento), lo que deja capacidad para el material propagado y para la reforestación.

- **Preparación del sitio.** Reincorporación del horizonte superficial conservado como capa germinadora y protección con acolchado.
- **Plantación.** Apertura de cepas y plantación a la densidad de referencia, distribuyendo las especies conforme a su gremio sucesional para reproducir la estructura de la Selva Baja Caducifolia.

- **Riego de establecimiento.** Riego posterior a la plantación para asegurar el prendimiento.

La reubicación en vegetación análoga y la holgura entre la capacidad de los sitios y el volumen de material rescatado satisfacen el requisito de adaptación al nuevo hábitat del artículo 141 fracción IX del RLGDFS y evitan el estrés por sobredensidad. El material rescatado se integra a la restauración de estos sitios; el programa de reforestación con planta de vivero adicional que completa la densidad objetivo del predio de compensación.

IX Mantenimiento

El mantenimiento de los sitios de reubicación asegura el establecimiento del material y sostiene la meta de supervivencia. Las actividades y su periodicidad propuesta se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 8. Actividades de mantenimiento de los sitios de reubicación.

Actividad	Descripción	Periodicidad propuesta
Riego de establecimiento	Aplicación de riego para asegurar el prendimiento, con énfasis en la temporada de estiaje del primer año	Según temporada; intensivo el primer año
Reposición de planta muerta	Sustitución del 100 % de los individuos muertos con planta del vivero	Al detectar mortalidad; balance anual
Deshierbe y limpia selectiva	Retiro de competencia herbácea alrededor del material establecido	Trimestral el primer año
Control fitosanitario	Monitoreo y atención de plagas y enfermedades	Continuo; atención según incidencia
Control de exóticas/invasoras	Vigilancia y retiro de germinación de especies no nativas	Continuo
Protección	Prevención de daños por herbivoría y por fuego	Continuo

El mantenimiento se concentra en el primer año —periodo crítico de establecimiento en la Selva Baja Caducifolia por la marcada estacionalidad hídrica— y prevé la reposición de planta muerta al 100 % como garantía de la meta de supervivencia. El control permanente de especies exóticas o invasoras es coherente con su exclusión del programa e impide que comprometan el restablecimiento de la vegetación nativa. La periodicidad aquí propuesta es de carácter técnico; el plazo total de mantenimiento y seguimiento se define en el § A.12 conforme al resolutivo de la autorización.

X Indicadores de éxito y seguimiento

El éxito del programa se verifica mediante indicadores medibles de establecimiento, aplicados por sitio de reubicación y por especie. La Tabla 9 presenta los indicadores y sus metas.

Tabla 9. Indicadores de éxito del programa de rescate y reubicación de flora.

Indicador	Definición	Meta
Cobertura del rescate	Individuos y material rescatados respecto de lo disponible en el frente PRE-derribo	100 % del material aprovechable
Cumplimiento de la meta de trasplante	Individuos reubicados respecto de la meta	1 234 individuos (1 543 con prendimiento)
Prendimiento de esquejes	Esquejes enraizados respecto de los colectados	≥ 70 %
Colecta de semilla	Semilla colectada por especie del método correspondiente	1 kg por especie
Supervivencia al primer año	Individuos vivos respecto de los reubicados, al año 1	≥ 80 %
Supervivencia acumulada	Individuos vivos respecto de los reubicados, al cierre del seguimiento	≥ 70 %
Reposición de planta muerta	Sustitución de individuos muertos con planta del vivero	100 %
Control de exóticas/invasoras	Ausencia de establecimiento de especies no nativas en los sitios receptores	Nula o mínima presencia

Los indicadores cubren la cadena completa del programa —rescate, propagación, reubicación y establecimiento— con metas cuantitativas verificables en campo, lo que permite acreditar ante la autoridad el cumplimiento de la medida derivada.

El seguimiento se documenta en los formatos y se reporta a la autoridad mediante informes periódicos. El plazo total de seguimiento y la periodicidad de los informes se ajustan **conforme al resolutivo de la autorización de CUSTF** que emita la autoridad; como piso técnico se propone un monitoreo de establecimiento de al menos **tres años**, con verificación de la supervivencia al primer año y de la supervivencia acumulada, e informes anuales.

XI.1 Cronograma

El rescate se ejecuta de manera anticipada al desmonte y avanza frente por frente, en estricta sujeción al calendario de desmonte del Capítulo VIII. La Tabla 10 presenta las fases del programa y su momento de ejecución.

Tabla 10. Cronograma del programa de rescate y reubicación de flora.

Fase	Actividades	Momento de ejecución
1. Preparación	Habilitación del vivero/centro de acopio; integración y capacitación de la cuadrilla; abasto de equipo e insumos	Previo al inicio del desmonte

Fase	Actividades	Momento de ejecución
2. Rescate	Marcaje y georreferenciación; extracción con cepellón; colecta de germoplasma/esqueje y de semilla	PRE-derribo, frente por frente
3. Acopio y propagación	Aclimatación de individuos; enraizamiento de esquejes; beneficio y germinación de semilla	Continuo durante la fase de rescate
4. Reubicación	Preparación de sitios (reincorporación de suelo y acolchado); plantación a 1 283 plantas/ha; riego de establecimiento	Preferentemente al inicio de la temporada de lluvias
5. Mantenimiento y seguimiento	Riego, reposición de planta muerta, control de exóticas, monitoreo de supervivencia e informes	Posterior a la reubicación; primer año intensivo; plazo conforme al resolutivo

El planteamiento del rescate a la fase PRE-derribo del Capítulo VIII garantiza que ningún individuo o fuente de germoplasma con criterio de conservación se pierda durante el desmonte. La programación de la reubicación al inicio de la temporada de lluvias es determinante para el prendimiento en la Selva Baja Caducifolia, dada su marcada estacionalidad hídrica, y sustenta la meta de supervivencia.

X.2 Recursos humanos y materiales

La ejecución del programa requiere el personal y los recursos materiales que se resumen en la tabla posterior, dimensionados en función del método dominante (trasplante de regeneración, meta de 1,234 individuos) y de la operación del vivero.

Tabla 11. Recursos humanos y materiales del programa.

Tipo	Recurso	Función
Humano	Responsable técnico (PSTF)	Dirección, supervisión técnica y firma del programa
Humano	Técnico de vivero/propagación	Operación del centro de acopio, propagación y control fitosanitario
Humano	Cuadrilla de rescate y reubicación	Marcaje, extracción, colecta, plantación y mantenimiento
Material	Equipo de rescate por método	Herramienta de extracción, poda, esqueje y beneficio de semilla
Material	Infraestructura de vivero	Malla de sombreo, sistema de riego, mesas de aclimatación, charolas y sustrato
Material	Vehículo de traslado	Transporte de material rescatado del frente al vivero y a los sitios de reubicación
Material	Insumos	Hormonas de enraizamiento, sustrato, agua de riego, etiquetas, contenedores y bitácoras

La conformación de la cuadrilla y la capacidad del vivero se dimensionan para atender la meta de rescate en la ventana PRE-derribo, sin generar cuellos de botella entre la extracción y la aclimatación. La conformación nominal de la cuadrilla y el lugar y fecha de ejecución los define el PSTF conforme a la programación de la obra.

X.3 Formatos y bitácoras

El programa se documenta mediante los formatos y bitácoras que se presentan en blanco a continuación, los cuales aseguran la trazabilidad del material desde su rescate hasta su establecimiento y constituyen el soporte de los informes de seguimiento. Todas las coordenadas se registran en UTM 13N WGS84.

Tabla 12. Ficha de rescate por individuo/lote.

Folio	Especie	Método	Talla (m)	Coordenada UTM (E, N)	Frente	Fecha	Estado	Observaciones

Tabla 13. Bitácora de colecta de germoplasma/semilla.

Fecha	Especie	Tipo de material (esqueje/semilla/estructura)	Cantidad (esquejes / kg)	Ejemplar de origen (coord. UTM)	Responsable	Observaciones

Tabla 14. Bitácora de ingreso a vivero.

Fecha de ingreso	Especie	Método	Cantidad	Condición al ingreso	Ubicación en vivero	Responsable

Tabla 15. Ficha de reubicación.

Fecha	Sitio (Mitigación/ Compensación)	Especie	Cantidad	Coordenada UTM (E, N)	Densidad (plantas/ha)	Responsable	Observaciones

Tabla 16. Bitácora de mantenimiento y riego.

Fecha	Sitio	Actividad (riego/deshierbe/ fitosanitario/control de exóticas)	Área atendida	Insumos	Responsable	Observaciones

Tabla 17. Seguimiento de supervivencia por periodo.

Periodo/fecha	Sitio	Especie	N inicial	N vivos	Supervivencia (%)	Planta muerta a reponer	Responsable

Manifestación de Impacto Ambiental para el

CAMBIO DE USO DE SUELO EN TERRENOS FORESTALES

Anexo B

Programa de Ahuyentamiento, Rescate y Reubicación de Fauna

Express Port — Patio de Contenedores y Maniobra

Manzanillo, Colima

ÍNDICE

1. Introducción 4
2. Objetivos 4
3. Área de aplicación y localización 5
4. Criterios de inclusión y asignación del nivel de manejo 5
5. Especies objeto de manejo por grupo faunístico 8
5.1 Aves 8
5.2 Mamíferos 10
5.3 Reptiles 11
6. Metodología de manejo 13
6.1 Consideraciones generales 13
6.2 Nivel 1 — Ahuyentamiento dirigido (32 especies) 15
6.3 Nivel 2 — Rescate físico (19 especies) 15
6.4 Nivel 3 — Manejo especializado (contingencia; 0 especies) 16
6.5 Bienestar animal y minimización de la mortalidad 16
7. Protocolo específico de atención a especies NOM-059 16
8. Sitio de reubicación de fauna 17
8.1 Criterios de elegibilidad y localización 17
8.2 Verificación de la oferta trófica por gremio 18
9. Esfuerzo y calendarización 19
10. Indicadores de éxito y seguimiento 20
11. Recursos humanos y materiales 21
11.1 Cuadrilla 21
11.2 Equipo y materiales 21
12. Formatos y bitácoras 22
13. Medidas complementarias 23
14. Responsable técnico 23

Índice De Tablas

Tabla 1. Localización del sitio de reubicación de fauna. 5
Tabla 2. Criterios de asignación del nivel de manejo de fauna. 6
Tabla 3. Aves objeto de manejo. 8
Tabla 4. Reptiles objeto de manejo. 11
Tabla 5. Distribución de las especies por nivel de manejo y grupo faunístico. 13
Tabla 6. técnica de captura se ajusta a la ecología 15
Tabla 7. Protocolo específico para las especies en categoría de riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010). 16
Tabla 8. Gremios tróficos de las especies reubicadas (Nivel 2) y recurso a verificar en el sitio. 19
Tabla 9. Actividades y momento de ejecución. 20
Tabla 10. Indicadores de desempeño del programa de manejo de fauna. 20
Tabla 11. Composición de la cuadrilla. 21
Tabla 12. Equipo y materiales por función. 21
Tabla 13. Bitácora de barrido por frente. 22
Tabla 14. Ficha de captura/manejo por individuo. 22
Tabla 15. Ficha individual NOM-059. 22
Tabla 16. Ficha de liberación. 22
Tabla 17. Bitácora de incidencias y mortalidad. 22

Índice De Figuras

Figura 1. Diagrama de asignación del nivel de manejo por ecología de la especie, con la sobreposición transversal de la categoría NOM-059. 7
Figura 2. Matriz de clasificación ecológica de las especies de fauna (velocidad de desplazamiento × distribución vertical), base de la asignación del nivel de manejo 12
Figura 3. Distribución de los niveles de manejo (N1/N2/N3) por grupo faunístico. 13
Figura 4. Proceso operativo del programa de ahuyentamiento, rescate y reubicación de fauna. 14
Figura 5. Secuencia del protocolo específico de atención a las especies en categoría de riesgo NOM-059. 17
Figura 6. Localización del sitio de reubicación de fauna respecto de la superficie de CUSTF. 18
Figura 7. Cronograma relativo del programa, anclado al calendario de desmonte (Cap VIII). 19
Figura 8. Estructura de la cuadrilla de manejo de fauna (composición estándar). 21

1. Introducción

El presente programa constituye la versión operativa y ejecutable para la protección de la fauna de la Manifestación de Impacto Ambiental por el Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales (ETJ-CUSTF) del proyecto **Patio de Contenedores y Maniobra Express Port**, en el municipio de Manzanillo, Colima. Desarrolla, a nivel de detalle de campo, los protocolos de ahuyentamiento dirigido, captura, contención, traslado y liberación de las especies de fauna silvestre que podrían resultar afectadas por la remoción de la vegetación en la superficie de CUSTF (3.4097 ha de Selva Baja Caducifolia en estado sucesional secundario arbóreo), así como las acciones que aseguran su adaptación al nuevo hábitat. No repite ni sustituye el análisis del Capítulo IX: lo detalla en forma de protocolos paso a paso, formatos y bitácoras de registro, esfuerzo y calendarización, e indicadores de seguimiento.

La obligación de integrar este programa deriva del **artículo 93 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS)**, conforme al cual las autorizaciones de cambio de uso de suelo en terrenos forestales deben incluir un programa de rescate y reubicación de las especies de flora y fauna afectadas y su adaptación al nuevo hábitat, desarrollado con el contenido mínimo que establece el **artículo 141, fracción IX, del Reglamento de la LGDFS (RLGDFS)**. El programa se inscribe, de manera general, en el marco de la **Ley General de Vida Silvestre (LGVS) y su Reglamento** —que rigen el manejo de la vida silvestre y la protección de las especies en riesgo—, de la **NOM-059-SEMARNAT-2010 (Modificación del Anexo III, DOF 14-XI-2019)** —que determina las categorías de riesgo y la atención específica que debe darse a las especies listadas—, y de la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)** en materia de preservación de la flora y la fauna silvestres. En el plano internacional, es congruente con el **Convenio sobre la Diversidad Biológica (conservación in situ)** y con la **CITES** respecto de las especies incluidas en sus Apéndices.

El programa materializa el manejo de las 51 especies de fauna registradas —con atención individualizada a las 4 en categoría de riesgo NOM-059, las 11 endémicas y las 5 incluidas en el Apéndice II de la CITES— es el mecanismo mediante el cual se evita la pérdida de fauna y se asegura la permanencia de las poblaciones en un hábitat análogo dentro de su rango natural de distribución.

2. Objetivos

Objetivo general. Prevenir y mitigar la pérdida de fauna silvestre derivada de la remoción de la vegetación en la superficie de CUSTF del proyecto Express Port, mediante el ahuyentamiento dirigido de las especies de alta movilidad y el rescate físico, traslado y reubicación de las especies de lento desplazamiento hacia un hábitat análogo, con atención específica a las especies en categoría de riesgo, asegurando su adaptación al nuevo sitio.

Objetivos específicos.

1. Ejecutar el **ahuyentamiento dirigido (Nivel 1)** de las 32 especies de alta movilidad (31 aves y 1 quiróptero) mediante el avance progresivo del frente de desmonte, previa inspección de nidos activos y exclusión de refugios y perchas.

2. Realizar la **captura, contención y traslado (Nivel 2)** de las 19 especies de lento desplazamiento (9 mamíferos terrestres/arborícolas y 10 reptiles), con las técnicas correspondientes a su ecología (velocidad de desplazamiento y distribución vertical).
3. Aplicar el **protocolo específico de atención** a las 4 especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (*Accipiter striatus*, *Aspidoscelis lineattissimus*, *Ctenosaura pectinata* e *Hypsiglena torquata*), con ficha individual, seguimiento y liberación verificada.
4. **Reubicar** los ejemplares rescatados en un sitio de hábitat análogo (Selva Baja Caducifolia, 5.56 ha) fuera del polígono de CUSTF y de su zona de influencia, dentro del rango de distribución natural de cada especie y sin saturar la capacidad de carga del sitio receptor.
5. **Minimizar la mortalidad directa** durante la captura, el manejo y el traslado, mediante el barrido PRE-derribo frente por frente y la ejecución por personal técnico acreditado.
6. **Documentar y dar seguimiento** al programa mediante formatos, bitácoras e indicadores de desempeño que permitan verificar su éxito y reportarlo a la autoridad.

3. Área de aplicación y localización

El programa se aplica sobre la superficie de CUSTF del proyecto y ordena la reubicación de los ejemplares rescatados hacia un sitio receptor de hábitat análogo. La superficie de CUSTF es de **3.4097 ha**, distribuida en **2 polígonos**, cubierta por Selva Baja Caducifolia en estado sucesional secundario arbóreo, en predio de **propiedad privada** en el municipio de Manzanillo, Colima. Todas las coordenadas se expresan en **UTM Zona 13N, Datum WGS84**.

Tabla 1. Localización del sitio de reubicación de fauna.

Sitio	Superficie	Este (m)	Norte (m)	Coordenadas geográficas	Hábitat / observación
Sitio de reubicación de fauna	5.56 ha	575 527.53	2 113 142.88	19.10990°, −104.28194°	Selva Baja Caducifolia (hábitat análogo, no saturado)

El sitio de reubicación satisface los criterios del Art. 141 fr. IX RLGDFS y de la guía CUSTF: es de la **misma vegetación** que la afectada (Selva Baja Caducifolia), se localiza **fuera del polígono de CUSTF y de su zona de influencia**, y su superficie (5.56 ha) supera la del CUSTF (3.4097 ha), lo que ofrece un margen de capacidad de carga para los ejemplares reubicados sin saturar al receptor. La compatibilidad de hábitat asegura la continuidad de la oferta trófica y de los refugios propios de cada gremio, condición de la adaptación al nuevo hábitat que exige el Art. 93 LGDFS:

4. Criterios de inclusión y asignación del nivel de manejo

La totalidad de las 51 especies de fauna silvestre registradas en el inventario del área de CUSTF (Capítulo IV) son objeto del presente programa; ninguna se excluye a priori. Lo que se diferencia entre especies es el **nivel de manejo** —esto es, la técnica y la intensidad de la intervención—, que se asigna en función de la ecología de cada especie. La guía CUSTF y el artículo 141, fracción IX, del RLGDFS distinguen de manera expresa entre las **técnicas de ahuyentamiento** —aplicables a las especies con capacidad de evadir por sí mismas el frente de obra— y el **rescate y reubicación** —previsto para las especies de lento desplazamiento, listadas o no en la NOM-059-SEMARNAT-2010, endémicas o de importancia

ecológica—. Sobre esa base normativa, el análisis Flora-Fauna clasifica cada especie y emite el nivel que aquí se transcribe.

La asignación descansa en dos ejes ecológicos y un eje transversal:

- **Eje 1 — Velocidad de desplazamiento y capacidad de evasión.** Discrimina entre las especies que pueden abandonar el frente de obra ante una perturbación progresiva (alta movilidad) y las que no lo logran (baja movilidad) y quedan, por tanto, expuestas a la remoción de la vegetación.
- **Eje 2 — Distribución vertical.** Ubica a la especie en el estrato que ocupa (volador, arborícola o de suelo), lo que determina a la vez su grado de exposición y la técnica de captura o exclusión aplicable.
- **Eje transversal — Categoría de riesgo NOM-059.** No modifica el nivel asignado, pero añade un protocolo individualizado a las especies listadas.

De la combinación de los dos primeros ejes resultan tres niveles de manejo, cuya regla de decisión y acción operativa se resumen en la tabla y se ilustran en la figura siguientes.

Tabla 2. Criterios de asignación del nivel de manejo de fauna.

Nivel	Regla de decisión (ecología)	Acción operativa	No. de especies
N1 — Ahuyentamiento dirigido	Especie voladora (ave o quiróptero): alta capacidad de evasión por vuelo	Ahuyentamiento por avance progresivo del frente de desmonte; inspección de nidos activos y exclusión de refugios/perchas previos al derribo	32
N2 — Rescate físico	Baja velocidad de desplazamiento y distribución en suelo o arborícola: sin evasión por vuelo	Captura, contención, traslado y liberación en hábitat análogo, con la técnica que corresponde a su ecología (velocidad y estrato)	19
N3 — Manejo especializado	Serpiente venenosa (familias Viperidae o Elapidae)	Manejo por personal autorizado con equipo especializado (gancho y pinza herpetológicos, contenedor rígido rotulado)	0

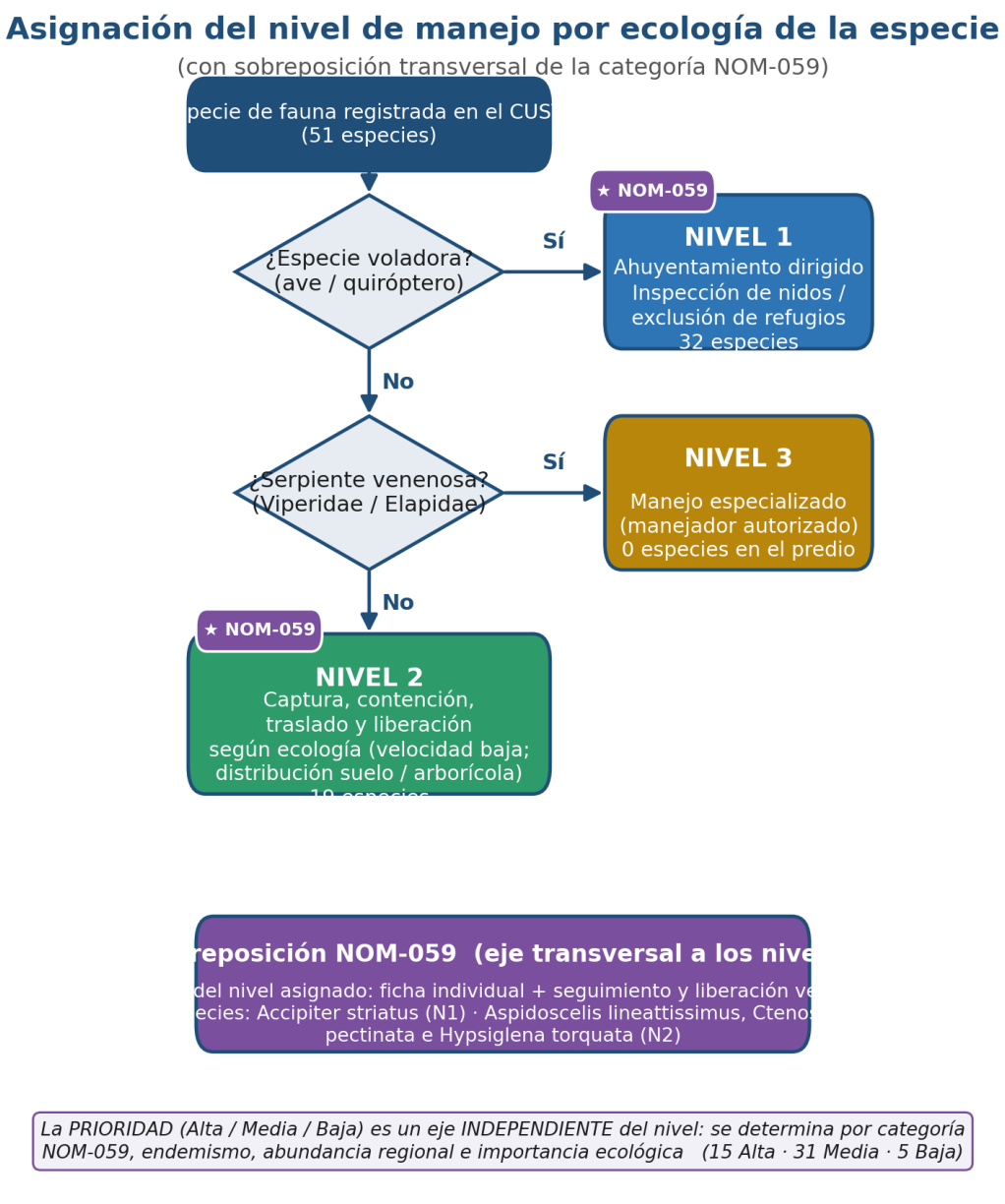


Figura 1. Diagrama de asignación del nivel de manejo por ecología de la especie, con la sobreposición transversal de la categoría NOM-059.

Sobre el Nivel 3 (N3 = 0). El nivel existe en el diseño metodológico del programa, pero **ninguna especie del predio lo activa**: el inventario de reptiles (Capítulo IV) no registró especies de las familias Viperidae ni Elapidae. La ausencia se hace constar como confirmada contra la base de campo, no inferida; de registrarse una especie venenosa en el barrido, se activaría el protocolo de manejo especializado por personal autorizado.

Sobre el eje transversal NOM-059. Con independencia del nivel asignado por ecología, las **4 especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010** reciben un protocolo individualizado (ficha por ejemplar, seguimiento y liberación verificada): *Accipiter striatus* (Pr) opera bajo Nivel 1, y *Aspidoscelis lineattissimus*

(Pr), *Ctenosaura pectinata* (A) e *Hypsiglena torquata* (Pr) bajo Nivel 2. La sobreposición garantiza la atención específica que la LGVS y la NOM-059 exigen para las especies en riesgo, sin alterar la técnica que dicta su ecología.

Sobre el eje de prioridad (independiente del nivel). De forma paralela y sin relación con la técnica de manejo, cada especie recibe una **prioridad de atención** (Alta, Media o Baja) determinada por la conjunción de su categoría NOM-059, su condición de endemismo, su abundancia regional y su importancia ecológica. La distribución resultante es de **15 especies de prioridad Alta, 31 de prioridad Media y 5 de prioridad Baja**. La prioridad ordena el esfuerzo y la atención de la cuadrilla —dónde concentrar la vigilancia y el registro—, mientras que el nivel define la técnica; ambos ejes son ortogonales, de modo que una especie de prioridad Alta puede corresponder al Nivel 1 (p. ej. *Accipiter striatus* o la endémica *Sporophila torqueola*) o al Nivel 2 (p. ej. la endémica *Notocitellus annulatus*).

Vinculación. El criterio de asignación por ecología es el mecanismo que ajusta la intervención al riesgo real de cada especie y, con ello, materializa el mandato del artículo 93 de la LGDFS de evitar la pérdida de biodiversidad: las especies voladoras se ahuyentan y abandonan el sitio por su propio medio —lo que evita el estrés y la mortalidad asociados a una captura innecesaria—, en tanto que las especies de lento desplazamiento, que de otro modo perecerían con la remoción de la vegetación, se rescatan físicamente y se reubican en hábitat análogo. El eje transversal NOM-059 asegura la atención específica que ordenan la LGVS y la NOM-059 para las especies en riesgo, y el eje independiente de prioridad permite concentrar el esfuerzo de la cuadrilla donde el valor de conservación es mayor, sin modificar la técnica que impone la ecología de cada especie. La clasificación es congruente con el contenido mínimo del artículo 141, fracción IX, del RLGDFS y con la guía CUSTF.

5. Especies objeto de manejo por grupo faunístico

El programa maneja las **51 especies** de fauna silvestre registradas en el inventario del área de CUSTF (Capítulo IV), presentadas de forma segregada por grupo faunístico —aves, mamíferos y reptiles— para dimensionar por separado el método, el nivel y la prioridad de cada uno. Las columnas reportan la categoría de riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010, Mod. Anexo III DOF 14-XI-2019), la distribución (nativa, endémica o exótica-invasora), el Apéndice CITES, la categoría de la Lista Roja de la UICN, la velocidad de desplazamiento, el estrato vertical, el nivel de manejo asignado y la prioridad de atención. La ausencia de estatus se asienta como "—" (verificada, no inferida).

5.1 Aves

Tabla 3. Aves objeto de manejo.

N.º	Especie	Nombre común	NOM-059	Distribución	CITES	UICN	Velocidad	Estrato	Nivel	Prioridad
1	*Accipiter striatus*	Gavilán pecho canela	Pr	Nativa	II	LC	alta	voladora	N1	Alta
2	*Amazilia rutila*	Colibrí canelo	—	Nativa	II	LC	alta	voladora	N1	Media
3	*Ardea alba*	Garza blanca	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
4	*Buteo brachyurus*	Aguililla cola corta	—	Nativa	II	LC	alta	voladora	N1	Alta
5	*Cassiculus melanicterus*	Cacique mexicano	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media

N.º	Especie	Nombre común	NOM-059	Distribución	CITES	UICN	Velocidad	Estrato	Nivel	Prioridad
6	*Cathartes aura*	Buitre americano cabecirrojo	—	Nativa	—	LC	alta	voladora	N1	Baja
7	*Chordeiles acutipennis*	Chotacabras menor	—	Nativa	—	LC	alta	suelo	N1	Media
8	*Circus hudsonius*	Gavilán rastrero	—	Nativa	II	LC	alta	voladora	N1	Alta
9	*Columbina inca*	Tortolita cola larga	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
10	*Coragyps atratus*	Zopilote común	—	Nativa	—	LC	alta	voladora	N1	Baja
11	*Crotophaga sulcirostris*	Garrapatero pijuy	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
12	*Cyanocorax formosus*	Urraca-hermosa cara blanca	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
13	*Himantopus mexicanus*	Monjita americana	—	Nativa	—	—	media	voladora	N1	Alta
14	*Hirundo rustica*	Golondrina tijereta	—	Nativa	—	LC	alta	voladora	N1	Media
15	*Icterus cucullatus*	Calandria dorso negro menor	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
16	*Icterus pustulatus*	Calandria dorso rayado	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
17	*Leptotila verreauxi*	Paloma arroyera	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
18	*Molothrus ater*	Tordo cabeza café	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
19	*Myiarchus tyrannulus*	Papamoscas gritón	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
20	*Myiozetetes similis*	Luisito común	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
21	*Peucaea ruficauda*	Zacatonero corona rayada	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
22	*Piaya cayana*	Cuclillo canelo	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
23	*Pitangus sulphuratus*	Bienteveo común	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
24	*Polioptila caerulea*	Perlita azulgrís	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
25	*Quiscalus mexicanus*	Zanate mexicano	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Baja
26	*Sporophila torqueola*	Semillero de collar	—	Endémica	—	LC	media	voladora	N1	Alta
27	*Streptopelia decaocto*	Paloma turca de collar	—	Exótica-Invasora	—	LC	media	voladora	N1	Media
28	*Tyrannus crassirostris*	Tirano pico grueso	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
29	*Tyrannus melancholicus*	Tirano pirirí	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media
30	*Tyrannus verticalis*	Tirano pálido	—	Nativa	—	LC	alta	voladora	N1	Media
31	*Zenaida asiatica*	Paloma alas blancas	—	Nativa	—	LC	media	voladora	N1	Media

Las 31 aves se manejan en **Nivel 1 (ahuyentamiento dirigido)**, congruente con su capacidad de evasión por vuelo; el manejo no contempla la captura de adultos, sino el desplazamiento por el avance progresivo del frente, la inspección de nidos activos y la exclusión de perchas. El caso de *Chordeiles acutipennis* —de distribución en suelo pero condición aviar— confirma que el criterio rector del nivel es la movilidad, no el estrato: aun anidando en el suelo, su capacidad de vuelo la mantiene en N1, con especial cuidado en la inspección de puestas antes del derribo. Cuatro especies figuran en el **Apéndice II de la CITES** (*Accipiter striatus*, *Amazilia rutila*, *Buteo brachyurus*, *Circus hudsonius*) y una —*Accipiter striatus* (Pr)— en la NOM-059, por lo que recibe además el protocolo individualizado; la endémica *Sporophila torqueola* y las rapaces de amplio ámbito elevan a prioridad Alta a cinco de las aves. *Streptopelia decaocto*, por su condición exótica-invasora, se ahuyenta pero **no es objeto de reubicación ni de fomento**, en congruencia con el principio de no favorecer especies invasoras.

5.2 Mamíferos

El grupo se resuelve en dos niveles según la movilidad: el único quiróptero, *Glossophaga soricina*, es **volador y por tanto Nivel 1** (ahuyentamiento con exclusión de refugios/perchas previa al derribo), mientras que los nueve mamíferos terrestres y arborícolas de baja velocidad son **Nivel 2 (rescate físico)**. Las técnicas de captura se ajustan a la talla y el estrato: trampeo Sherman para micromamíferos (*Heteromys pictus*, *Oryzomys couesi*), Tomahawk para medianos (*Dasypus novemcinctus*, *Didelphis virginiana*, *Mephitis macroura*, *Procyon lotor*) y captura con acceso a copa para la ardilla arborícola. Tres especies endémicas —*Notocitellus annulatus*, *Osgoodomys banderanus* y *Sciurus colliaei*— concentran la prioridad Alta del grupo. Para *Notocitellus annulatus* y *Sciurus colliaei*, de hábitos gregarios/coloniales, el manejo procura la contención del grupo para evitar su dispersión durante el barrido. Ninguna especie del grupo está enlistada en la NOM-059 ni en la CITES.Mamíferos objeto de manejo.

N.º	Especie	Nombre común	NOM-059	Distribución	CITES	UICN	Velocidad	Estrato	Nivel	Prioridad
1	*Dasypus novemcinctus*	Armadillo	—	Nativa	—	—	baja	suelo	N2	Media
2	*Didelphis virginiana*	Tlacuache	—	Nativa	—	LC	baja	suelo	N2	Baja
3	*Glossophaga soricina*	Murciélago lengüetón	—	Nativa	—	—	alta	voladora	N1	Media
4	*Heteromys pictus*	Ratón espinoso pintado	—	Nativa	—	LC	baja	suelo	N2	Media
5	*Mephitis macroura*	Zorrillo listado sureño	—	Nativa	—	LC	baja	suelo	N2	Media
6	*Notocitellus annulatus*	Tesmo	—	Endémica	—	LC	baja	suelo	N2	Alta
7	*Oryzomys couesi*	Rata arrocera de agua	—	Nativa	—	LC	baja	suelo	N2	Media
8	*Osgoodomys banderanus*	Ratón de Banderas	—	Endémica	—	LC	baja	suelo	N2	Alta
9	*Procyon lotor*	Mapache	—	Nativa	—	LC	baja	suelo	N2	Baja
10	*Sciurus colliaei*	Ardilla gris del Pacífico	—	Endémica	—	LC	baja	arborícola	N2	Alta

5.3 Reptiles

Los diez reptiles son de baja velocidad y se manejan íntegramente en **Nivel 2 (rescate físico)**, con la técnica ajustada al estrato: captura directa/manual para las formas de suelo (*Aspidoscelis* spp., *Holcosus undulatus*, *Sceloporus utiformis*, *Hypsiglena torquata*) y captura con acceso a la vegetación para las arborícolas (*Anolis nebulosus*, *Ctenosaura pectinata*, *Sceloporus melanorhinus*, *S. pyrocephalus*, *Urosaurus bicarinatus*). El grupo concentra el mayor valor de conservación: **siete especies endémicas** y **tres enlistadas en la NOM-059** —*Aspidoscelis lineattissimus* (Pr), *Ctenosaura pectinata* (A, además en CITES II) e *Hypsiglena torquata* (Pr)—, todas de prioridad Alta y con protocolo individualizado. Debe subrayarse que *Hypsiglena torquata*, pese a ser una serpiente, es un **colúbrido no venenoso**: no activa el Nivel 3 —reservado a Viperidae y Elapidae— y se maneja por captura directa como el resto de los reptiles de suelo. Para *Ctenosaura pectinata*, de hábitos gregarios, el manejo atiende al grupo para evitar su dispersión.

Tabla 4. Reptiles objeto de manejo.

N.º	Especie	Nombre común	NOM-059	Distribución	CITES	UICN	Velocidad	Estrato	Nivel	Prioridad
1	*Anolis nebulosus*	Anolis	—	Endémica	—	LC	baja	arborícola	N2	Alta
2	*Aspidoscelis deppii*	Huico de líneas	—	Nativa	—	LC	baja	suelo	N2	Media
3	*Aspidoscelis lineattissimus*	Lagartija cola azul	Pr	Endémica	—	LC	baja	suelo	N2	Alta
4	*Ctenosaura pectinata*	Iguana negra	A	Endémica	II	LC	baja	arborícola	N2	Alta
5	*Holcosus undulatus*	Lagartija arcoíris	—	Nativa	—	LC	baja	suelo	N2	Media
6	*Hypsiglena torquata*	Culebra nocturna	Pr	Endémica	—	LC	baja	suelo	N2	Alta
7	*Sceloporus melanorhinus*	Lagartija espinosa de hocico negro	—	Nativa	—	LC	baja	arborícola	N2	Media
8	*Sceloporus pyrocephalus*	Roño cabeza roja	—	Endémica	—	LC	baja	arborícola	N2	Alta
9	*Sceloporus utiformis*	Roño de suelo	—	Endémica	—	LC	baja	suelo	N2	Alta
10	*Urosaurus bicarinatus*	Lagartija de árbol del Pacífico	—	Endémica	—	LC	baja	arborícola	N2	Alta

La clasificación ecológica que sustenta estas tablas (velocidad de desplazamiento frente a distribución vertical) se ilustra en la figura siguiente.

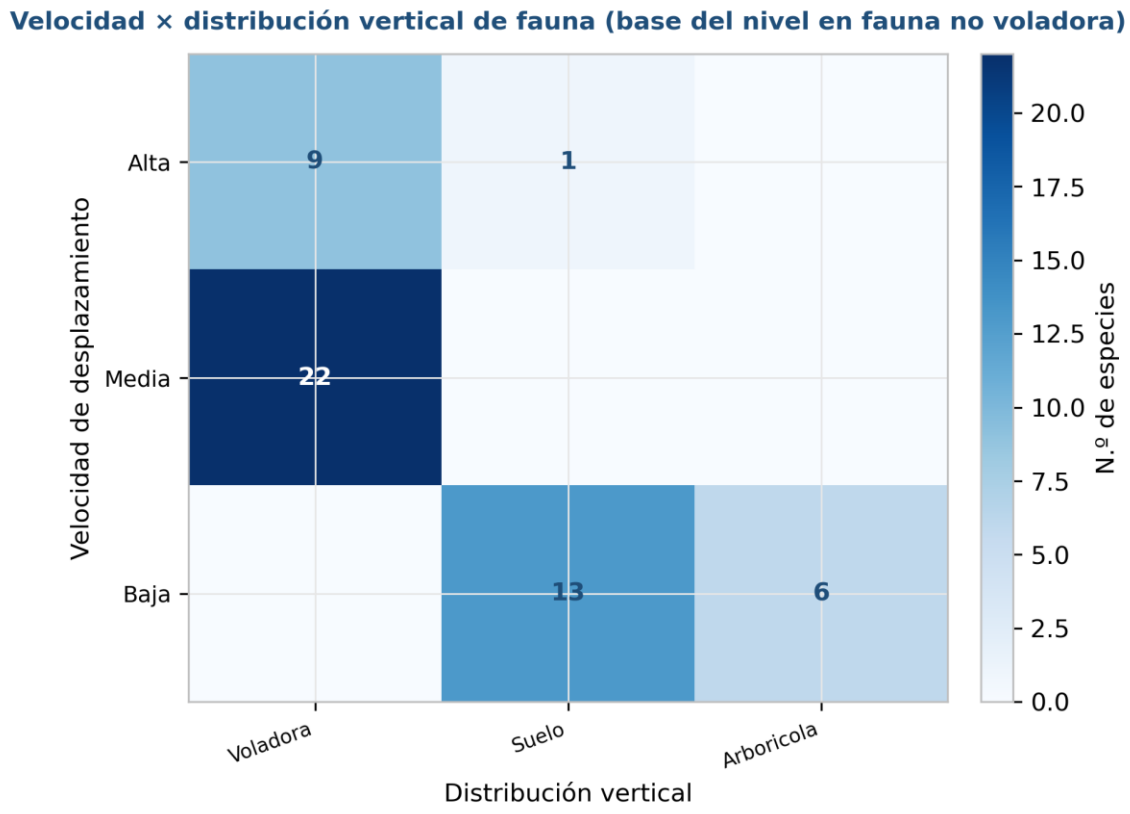


Figura 2. Matriz de clasificación ecológica de las especies de fauna (velocidad de desplazamiento × distribución vertical), base de la asignación del nivel de manejo

Niveles de manejo (N1, N2, N3): definición y alcance Los tres niveles de manejo delimitan la intensidad y la técnica de la intervención sobre cada especie, conforme a los criterios. Su definición y alcance son los siguientes:

- **Nivel 1 — Ahuyentamiento dirigido.** Aplica a las **32 especies voladoras** (31 aves y 1 quiróptero). Consiste en inducir el abandono voluntario del frente de obra mediante el avance progresivo y ordenado del desmonte, sin captura de adultos. Comprende la inspección previa de nidos activos —con manejo específico de puestas o crías si se detectan— y la exclusión de refugios y perchas (relevante para el quiróptero) antes del derribo. Su alcance se limita al desplazamiento seguro de los individuos hacia la vegetación circundante fuera del polígono de afectación.
- **Nivel 2 — Rescate físico.** Aplica a las **19 especies de lento desplazamiento** (9 mamíferos terrestres/arborícolas y 10 reptiles). Comprende la captura por medios ajustados a la ecología de cada especie (trampeo Sherman y Tomahawk, captura manual o directa, acceso a copa), la contención y el manejo cuidadoso, el traslado en contenedores adecuados y la liberación en el sitio de reubicación de hábitat análogo. Su alcance abarca desde la captura hasta la verificación de la liberación.
- **Nivel 3 — Manejo especializado.** Reservado a las **serpientes venenosas** de las familias Viperidae y Elapidae, cuyo manejo exige personal autorizado y equipo especializado. En el predio **no se registró ninguna especie que active este nivel** (0 especies); se mantiene como protocolo de contingencia por si el barrido detectara un ejemplar no registrado en el inventario.

Tabla 5. Distribución de las especies por nivel de manejo y grupo faunístico.

Grupo	N1	N2	N3	Total
Aves	31	0	0	31
Mamíferos	1	9	0	10
Reptiles	0	10	0	10
Total	**32**	**19**	**0**	**51**

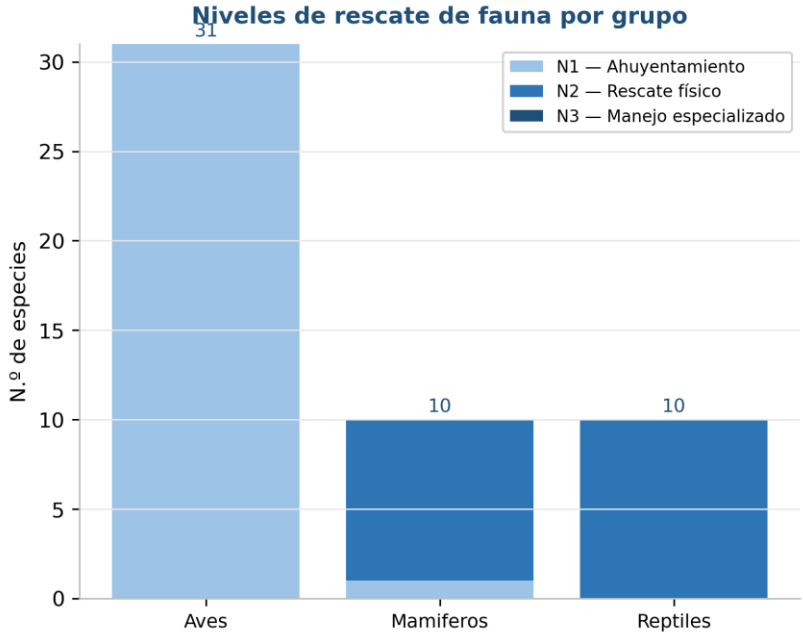


Figura 3. Distribución de los niveles de manejo (N1/N2/N3) por grupo faunístico.

La distribución de niveles confirma la lógica ecológica del programa: la avifauna se resuelve íntegramente por ahuyentamiento (N1), el único mamífero volador acompaña a ese nivel, y la totalidad de los reptiles junto con los nueve mamíferos terrestres/arborícolas requieren rescate físico (N2), donde se concentra el mayor esfuerzo de captura y traslado. La ausencia de casos en N3 se hace constar como verificada contra la base de campo (sin Viperidae ni Elapidae registradas), no inferida, y no exime de mantener el protocolo de contingencia. Esta estructura dimensiona el equipo, las técnicas y el esfuerzo que se detallan en las secciones de metodología, protocolo NOM-059, esfuerzo y calendarización y recursos, y materializa el mandato del artículo 93 de la LGDFS de evitar la pérdida de biodiversidad ajustando la intervención al riesgo real de cada especie.

6. Metodología de manejo

6.1 Consideraciones generales

El manejo de la fauna se ejecuta en la modalidad de **barrido PRE-derribo, frente por frente**, de modo que la cuadrilla recorra e intervenga cada frente inmediatamente antes de su desmonte, en congruencia con el calendario de desmonte del Capítulo VIII. El esfuerzo estimado es de **1 jornada de barrido** (superficie de CUSTF de 3.4097 ha a un rendimiento de 5.0 ha/jornada), a ajustar al secuenciamiento real de los frentes.

La **ventana temporal** de operación se sujeta a tres criterios: (i) se coordina con el calendario de desmonte (Cap VIII); (ii) se evita, en lo posible, la época reproductiva de las especies; y (iii) en las aves migratorias, la intervención se programa fuera de la temporada de presencia/migración. Toda la operación se realiza por personal técnico acreditado —un responsable con formación en biología o afín y auxiliares de captura y manejo—, bajo criterios de bienestar animal que minimizan el tiempo de manipulación y el estrés de los ejemplares.

El proceso operativo completo, con la bifurcación por nivel de manejo y los pasos comunes de registro y seguimiento, se ilustra en la siguiente figura.

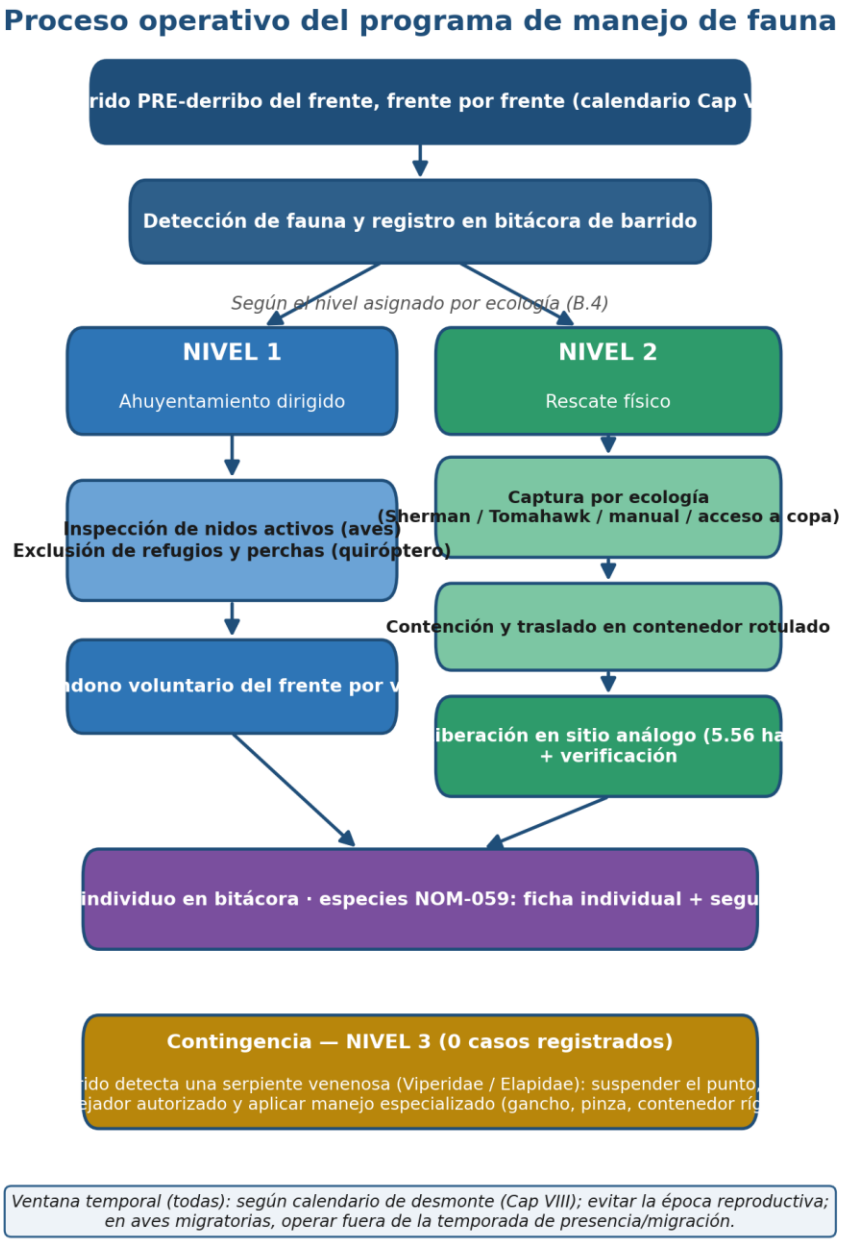


Figura 4. Proceso operativo del programa de ahuyentamiento, rescate y reubicación de fauna.

6.2 Nivel 1 — Ahuyentamiento dirigido (32 especies)

El ahuyentamiento dirigido induce el abandono voluntario del frente por parte de las especies voladoras, sin captura de adultos, aprovechando el avance progresivo y ordenado del desmonte como estímulo de desplazamiento.

Aves (31 especies). Se aplica el ahuyentamiento por avance del frente, precedido de la **inspección de nidos activos**. Cuando se detecten puestas o crías, se maneja el nido de forma específica y, cuando sea técnicamente viable, se reubica a un sitio análogo cercano; este cuidado es prioritario en la especie NOM-059 (*Accipiter striatus*). La operación se programa evitando la época reproductiva y, en las especies migratorias, fuera de la temporada de presencia/migración.

Quiróptero (**Glossophaga soricina****).** Por su condición voladora se maneja también en Nivel 1, con la particularidad de que requiere la **inspección y exclusión de refugios y perchas antes del derribo**; no se capturan adultos en vuelo y, en su caso, se favorece la reubicación a un refugio o percha análogos cercanos.

6.3 Nivel 2 — Rescate físico (19 especies)

El rescate físico comprende la captura, la contención, el traslado y la liberación de las especies de lento desplazamiento. La técnica de captura se ajusta a la ecología (velocidad y estrato) de cada especie:

Tabla 6. técnica de captura se ajusta a la ecología

Grupo ecológico	Técnica de captura	Especies
Micromamíferos de suelo	Trampeo Sherman	*Heteromys pictus*, *Oryzomys couesi*
Mamíferos medianos de suelo	Trampeo Tomahawk y captura manual	*Dasypus novemcinctus*, *Didelphis virginiana*, *Mephitis macroura*, *Procyon lotor*
Fauna arborícola (mamífero y reptiles)	Ahuyentamiento por dosel + rescate manual/con red de los individuos que no escapen; acceso a copa	*Sciurus colliaei*, *Anolis nebulosus*, *Ctenosaura pectinata*, *Sceloporus melanorhinus*, *Sceloporus pyrocephalus*, *Urosaurus bicarinatus*
Reptiles de suelo	Captura directa / manual	*Aspidoscelis deppii*, *Aspidoscelis lineattissimus*, *Holcosus undulatus*, *Hypsiglena torquata*, *Sceloporus utiformis*

Manejo de especies gregarias/coloniales. En *Notocitellus annulatus*, *Sciurus colliaei* y *Ctenosaura pectinata*, el manejo procura la contención del grupo o colonia completo para evitar su dispersión durante el barrido.

Contención y traslado. Los ejemplares se contienen y trasladan en recipientes adecuados a cada grupo —bolsas de tela para reptiles pequeños, contenedores rígidos ventilados y rotulados para mamíferos—, con traslado inmediato al sitio de reubicación para minimizar el tiempo de manejo.

Liberación. La liberación se realiza en el sitio de hábitat análogo (5.56 ha), dentro del **rango de distribución natural** de cada especie y verificando la **oferta trófica** acorde a su gremio (insectívora,

granívora, herbívora, omnívora o carnívora), evitando la saturación del sitio y en el horario adecuado a los hábitos de la especie (diurnos o nocturnos). Cada liberación se verifica y se registra.

6.4 Nivel 3 — Manejo especializado (contingencia; 0 especies)

Aunque el inventario no registró especies venenosas, se mantiene el protocolo de contingencia: ante la detección de una serpiente de las familias Viperidae o Elapidae durante el barrido, se suspende la actividad en el punto, se da aviso al **manejador autorizado** y se procede con equipo especializado (gancho y pinza herpetológicos, contenedor rígido rotulado), traslado y liberación en hábitat análogo.

6.5 Bienestar animal y minimización de la mortalidad

Todo el manejo se orienta a la mortalidad directa mínima o nula: avance ordenado del frente, inspección visual previa, tiempos de manipulación reducidos, contenedores adecuados y liberación oportuna. Las incidencias y cualquier mortalidad se registran en la bitácora correspondiente para su reporte.

La metodología ajusta la técnica al riesgo real de cada especie —desplazamiento asistido para las voladoras, rescate físico para las de lento desplazamiento— y ejecuta el manejo antes del derribo, frente por frente, que es la condición que hace efectiva la prevención de la pérdida de fauna exigida por el artículo 93 de la LGDFS. Los métodos, ventanas y criterios de liberación provienen del análisis Flora-Fauna).

7. Protocolo específico de atención a especies NOM-059

Con independencia del nivel de manejo asignado por su ecología, las **cuatro especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010** (Modificación del Anexo III, DOF 14-XI-2019) reciben una atención individualizada adicional: ficha por ejemplar, manejo conforme a su nivel, traslado y liberación verificada en hábitat análogo, y seguimiento con evidencia documental. El protocolo, común a las cuatro especies, se detalla en los siguiente.

Tabla 7. Protocolo específico para las especies en categoría de riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010).

Especie	Nombre común	Grupo	NOM-059	Nivel	Gremio trófico	Criterio de liberación y atención específica
Accipiter striatus	Gavilán pecho canela	Aves	Pr	N1	Carnívora (rapaz)	Desplazamiento por vuelo; inspección de nidos activos y, en su caso, reubicación de nido a sitio análogo cercano; ficha y seguimiento
Aspidoscelis lineattissimus	Lagartija cola azul	Reptiles	Pr	N2	Insectívora	Captura directa; liberación en hábitat análogo dentro del rango natural (México), con oferta trófica insectívora; ficha y seguimiento
Ctenosaura pectinata	Iguana negra	Reptiles	A	N2	Herbívora	Rescate con acceso a copa y manejo del grupo; liberación en hábitat análogo (México) con oferta trófica herbívora; ficha y seguimiento
Hypsiglena torquata	Culebra nocturna	Reptiles	Pr	N2	Carnívora	Colúbrido **no venenoso** (no activa N3); captura directa; liberación en hábitat análogo (Norteamérica–México); liberación en horario nocturno; ficha y seguimiento

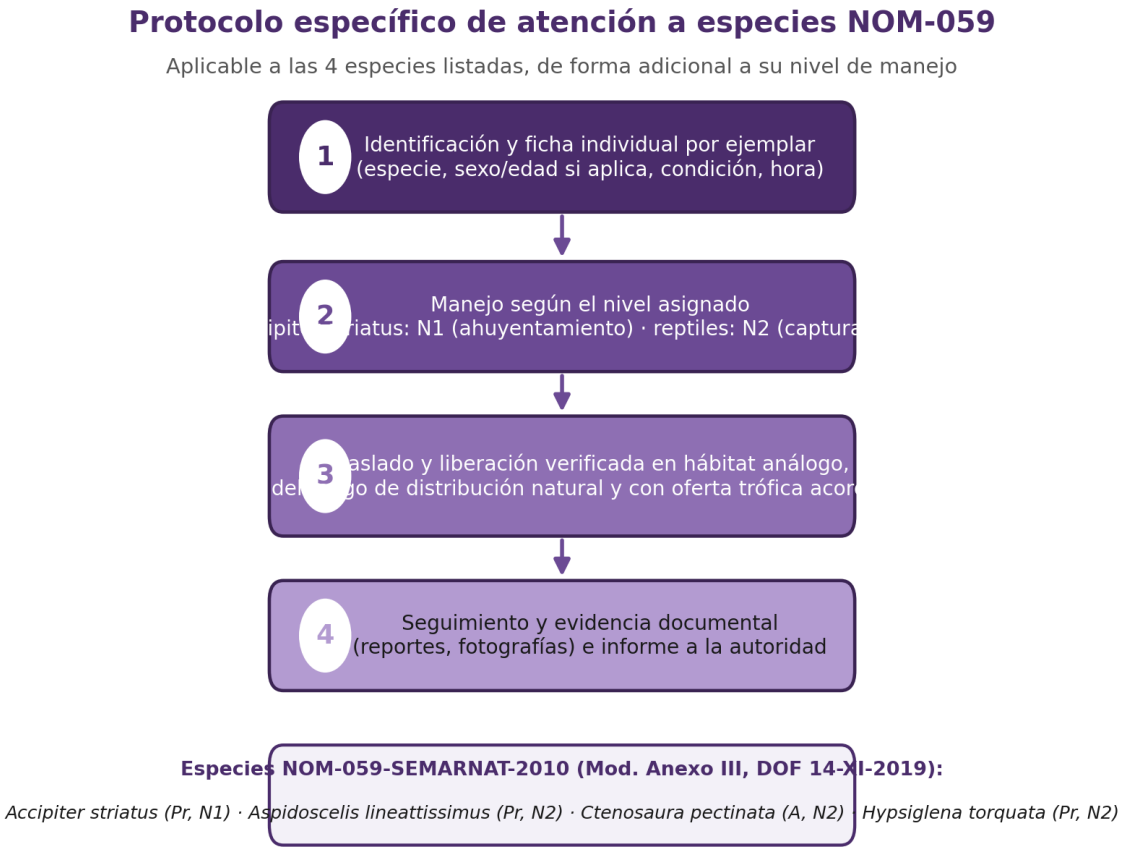


Figura 5. Secuencia del protocolo específico de atención a las especies en categoría de riesgo NOM-059.

Criterio de liberación (común a las especies N2). La liberación se realiza en hábitat análogo (misma vegetación, Selva Baja Caducifolia) fuera del polígono de CUSTF y de su zona de influencia, dentro del rango de distribución natural de la especie, verificando la oferta trófica según su gremio y evitando la saturación del sitio. Para *Accipiter striatus* (N1), la atención se centra en el desplazamiento por vuelo y en el manejo de nidos activos, dado que no procede su captura.

El protocolo materializa la atención específica que la Ley General de Vida Silvestre y la NOM-059-SEMARNAT-2010 exigen para las especies en categoría de riesgo, y satisface el estándar del artículo 93 de la LGDFS y del artículo 141, fracción IX, del RLGDFS de asegurar la conservación de las especies afectadas. La ficha individual y el seguimiento generan la evidencia documental que permite verificar el cumplimiento ante la autoridad. Debe subrayarse que *Hypsiglena torquata*, aunque es una serpiente, es un colúbrido no venenoso y se maneja en Nivel 2 por captura directa, sin activar el Nivel 3, reservado exclusivamente a Viperidae y Elapidae.

8. Sitio de reubicación de fauna

8.1 Criterios de elegibilidad y localización

El sitio de reubicación se selecciona conforme a los criterios de la guía CUSTF y del artículo 141, fracción IX, del RLGDFS: debe ser de **hábitat análogo** al afectado, ubicarse **fuera del polígono de CUSTF y de su**

zona de influencia, encontrarse dentro del **rango de distribución natural** de las especies, y contar con **capacidad de carga** suficiente para no saturar al receptor, verificando el nicho ecológico y la oferta trófica.

El sitio propuesto satisface estos criterios: es de **Selva Baja Caducifolia** (la misma vegetación afectada), tiene una superficie de **5.56 ha** —superior a las 3.4097 ha de CUSTF, lo que otorga margen de capacidad de carga— y se localiza fuera del polígono de afectación. Sus coordenadas se asentaron en secciones previas (575 527.53 E, 2 113 142.88 N; 19.10990°, −104.28194°; UTM 13N WGS84). La ubicación cartográfica del sitio respecto del frente de desmonte se presenta en la siguiente figura.

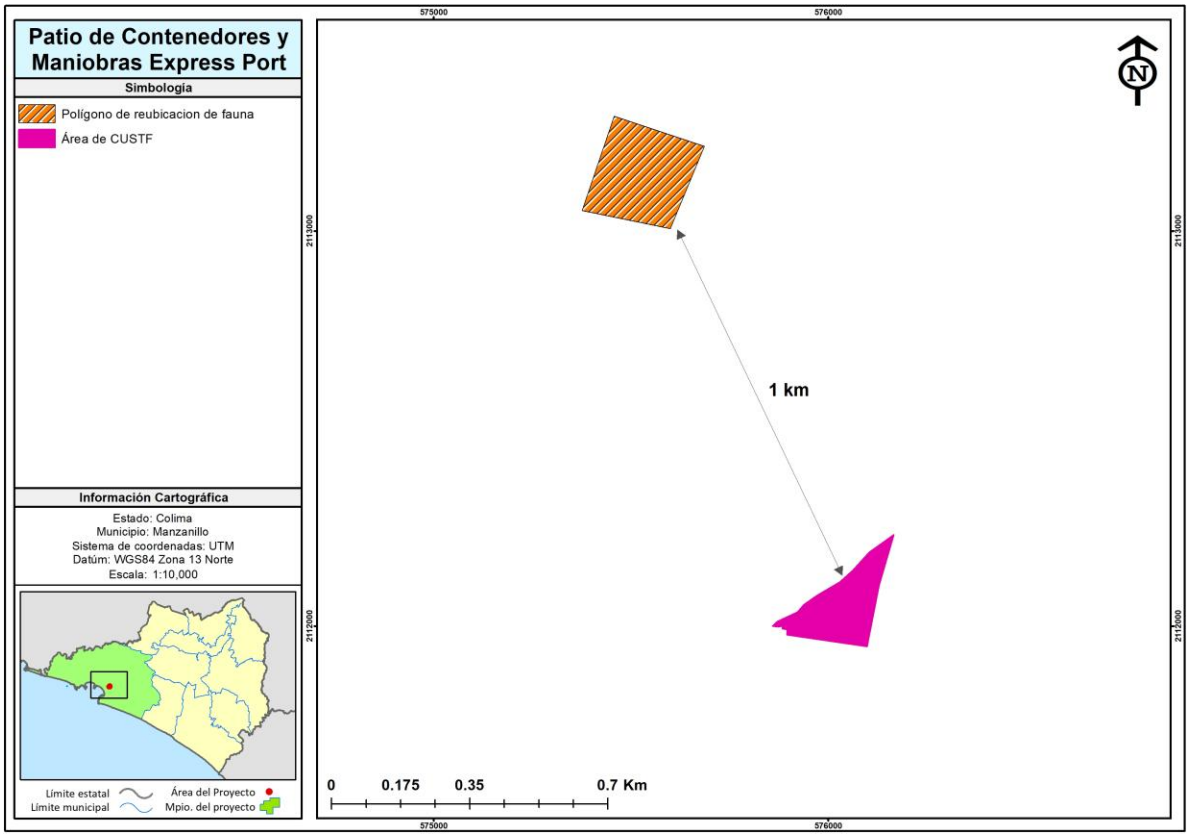


Figura 6. Localización del sitio de reubicación de fauna respecto de la superficie de CUSTF.

La distancia entre el frente de desmonte y el sitio de reubicación es de más de 1 km l del polígono de CUSTF.

8.2 Verificación de la oferta trófica por gremio

La reubicación aplica a las **19 especies de Nivel 2** (las de Nivel 1 se desplazan por vuelo y no se reubican). Para asegurar la adaptación al nuevo hábitat, la liberación de cada especie se condiciona a la verificación previa de la oferta trófica acorde a su gremio, conforme se resume en la siguiente tabla.

Tabla 8. Gremios tróficos de las especies reubicadas (Nivel 2) y recurso a verificar en el sitio.

Gremio trófico	N.º spp	Especies representativas	Recurso a verificar en el sitio
Insectívora	9	*Anolis nebulosus*, *Aspidoscelis deppii*, *A. lineattissimus*, *Holcosus undulatus*, *Sceloporus* spp., *Urosaurus bicarinatus*, *Dasypus novemcinctus*	Disponibilidad de artrópodos e invertebrados en hojarasca y dosel
Omnívora	5	*Didelphis virginiana*, *Mephitis macroura*, *Oryzomys couesi*, *Osgoodomys banderanus*, *Procyon lotor*	Frutos, invertebrados y pequeños vertebrados
Granívora	2	*Heteromys pictus*, *Sciurus colliaei*	Semillas y frutos
Herbívora	2	*Notocitellus annulatus*, *Ctenosaura pectinata*	Follaje, brotes, flores y frutos
Carnívora	1	*Hypsiglena torquata*	Presas de pequeño tamaño (reptiles y anfibios)

El sitio cumple las condiciones de hábitat análogo, capacidad de carga y oferta trófica que exige la guía CUSTF para garantizar la adaptación de los ejemplares reubicados, requisito del artículo 93 de la LGDFS. La verificación de la oferta trófica por gremio —insectívora, omnívora, granívora, herbívora y carnívora— asegura que cada especie encuentre en el sitio los recursos propios de su nicho, evitando la mortalidad diferida por inanición y la competencia por saturación.

9. Esfuerzo y calendarización

El manejo se ejecuta en modalidad **PRE-derribo, frente por frente**, inmediatamente antes del desmonte de cada frente. El esfuerzo estimado por el análisis Flora-Fauna es de **1 jornada de barrido**, resultante de la superficie de CUSTF (3.4097 ha) a un rendimiento de **5.0 ha/jornada**; este valor se ajusta al secuenciamiento real de los frentes definido en el calendario de desmonte del Capítulo VIII.

El programa no fija fechas absolutas, pues su ejecución se activa con la autorización del CUSTF; el cronograma se ancla a **T0 = inicio del desmonte**, según se muestra a continuación.

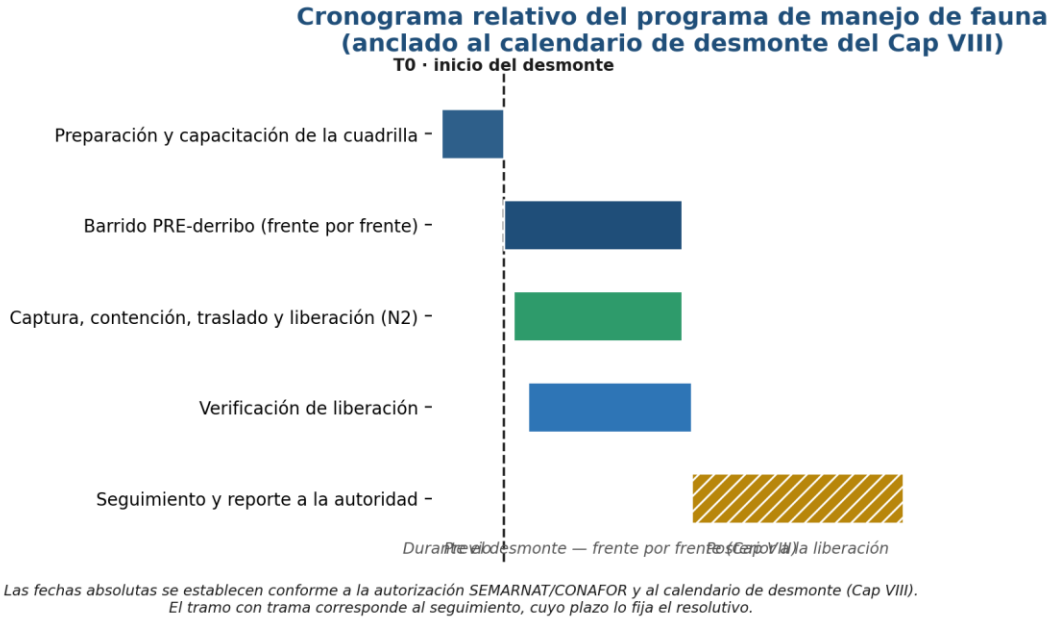


Figura 7. Cronograma relativo del programa, anclado al calendario de desmonte (Cap VIII).

Tabla 9. Actividades y momento de ejecución.

Actividad	Momento (relativo)	Observación
Preparación y capacitación de la cuadrilla	Previo a T0	Acreditación del responsable; equipo de captura, contención y traslado
Barrido PRE-derribo (frente por frente)	T0, durante el desmonte	1 jornada @ 5.0 ha/jornada; alineado a los frentes del Cap VIII
Captura, contención, traslado y liberación (N2)	Concurrente con el barrido	Traslado inmediato al sitio de reubicación
Verificación de liberación	Inmediata a cada liberación	Registro en ficha de liberación
Seguimiento y reporte a la autoridad	Posterior a la liberación	plazo y periodicidad según autorización

El anclaje del barrido al PRE-derribo y a los frentes del Capítulo VIII es la condición que hace efectiva la prevención: el manejo ocurre antes de la remoción de la vegetación en cada frente, no de forma genérica. El esfuerzo de 1 jornada es proporcional a la superficie de CUSTF y al rendimiento del barrido.

10. Indicadores de éxito y seguimiento

El desempeño del programa se evalúa con indicadores medibles, cada uno con su meta, método de verificación y umbral de alarma, conforme a la siguiente tabla.

Tabla 10. Indicadores de desempeño del programa de manejo de fauna.

Indicador	Meta	Método de verificación	Umbral de alarma
Cobertura del barrido pre-derribo	100 % del frente desmontado	Bitácora de barrido por frente	Cobertura < 100 %
Mortalidad directa durante captura, manejo y traslado	Mínima o nula	Bitácora de incidencias/mortalidad	Mortalidad por encima de lo mínimo esperado
Ejemplares rescatados liberados en hábitat análogo	100 % de los rescatados	Fichas de captura y de liberación	< 100 %
Especies NOM-059 con ficha individual y seguimiento	100 % (4 especies)	Fichas individuales y reportes	< 100 %

El plazo y la periodicidad del seguimiento y de los informes contempla: informes durante la temporada de desmonte, la verificación de la liberación de los ejemplares, y un seguimiento posterior a la liberación conforme a la condicionante que fije el resolutivo. A título orientativo, los programas de esta naturaleza suelen contemplar un seguimiento plurianual con evidencia documental (reportes, fotografías); el plazo vinculante, sin embargo, lo determina la autorización.

Los indicadores permiten verificar objetivamente el cumplimiento de los objetivos del programa y generar la evidencia que la autoridad requiere para constatar que no se comprometió la fauna afectada, en los términos del artículo 93 de la LGDFS. La atención al 100 % de las especies NOM-059 con ficha y seguimiento satisface la exigencia de atención específica de la LGVS y la NOM-059 para las especies en categoría de riesgo.

11. Recursos humanos y materiales

11.1 Cuadrilla

El programa se ejecuta con una cuadrilla de composición estándar, encabezada por un responsable técnico acreditado, conforme a la figura y tablas siguientes:

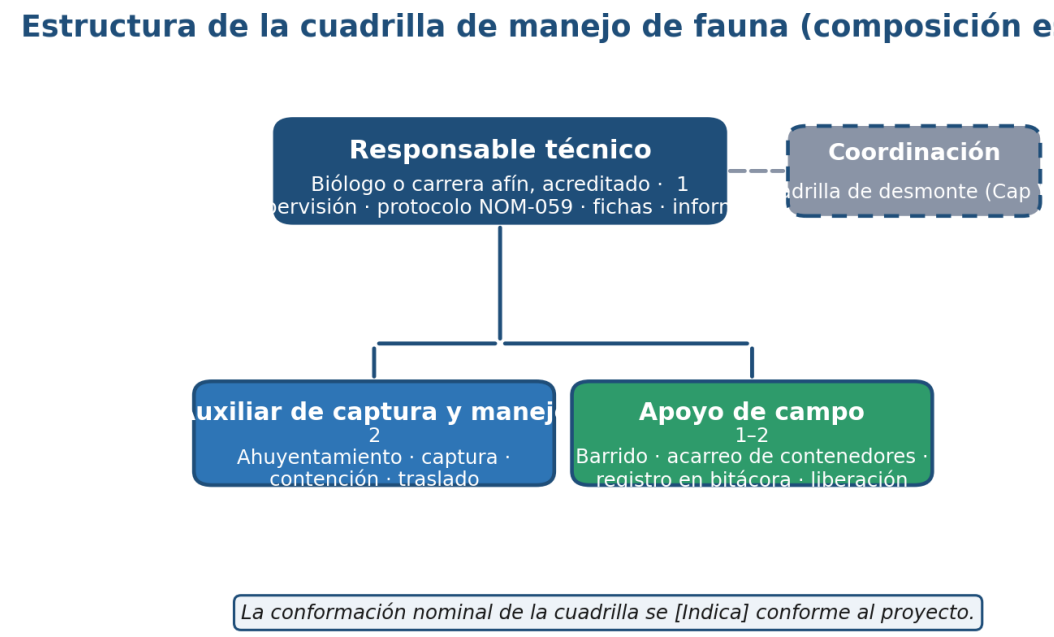


Figura 8. Estructura de la cuadrilla de manejo de fauna (composición estándar).

Tabla 11. Composición de la cuadrilla.

Rol	Perfil	N.º	Funciones principales
Responsable técnico	Biólogo o carrera afín, debidamente acreditado	1	Supervisión del programa, protocolo NOM-059, fichas individuales, decisiones de manejo e informes a la autoridad
Auxiliar de captura y manejo	Técnico de campo con experiencia en manejo de fauna	2	Ahuyentamiento, captura, contención y traslado de ejemplares
Apoyo de campo	Personal de campo	1–2	Barrido del frente, acarreo de contenedores, registro en bitácora y liberación

11.2 Equipo y materiales

Tabla 12. Equipo y materiales por función.

Función	Equipo / material
Captura	Trampas Sherman (micromamíferos), trampas Tomahawk (medianos), redes de mano, gancho y pinza herpetológicos (contingencia N3)
Contención y traslado	Bolsas de tela (reptiles pequeños), contenedores rígidos ventilados y rotulados, cajas de transporte

Función	Equipo / material
Registro	Formatos y bitácoras, GPS, cámara fotográfica, cinta métrica
Protección personal y atención	Guantes, botas, ropa de campo, botiquín
Señalización	Cinta y banderillas para el marcaje de frentes, nidos activos y refugios

La composición de la cuadrilla y el equipo se dimensionan a partir de los niveles de manejo y del esfuerzo de barrido: la presencia de un responsable acreditado satisface la exigencia de supervisión técnica de la guía CUSTF, y el equipo de captura y contención responde a la ecología de las 19 especies de Nivel 2.

12. Formatos y bitácoras

El anexo incorpora los formatos en blanco que soportan la trazabilidad del programa en campo. Se presentan como plantillas para su reproducción e integración a las evidencias documentales.

Tabla 13. Bitácora de barrido por frente.

Fecha	Frente	Superficie (ha)	Hora inicio	Hora fin	Responsable	Observaciones

Tabla 14. Ficha de captura/manejo por individuo.

Folio	Fecha/hora	Especie	Grupo	Sexo/edad (si aplica)	Nivel	Método de captura	Condición	Observaciones

Tabla 15. Ficha individual NOM-059.

Folio	Especie	Categoría NOM-059	Fecha/hora	Sexo/edad	Condición	Manejo aplicado	Sitio de liberación (UTM 13N)	Seguimiento	Responsable

Tabla 16. Ficha de liberación.

Folio	Fecha/hora	Especie	N.º ejemplares	Sitio (UTM 13N WGS84)	Condición a la liberación	Verificación	Responsable

Tabla 17. Bitácora de incidencias y mortalidad.

Fecha/hora	Especie	Evento (incidencia/mortalidad)	Causa probable	Acción tomada	Responsable

Los formatos operacionalizan los indicadores: la bitácora de barrido sustenta la cobertura del 100 % del frente; las fichas de captura y de liberación, el 100 % de ejemplares liberados en hábitat análogo; la ficha NOM-059, la atención específica de las 4 especies en riesgo; y la bitácora de incidencias, el indicador de mortalidad. Constituyen la evidencia documental que la guía CUSTF requiere para el seguimiento del programa.

13. Medidas complementarias

- **Capacitación previa** de la cuadrilla de manejo y de la cuadrilla de desmonte sobre los objetivos y protocolos del programa.
- **Avance ordenado y unidireccional** del frente de desmonte, que favorezca la huida natural de la fauna hacia la vegetación circundante.
- **Prohibición al personal** de colectar, cazar, capturar, comercializar o dañar fauna fuera del protocolo del programa.
- **Coordinación permanente** con la cuadrilla de desmonte para garantizar el manejo PRE-derribo frente por frente.
- **Marcaje y protección** de nidos activos y refugios detectados durante la inspección.
- **Control de velocidad** de la maquinaria durante el desmonte para evitar atropellamiento de fauna.
- **Prohibición de introducir fauna doméstica** al predio, para no afectar a la fauna nativa.
- **Botiquín y protocolo de atención** ante mordeduras o lesiones del personal.

Vinculación. Las medidas complementarias refuerzan la prevención de la pérdida de fauna del artículo 93 de la LGDFS y previenen la introducción de especies exóticas, en congruencia con la Ley General de Vida Silvestre.

14. Responsable técnico

El presente Programa de Ahuyentamiento, Rescate y Reubicación de Fauna es suscrito por el Prestador de Servicios Técnicos Forestales responsable del ETJ-CUSTF, quien conserva la responsabilidad profesional de su contenido y ejecución. El presente instrumento no sustituye dicha firma ni responsabilidad.

Manifestación de Impacto Ambiental por

CAMBIO DE USO DE SUELO EN TERRENOS FORESTALES

ANEXO C

PROGRAMA DE REFORETACIÓN, RESTAURACIÓN DEL PREDIO DE COMPENSACIÓN ADICIONAL.

Contenido

I. Objetivo y fundamento 5
I.1 Objetivo general 5
I.2 Objetivos específicos 5
I.3 Fundamento jurídico 5
I.4 Alcance y componentes del programa 5
II Ubicación y descripción del predio 6
II.1 Marco espacial y anidamiento de las superficies 6
C.2.2 Predio de compensación (3.5500 ha) — parcela ejidal Nuevo Cuyutlán 6
C.2.2.1 Ubicación geopolítica y régimen de tenencia 6
C.2.2.2 Coordenadas del polígono de compensación (cuadro de construcción) 7
C.2.2.3 Colindancias de la parcela 7
C.2.3 Superficie de mitigación dentro del proyecto global (0.7900 ha) 7
C.2.4 Marco físico-ambiental general 11
C.3 Línea base del predio 11
C.3.1 Enfoque y alcance 11
C.3.2 Vegetación y cobertura actual 11
C.3.3 Diagnóstico edafológico y de erosión (Escenario 1) 11
C.3.4 Condición hidrológica y de carbono (Escenario 1) 12
C.4 Acciones de restauración 12
C.4.1 Estrategia general y jerarquía de mitigación 12
C.4.2 Preparación del sitio 13
Limpieza selectiva 13
Trazo y estaquillado del arreglo 13
Apertura de cepas y cajetes 13
C.4.3 Reforestación 14
Técnica de plantación 14
C.4.4 Obras de conservación de suelo y agua 15
Terrazas individuales 15
Barreras de material muerto 15
Mulching 15
C.4.5 Mantenimiento 16
Riego de establecimiento 16
Deshierbe (control de malezas) 16
Control de plagas y enfermedades 17
Replante o reposición 17
Protección del predio 17

C.4.6 Manejo del material del desmonte 17
C.5 Especies y densidades 17
C.5.1 Densidad, cantidades y regla de asignación 17
C.5.2 Composición por especie y destino 18
C.6 Cronograma 19
C.6.1 Marco temporal 19
C.6.2 Actividades 20
C.7 Programa de monitoreo y seguimiento (≥ 7 años) 20
C.7.2 Sistema de indicadores 21
C.7.3 Método de medición 21
C.7.4 Reportes de cumplimiento 22
C.7.5 Vigilancia y medidas de contingencia 22
C.8 Criterios de éxito 22
C.8.1 Criterios de establecimiento y desarrollo 22
C.8.2 Criterios de suficiencia por servicio (artículo 93) 23
C.9 Responsables 23
C.10 Memoria de cálculo 24
C.10.1 Resumen de superficies y planta 24
C.10.2 Planta por fuente y destino 24
C.10.3 Balance de suficiencia por servicio (artículo 93) 24
Bibliografía 25
Anexo — Formato de campo para el levantamiento de indicadores 27

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos del predio de compensación 6
Tabla 2. Coordenadas del polígono de compensación 7
Tabla 3. Colindancias de la parcela 7
Tabla 4. Erosión Hídrica 11
Tabla 5. Coberturas de compensación y mitigación por año 14
Tabla 6. Composición definitiva por especie 18
Tabla 7. Actividades por fase y periodicidad 20
Tabla 8. Sistema de indicadores 21
Tabla 9. Cantidad de plantas y tamaño de muestra 21
Tabla 10. Criterios de establecimiento y desarrollo 22
Tabla 11. Criterios de superficie por servicio 23
Tabla 12. Responsables de cada función 24
Tabla 13. Resumen de superficies y planta 24
Tabla 14. Planta por fuente y destino 24
Tabla 15. Balance de suelo 24
Tabla 16. Balance de agua 25
Tabla 17. Balance de carbono 25
Tabla 18. Formato de levantamiento de indicadores 27

Índice de Figuras

Figura 1. Diagnóstico de línea base: pérdida de suelo de partida y clase de severidad, cobertura y parámetros de sitio. 12
Figura 2. Flujo del proceso de restauración: preparación, establecimiento, mantenimiento y monitoreo (≥ 7 años). 13
Figura 3. Terraza individual: vista en planta y sección transversal (terraplén circular ≈ 1 m con bordo a contrapendiente). 15
Figura 4. Cascada de obras de conservación: aportación apilada a la ganancia de suelo y a la recarga profunda, frente al impacto del CUSTF. 16
Figura 5. Balance de planta: 5,568 individuos por fuente (rescate + vivero) y por polígono (compensación + mitigación). 18
Figura 6. Composición de la reforestación por especie y destino (★ especie en estatus). 19
Figura 7. Cronograma del programa de restauración (Gantt, horizonte 7 años relativo al resolutivo). 19
Figura 8. Ciclo anual de monitoreo y seguimiento durante ≥ 7 años. 20
Figura 9. Método de muestreo: sitio circular de 100 m² (r = 5.64 m) y distribución sistemática en el polígono. 22
Figura 10. Cumplimiento del artículo 93 LGDFS: verificación Esc 3 ≥ Esc 1 en suelo, agua y carbono. 23

I. Objetivo y fundamento

I.1 Objetivo general

Restablecer la cobertura forestal de **Selva Baja Caducifolia (SBC)** sobre una superficie total de **4.3400 ha**, integrada por dos componentes espacialmente diferenciados —**3.55 ha de compensación** en predio distinto al del cambio de uso de suelo (parcela ejidal en Nuevo Cuyutlán) y **0.79 ha de mitigación** dentro del proyecto global—, mediante reforestación con especies nativas de todos los estratos, obras de conservación de suelo y agua (terrazas individuales, barreras de material muerto y mulching), acciones de mantenimiento y un programa de monitoreo y seguimiento no menor a **siete (7) años**, de modo que el conjunto de medidas garantice, a nivel de **balance global** (proyecto + predio de compensación), que el escenario con medidas (Esc 3) iguale o supere la línea base con cobertura forestal (Esc 1) en los tres servicios ecosistémicos regulados por el artículo 93 de la LGDFS: retención de suelo, recarga hídrica (agua azul) y almacenamiento de carbono.

I.2 Objetivos específicos

- **Compensación off-site (3.5500 ha).** Restaurar la cubierta forestal de SBC en la parcela ejidal de Nuevo Cuyutlán, actualmente en condición de pastizal degradado, aportando la ganancia de servicios que cierra el balance del artículo 93 LGDFS.
- **Mitigación dentro del proyecto global (0.7900 ha).** Reforestar con SBC nativa una superficie dentro del predio del proyecto, con contabilidad independiente por predio y sin doble conteo.
- **Reubicación del germoplasma rescatado.** Incorporar los individuos y propágulos del Programa de Rescate y Reubicación de Flora (Anexo A) como fuente prioritaria de planta, complementada con vivero local.
- **Conservación de suelo y agua.** Instalar y mantener terrazas individuales y barreras de material muerto y aplicar mulching con el material fino del desmonte.
- **Seguimiento verificable.** Operar un programa de monitoreo ≥ 7 años con indicadores medibles y supervivencia ≥ 80 %.

I.3 Fundamento jurídico

El programa se fundamenta en el marco jurídico forestal y ambiental aplicable al cambio de uso de suelo en terrenos forestales, que consagra la excepcionalidad de dicho cambio y la obligación de instrumentar medidas efectivas de compensación y restauración que garanticen la conservación de la biodiversidad y de los servicios ambientales de suelo, agua y carbono, así como la protección de las especies en riesgo que son reubicadas. En consecuencia, el presente programa constituye una medida efectiva de compensación y restauración ejecutada físicamente sobre superficies determinadas, y no una compensación de carácter económico. La vinculación puntual —por ordenamiento, artículo y fracción— con las disposiciones federales, las normas oficiales mexicanas y los instrumentos de planeación aplicables se desarrolla de manera específica en los Capítulos XIV y XV del ETJ, a los que se remite.

I.4 Alcance y componentes del programa

De la densidad de plantación (1,283 ind·ha^{-1}) resulta un requerimiento total de **5,568 individuos** (4,555 en la compensación + 1,013 en la mitigación), que se cubre con los 1,543 individuos del rescate de flora (Anexo A) y con producción de vivero local. La composición por especie se define en la sección C.5.

Tabla 1. Ubicación de los predios de reforestación

Componente	Superficie	Zona	Tenencia	Vegetación	Densidad	Naturaleza
Compensación off-site	3.5500 ha	Compensacion	Parcela ejidal	SBC	1,283 ind·ha⁻¹	Compensación (art. 93)
Mitigación proyecto global	0.7900 ha	Mitigacion	Predio del proyecto	SBC	1,283 ind·ha⁻¹	Mitigación (art. 93)
Total	4.3400 ha	—	—	SBC	1,283 ind·ha⁻¹	—

Fuentes: atributos del shapefile Poligono_de_compensacion; Anexo A; motores de erosión hídrica, infiltración y carbono.

II Ubicación y descripción del predio

II.1 Marco espacial y anidamiento de las superficies

Las dos superficies del programa se localizan en el municipio de **Manzanillo, Colima**, separadas entre sí aproximadamente **18.1 km**. La superficie de mitigación (0.7900 ha) se encuentra íntegramente dentro del predio del proyecto (polígono de uso de suelo propuesto de 12.2034 ha), del cual el CUSTF comprende 3.41 ha. El predio de compensación (3.5500 ha) se localiza íntegramente dentro de la parcela ejidal 126 del Ejido N.C.P.A. Nuevo Cuyutlán, ocupando el 33.7 % de la parcela. La localización del predio de compensación en la vertiente de la Laguna de Cuyutlán es congruente con el criterio de ubicar la compensación en la misma subcuenca hidrológica del área de proyecto.

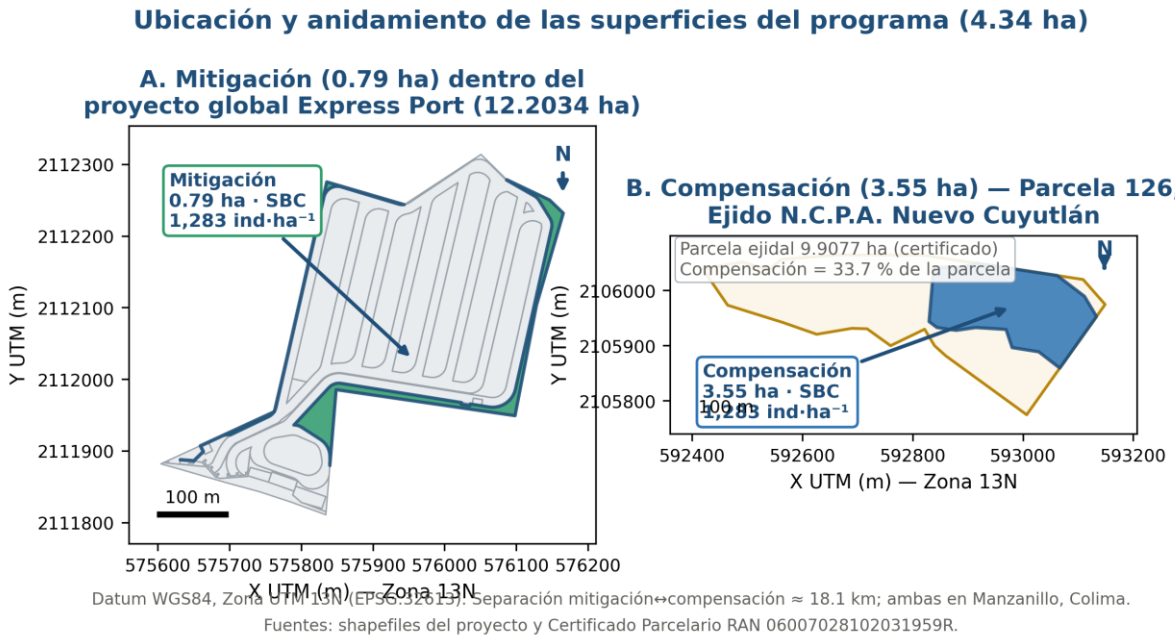


Figura 1. Ubicación y anidamiento de las superficies del programa. Datum WGS84, Zona UTM 13N.

C.2.2 Predio de compensación (3.5500 ha) — parcela ejidal Nuevo Cuyutlán

C.2.2.1 Ubicación geopolítica y régimen de tenencia

Tabla 2. Datos del predio de compensación

Concepto	Dato
Régimen de propiedad	Ejidal (parcela)
Ejido	N.C.P.A. Nuevo Cuyutlán

Concepto	Dato
Municipio / Estado	Manzanillo, Colima
Parcela	126 Z-2 P1/1
Titular de derechos parcelarios	Joaquín Omar Soto Morfín
Superficie de la parcela (certificado)	9.9077 ha (09-90-77.070)
Antecedente de adquisición	Enajenación de derechos, 30-III-2022
Folio de inscripción RAN	06007028102031959R
Certificado Parcelario N°	000001007278 (Colima, 21-IV-2022)
Superficie de compensación en la parcela	3.55 ha (33.7 %)

C.2.2.2 Coordenadas del polígono de compensación (cuadro de construcción)

Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, Zona 13N (EPSG:32613). Polígono cerrado (V15 = V1). Superficie 3.55 ha.

Tabla 3. Coordenadas del polígono de compensación de 3.55 ha

Vértice	X (m)	Y (m)
V1	593,133.132	2,105,953.152
V2	593,066.500	2,105,859.520
V3	593,028.265	2,105,889.078
V4	592,980.005	2,105,896.698
V5	592,968.998	2,105,929.718
V6	592,913.965	2,105,933.105
V7	592,878.405	2,105,928.025
V8	592,843.691	2,105,933.105
V9	592,829.374	2,105,943.939
V10	592,837.701	2,106,042.093
V11	592,891.105	2,106,043.172
V12	592,915.755	2,106,049.733
V13	593,061.864	2,106,027.499
V14	593,111.239	2,105,989.831
V15 (= V1)	593,133.132	2,105,953.152

C.2.2.3 Colindancias de la parcela

Tabla 4. Colindancias de la parcela

Rumbo	Longitud	Colindancia
Norte	703.880 m (línea quebrada)	Parcela 122
Noreste	60.360 m	Parcela 122
Sureste	245.590 m	Ejido Venustiano Carranza
Suroeste	736.860 m (línea quebrada)	Parcela 133

C.2.3 Superficie de mitigación dentro del proyecto global (0.7900 ha)

La superficie de mitigación se localiza dentro del predio del proyecto (uso de suelo propuesto, 12.2034 ha), con centroide en X = 575,956, Y = 2,112,027 (UTM 13N). Constituye la **franja de restauración (áreas verdes o jardines) del proyecto** e integra áreas actualmente forestales y no forestales, destinada a restablecer

cobertura de SBC como medida de mitigación dentro del proyecto global. El polígono se define por 31 vértices.

Tabla 5. Coordenadas del polígono de mitigación de 0.79 ha

Vértice	X (m)	Y (m)
Polígono 1 0.03 ha		
V1	575,753.27	2,111,946.92
V2	575,701.16	2,111,921.98
V3	575,701.05	2,111,922.01
V4	575,698.20	2,111,922.28
V5	575,695.35	2,111,922.12
V6	575,692.55	2,111,921.53
V7	575,689.87	2,111,920.54
V8	575,686.24	2,111,918.86
V9	575,670.85	2,111,911.77
V10	575,659.96	2,111,906.75
V11	575,659.98	2,111,906.71
V12	575,660.30	2,111,906.02
V13	575,663.65	2,111,898.69
V14	575,663.63	2,111,898.67
V15	575,663.18	2,111,898.22
V16	575,650.43	2,111,885.71
V17	575,631.25	2,111,887.20
V18	575,631.29	2,111,887.70
V19	575,650.24	2,111,886.23
V20	575,663.03	2,111,898.78
V21	575,659.29	2,111,906.89
V22	575,659.22	2,111,907.05
V23	575,659.21	2,111,907.06
V24	575,762.48	2,111,954.66
V25	575,761.00	2,111,952.54
V26	575,758.95	2,111,950.42
V27	575,756.61	2,111,948.64
V28	575,755.16	2,111,947.87
V29	575,754.97	2,111,947.76
V30	575,754.01	2,111,947.25
V31 (= V1)	575,753.27	2,111,946.92
Polígono 2 0.05 ha		
V1	575,835.66	2,112,275.49
V2	575,943.90	2,112,243.75
V3	575,941.29	2,112,243.55

Vértice	X (m)	Y (m)
V4	575,938.51	2,112,243.75
V5	575,935.80	2,112,244.36
V6	575,855.88	2,112,268.38
V7	575,852.84	2,112,269.03
V8	575,849.73	2,112,269.17
V9	575,846.64	2,112,268.80
V10	575,843.65	2,112,267.94
V11	575,840.85	2,112,266.60
V12	575,838.30	2,112,264.82
V13	575,836.07	2,112,262.65
V14	575,834.23	2,112,260.14
V15	575,832.82	2,112,257.37
V16	575,831.88	2,112,254.40
V17	575,764.86	2,111,960.40
V18	575,763.99	2,111,957.59
V19	575,762.69	2,111,954.95
V20	575,762.53	2,111,954.68
V21	575,778.05	2,112,021.29
V22 (= V1)	575,835.66	2,112,275.49
Polígono 3 0.71 ha		
V1	576,128.41	2,112,103.30
V2	576,098.47	2,111,948.93
V3	575,895.33	2,111,978.50
V4	575,848.82	2,111,985.27
V5	575,848.82	2,111,985.27
V6	575,840.06	2,111,879.19
V7	575,840.06	2,111,891.95
V8	575,839.67	2,111,896.58
V9	575,838.53	2,111,901.07
V10	575,836.66	2,111,905.31
V11	575,834.12	2,111,909.19
V12	575,830.97	2,111,912.59
V13	575,827.30	2,111,915.43
V14	575,813.95	2,111,924.10
V15	575,809.14	2,111,927.22
V16	575,800.51	2,111,932.82
V17	575,798.03	2,111,934.18
V18	575,795.37	2,111,935.15
V19	575,792.60	2,111,935.72

Vértice	X (m)	Y (m)
V20	575,789.77	2,111,935.87
V21	575,832.58	2,111,981.77
V22	575,838.78	2,111,988.41
V23	575,841.07	2,111,990.50
V24	575,843.66	2,111,992.18
V25	575,846.50	2,111,993.42
V26	575,849.50	2,111,994.19
V27	575,852.58	2,111,994.45
V28	575,855.67	2,111,994.21
V29	576,023.75	2,111,967.35
V30	576,023.36	2,111,964.89
V31	576,035.40	2,111,962.95
V32	576,035.80	2,111,965.42
V33	576,062.14	2,111,961.21
V34	576,067.02	2,111,960.81
V35	576,071.91	2,111,961.14
V36	576,076.69	2,111,962.20
V37	576,081.26	2,111,963.97
V38	576,085.51	2,111,966.41
V39	576,089.35	2,111,969.45
V40	576,092.68	2,111,973.04
V41	576,095.44	2,111,977.09
V42	576,097.55	2,111,981.51
V43	576,098.98	2,111,986.20
V44	576,149.34	2,112,210.84
V45	576,149.76	2,112,213.73
V46	576,149.73	2,112,216.66
V47	576,149.25	2,112,219.55
V48	576,148.33	2,112,222.33
V49	576,146.99	2,112,224.94
V50	576,132.12	2,112,249.15
V51	576,130.76	2,112,251.15
V52	576,129.14	2,112,252.95
V53	576,127.29	2,112,254.50
V54	576,125.24	2,112,255.79
V55	576,089.28	2,112,276.38
V56	576,086.52	2,112,277.97
V57	576,086.94	2,112,278.58
V58	576,146.67	2,112,250.19

Vértice	X (m)	Y (m)
V59	576,165.81	2,112,231.75
V60 (= V1)	576,128.41	2,112,103.30

C.2.4 Marco físico-ambiental general

A nivel regional, Manzanillo presenta clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw, García 2004); la precipitación media anual de referencia del sitio es de 932.9 mm (normales SMN). La vegetación de referencia de ambas superficies es la Selva Baja Caducifolia. La caracterización específica de cada superficie —incluida la condición del predio de compensación como pastizal degradado con arbustos aislados (C1)— se desarrolla en la línea base (C.3).

C.3 Línea base del predio

C.3.1 Enfoque y alcance

La línea base documenta la condición actual de las dos superficies antes de la intervención, por dos razones: es la referencia (Esc 1) contra la cual se demuestra la suficiencia de las medidas (Esc 3 ≥ Esc 1), y —para el carbono, evaluado en stock— únicamente es acreditable el incremento sobre la condición actual. La compensación (3.5500 ha) parte de terreno abierto con cobertura herbácea (modalidad Reforestación); la mitigación (0.7900 ha) parte de suelo prácticamente desnudo (modalidad Restauración).

C.3.2 Vegetación y cobertura actual

El predio de compensación se clasifica como **pastizal degradado con arbustos aislados** (motor de carbono), con cabida cubierta de partida de 15 %. La superficie de mitigación adopta, de forma conservadora, una cobertura de partida de 0 % (suelo desnudo/degradado).

C.3.3 Diagnóstico edafológico y de erosión (Escenario 1)

La erosión hídrica se estimó con el modelo RUSLE (A = R·K·L·S·C·P) evaluado por píxel; el factor C se derivó de la cobertura (tablas TRAGSA, 1994) y la severidad se clasificó según FAO-PNUMA-UNESCO (1980).

Tabla 6. Erosión Hídrica

Superficie	R	K	LS	P	Cob. año 0	C	A (t·ha⁻¹·año⁻¹)	Clase
Compensación	7,397	0.0340	1.7389	1.000	15 %	0.2400	104.957	Alta
Mitigación	7,397	0.0200	0.4827	1.000	0 %	0.4500	32.133	Moderada

Interpretación. La pérdida de suelo de partida es alta en el predio de compensación (baja cobertura, K moderado y pendiente 10.6 %) y moderada en la mitigación. Ambos valores constituyen el déficit recuperable: la restauración reduce la pérdida hasta clase «ninguna o ligera» al cerrar el dosel (A año 7 de 3.499 y 0.785 t·ha⁻¹·año⁻¹). La erosión eólica de la línea base del trazo es de 12.097 t·año⁻¹, clase «ninguna o ligera» (FAO 1980).

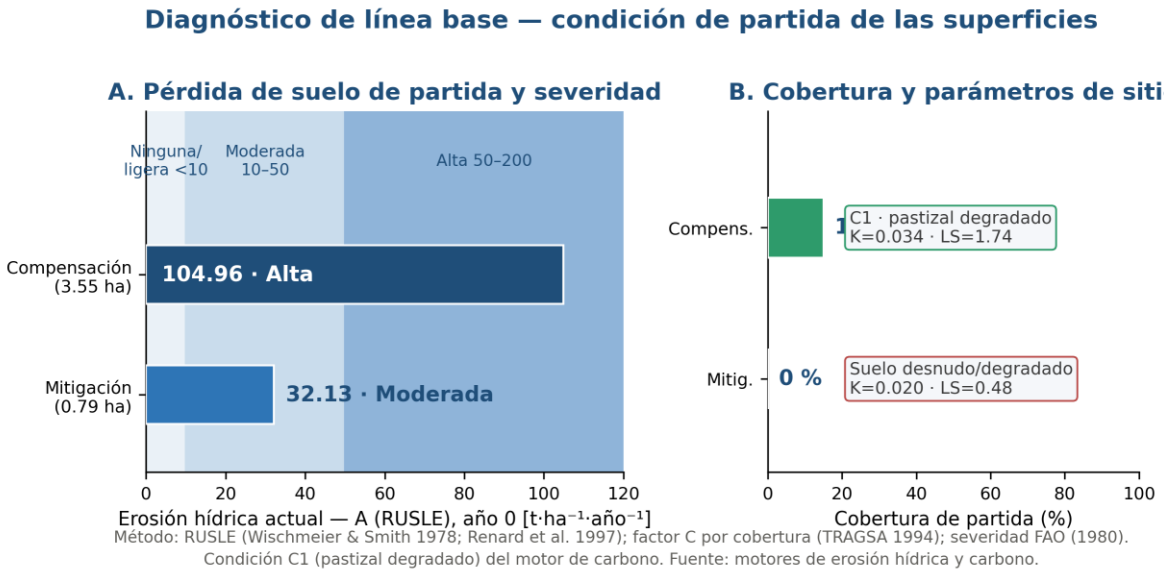


Figura 2. **Diagnóstico de línea base: pérdida de suelo de partida y clase de severidad, cobertura y parámetros de sitio.**

C.3.4 Condición hidrológica y de carbono (Escenario 1)

En su condición degradada, la baja cobertura reduce la infiltración y la recarga (método SWB Thornthwaite-Mather; Penman-Monteith FAO-56; SCS-CN; Saxton & Rawls, 2006). En carbono, el predio en condición C1 ya almacena carbono en una condición secundaria/degradada, por lo que únicamente es acreditable el incremento sobre esa línea base (Tier-2, Chave et al. 2014; COS excluido por criterio conservador). A nivel de sistema, el incremento acreditable es de 541.70 tCO_2-e y el balance neto de +307.69 tCO_2-e (Esc 3 ≥ Esc 1). La baja densidad de carbono de la condición C1 confirma la adicionalidad.

C.4 Acciones de restauración

C.4.1 Estrategia general y jerarquía de mitigación

Las acciones se ordenan conforme a la jerarquía de mitigación (evitar → minimizar → restaurar → compensar) y corresponden a las etapas de restauración y compensación. Ambas superficies persiguen restablecer una cubierta de SBC nativa a 1,283 ind·ha⁻¹, con obras de conservación de suelo y agua y un régimen de mantenimiento y monitoreo. El proceso operativo se organiza en cuatro fases (Figura C.4.1).



Figura 3. **Flujo del proceso de restauración: preparación, establecimiento, mantenimiento y monitoreo (≥ 7 años).**

C.4.2 Preparación del sitio

La preparación del sitio acondiciona el terreno para la plantación y comprende la limpieza selectiva, el trazo del arreglo, la construcción de las obras de conservación de suelo y la apertura de cepas y cajetes.

Limpieza selectiva

Consiste en el chapeo (corte) manual o con desbrozadora de la vegetación herbácea y arbustiva que compite por luz, agua y nutrimentos, **conservando la regeneración natural de especies nativas deseables** y los individuos arbóreos existentes. No se realiza volteo ni remoción total del suelo, para no exponerlo ni incrementar la erosión; los residuos del chapeo se pican y se incorporan como cobertura (mulch) o se disponen en las barreras de material muerto.

Trazo y estaquillado del arreglo

Se replantea en campo el arreglo de plantación a **tresbolillo con separación aproximada de 3.0 m** entre plantas (equivalente a la densidad de 1,283 ind·ha⁻¹), estaquillando cada punto de plantación. En las superficies con pendiente (predio de compensación, 10.6 %), el trazo sigue las **curvas de nivel**, de modo que las hileras y las obras funcionen como líneas de retención.

Apertura de cepas y cajetes

En cada punto estaquillado se abre una **cepa de dimensiones aproximadas de 40 × 40 × 40 cm**, separando el horizonte superficial del suelo (más fértil) del subsuelo para recolocarlos en orden inverso al plantar. Alrededor de la cepa se conforma un **cajete de captación de agua de lluvia de 40 a 60 cm de radio**, con bordo aguas abajo en terreno con pendiente, para concentrar la humedad en la zona radicular. Las dimensiones definitivas de cepa y cajete las ajusta el PSTF según el suelo y la especie**.**

C.4.3 Reforestación

La densidad de plantación es de **1,283 ind·ha^{-1}**, de donde resulta un requerimiento total de **5,568 individuos** (4,555 compensación + 1,013 mitigación). La planta procede del rescate de flora (Anexo A, fuente prioritaria) y de producción de vivero local de la misma composición nativa, previamente aclimatada.

Técnica de plantación

La plantación se ejecuta al **inicio de la temporada de lluvias**, para aprovechar la ventana húmeda de la SBC. La planta se extrae del contenedor cuidando el cepellón, se coloca al centro de la cepa **al nivel del cuello de la raíz**, se rellena con el suelo superficial reservado, se apisona ligeramente para eliminar bolsas de aire y se reconforma el cajete. Inmediatamente después se aplica un **riego de saturación (riego de plantación)**. Al plantar se observa lo siguiente:

- Marcado previo de los sitios de plantación con cinta métrica y varas de la distancia de plantación, buscando claros y evitando obstáculos (roca, tocones, árboles).
- Poda de las raíces entrelazadas o malformadas; de realizarse, se poda también algo de follaje para compensar la pérdida de raíz.
- Empleo prioritario de los primeros 10 cm de suelo (más fértil) al rellenar; de faltar, se usa el suelo más profundo.
- Retiro del contenedor sin dañar la raíz y apisonado final para expulsar el aire atrapado.

La composición adoptada (C.5) corresponde a las **mismas especies nativas afectadas por el cambio de uso de suelo**, de propagación factible, crecimiento relativamente rápido, buena producción de hojarasca y sin comportamiento malezoide, que favorecen el restablecimiento de la comunidad y el hábitat de la fauna (criterios de Vázquez-Yáñez et al., 1999), garantizando la pertinencia ecológica y evitando la afectación de la biodiversidad.

La restauración incrementa progresivamente la cabida cubierta y reduce el factor C de la RUSLE, según la trayectoria de cierre de dosel:

Tabla 7. Coberturas de compensación y mitigación por año

Año	Cobertura compensación	Cobertura mitigación
0	15 %	0 %
1	20 %	5 %
2	25 %	10 %
3	30 %	20 %
4	45 %	35 %
5	60 %	55 %
6	75 %	65 %
7	85 %	75 %

C.4.4 Obras de conservación de suelo y agua

Las obras se nombran con su nomenclatura canónica; su aportación se contabiliza en cascada, sin doble conteo (la revegetación actúa reduciendo el factor C y las obras por captación de sedimento y percolación).

Terrazas individuales

Son terraplenes o bordos **circulares de aproximadamente 1 m**, construidos a **contrapendiente** y alineados en curvas de nivel, con **una terraza por planta** (igual número que individuos plantados). Interrumpen la longitud de la pendiente, retienen humedad en la zona radicular y captan sedimento; su construcción acompaña a la apertura de cepas en la fase de preparación (CONAFOR, 2007). La Figura C.4.2 ilustra su geometría en planta y sección.

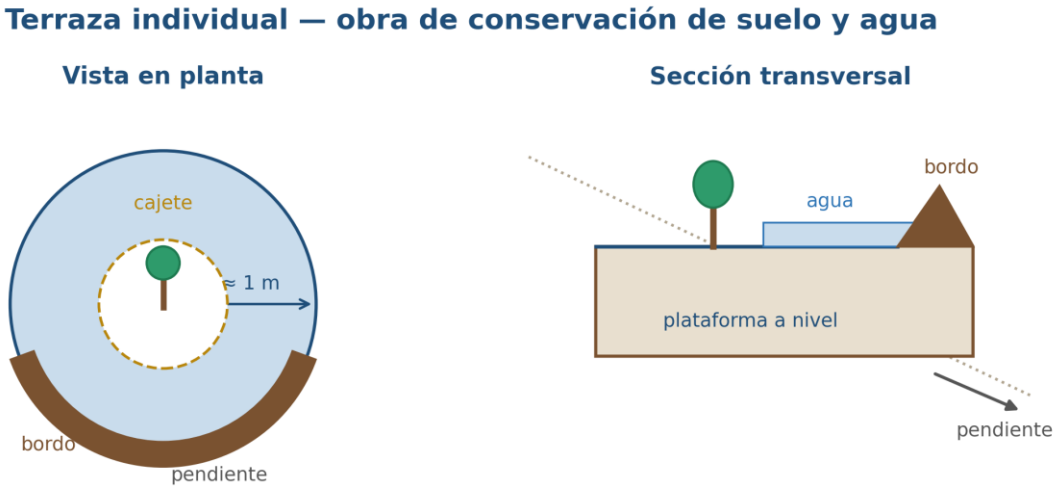


Figura 4. **Terraza individual: vista en planta y sección transversal (terraplén circular ≈ 1 m con bordo a contrapendiente).**

Barreras de material muerto

Barreras físicas conformadas con el **material leñoso del desmonte** (ramas y fustes), dispuestas transversalmente a la pendiente y sujetas con estacas; retienen sedimento, disipan el escurrimiento y aportan materia orgánica al degradarse. Aprovechan in situ el residuo del CUSTF (CONAFOR, 2007).

Mulching

Cubierta del suelo con el **material fino picado y esparcido** del desmonte; reduce el factor C y el número de curva, conserva humedad y modera la temperatura del suelo, favoreciendo el prendimiento (Renard et al., 1997; López, 2010).

En el servicio de **suelo**, la ganancia total de reducción de erosión es de **508.09 t·año⁻¹** (reforestación 360.18 + restauración 24.77 + obras 119.39 + mulching 3.75), muy superior al incremento de 38.96 t·año⁻¹ del CUSTF; el azolve global resulta Esc 3 = 0.00 ≤ Esc 1 = 0.209. En el servicio de **agua**, la recuperación acumulada es de **88,042 m³** (reforestación 65,300 + terrazas 12,948 + barreras 2,072 + mulch 7,722) frente a una pérdida de 73,200 m³, con superávit de +14,842 m³.

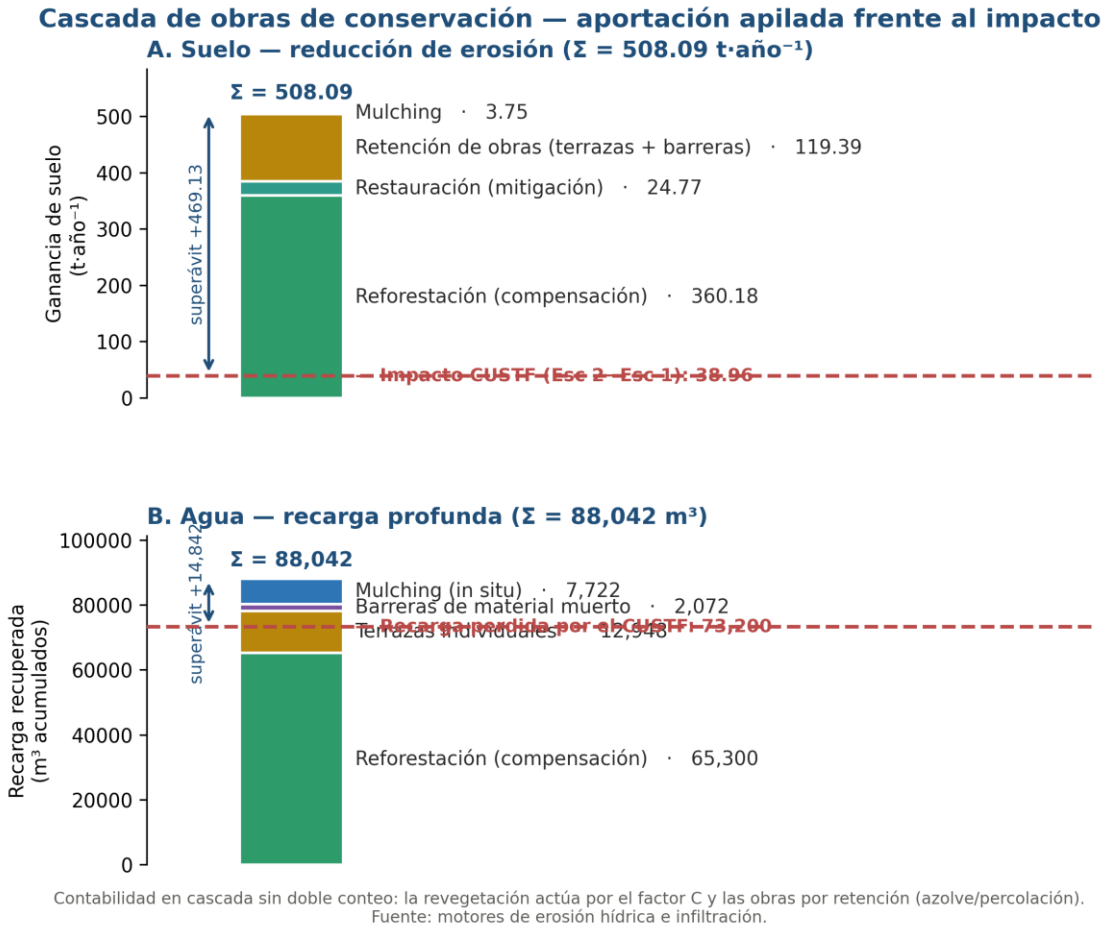


Figura 5. **Cascada de obras de conservación: aportación apilada a la ganancia de suelo y a la recarga profunda, frente al impacto del CUSTF.**

C.4.5 Mantenimiento

El mantenimiento sostiene la supervivencia y el cierre de dosel hasta alcanzar los criterios de éxito, y comprende las actividades siguientes.

Riego de establecimiento

Asegura la humedad durante la fase crítica de prendimiento. Comprende el riego de saturación al plantar y **riegos de auxilio durante el estiaje de los Años 1 a 3**, aplicados directamente al cajete, del orden de **4 a 10 litros por planta por evento**, con frecuencia mayor en los meses secos y suspendidos durante el temporal de lluvias. El volumen y calendario definitivos los ajusta el PSTF según el seguimiento de humedad del suelo. **[Completar — volumen y calendario de riego].**

Deshierbe (control de malezas)

Reduce la competencia por agua, luz y nutrimentos. Consiste en el **chapeo y cajeteo periódicos**: la limpia manual de la vegetación competidora en un **radio de 40 a 60 cm alrededor de cada planta** (cajeteo), conservando la cobertura entre hileras para proteger el suelo. Se realiza con mayor frecuencia en los Años 1 a 4 —típicamente dos a tres veces por año según el vigor de las malezas— evitando herbicidas en la zona radicular.

Control de plagas y enfermedades

Se basa en el **manejo integrado**: monitoreo periódico para detección oportuna y aplicación de medidas dirigidas (mecánicas, culturales o, de ser indispensable, químicas selectivas) únicamente ante brotes que comprometan la supervivencia, con retiro y disposición del material afectado.

Replante o reposición

Repone los individuos muertos para sostener la densidad objetivo (1,283 ind·ha^{-1}) y el umbral de supervivencia (≥ 80 %). Se ejecuta en la **temporada de lluvias de los Años 2 y 3**, con planta de la misma composición nativa y en los mismos puntos de plantación, previa identificación de la mortandad en el monitoreo.

Protección del predio

Evita afectaciones por ganado e incendios. Comprende el **cercado perimetral** —por el uso pecuario ejidal previo del predio de compensación— con postes y alambre, y la apertura y mantenimiento de **brechas cortafuego** perimetrales (del orden de 2 a 3 m de ancho), que se conservan libres de combustible antes de la temporada de estiaje. **[Completar — especificaciones de cercado y ancho de brecha].**

C.4.6 Manejo del material del desmonte

El material vegetal del desmonte se valoriza in situ: el **material leñoso** se destina a las barreras de material muerto y el **material fino** al mulching. **No se propone la quema** de residuos en sitio; de requerirse, procedería únicamente con **autorización expresa de CONAFOR**.

C.5 Especies y densidades

C.5.1 Densidad, cantidades y regla de asignación

La densidad es de **1,283 ind·ha^{-1}**, común a las dos superficies, para un total de **5,568 individuos** (compensación 4,555; mitigación 1,013). Por fuente, el rescate de flora aporta 1,543 individuos y el vivero local ≈ 4,025. La asignación por destino sigue el criterio: la planta de esqueje/germoplasma y el trasplante de arbóreas se destinan mayoritariamente a compensación, y la composición se completa con vivero en ambas superficies.

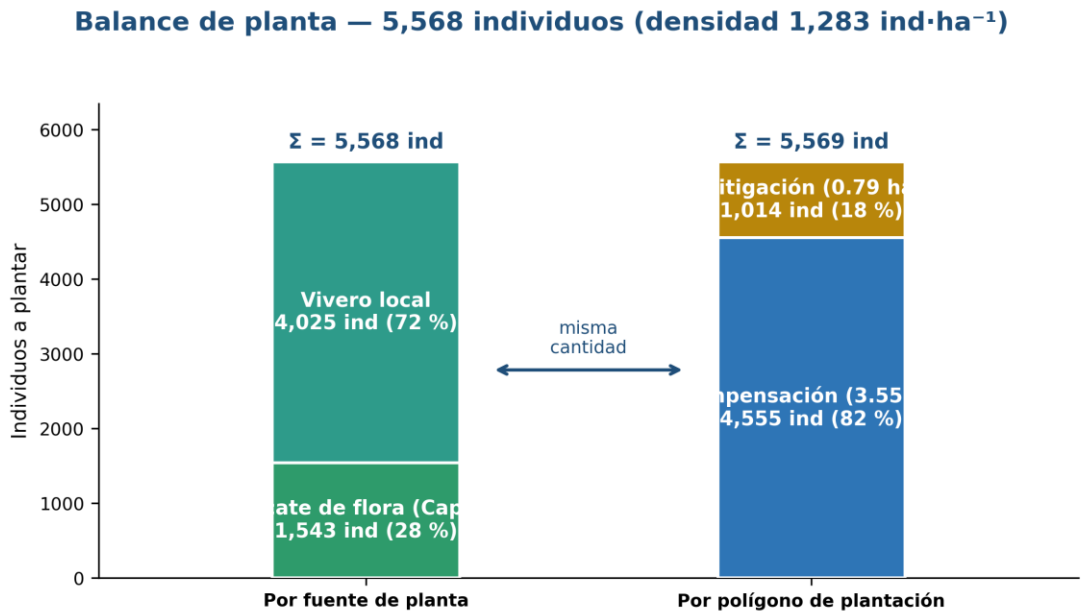


Figura 6. **Figura 1. Balance de planta: 5,568 individuos por fuente (rescate + vivero) y por polígono (compensación + mitigación).**

C.5.2 Composición por especie y destino

La composición definitiva, con base en el Anexo A (Programa de Rescate de Flora), es la siguiente:

Tabla 8. Tabla 1. Composición definitiva por especie

Especie (científico)	Común	Forma de vida	Estatus	N comp.	N mitig.	N total
Swietenia humilis	Cóbano	Arbórea	CITES II; UICN EN	1,655	200	1,855
Cordia elaeagnoides	Barcino	Arbórea	Endémica	300	—	300
Roseodendron donnell-smithii	Primavera	Arbórea	CITES II	300	200	500
Coulteria platyloba	Coral	Arbórea	Endémica	300	—	300
Tabebuia rosea	Rosa morada	Arbórea	CITES II	300	113	413
Cedrela odorata	Cedro rojo	Arbórea	NOM-059 Pr; CITES II; UICN VU	500	400	900
Aristolochia taliscana	Bejuco corchozo	Trepadora/bejuco	Endémica	—	100	100
Cordia alliodora	Botoncillo	Arbórea	—	500	—	500
Enterolobium cyclocarpum	Parota	Arbórea	—	500	—	500
Ficus velutina	Zalate	Arbórea	—	200	—	200
Total				4,555	1,013	5,568

Ambas superficies reciben dosel arbóreo; las especies en estatus (Cedrela odorata, Swietenia humilis) se incorporan a ambas con prioridad; Aristolochia taliscana se destina a mitigación por su forma de vida. El banco de germoplasma del suelo no forma parte de este programa.



Figura 7. **Figura 2. Composición de la reforestación por especie y destino (★ especie en estatus).**

Fuentes: Anexo A — Programa de Rescate y Reubicación de Flora.

C.6 Cronograma

C.6.1 Marco temporal

El cronograma se expresa en tiempo relativo: el **Año 1** corresponde al primer año tras la obtención del resolutivo, sin fechas absolutas. El horizonte es de **siete (7) años**. La plantación se ejecuta en la temporada de lluvias del Año 1, tras la preparación del terreno. El programa se articula con el calendario de desmonte (Capítulo VIII) y con el rescate de flora pre-derribo (Anexo A).

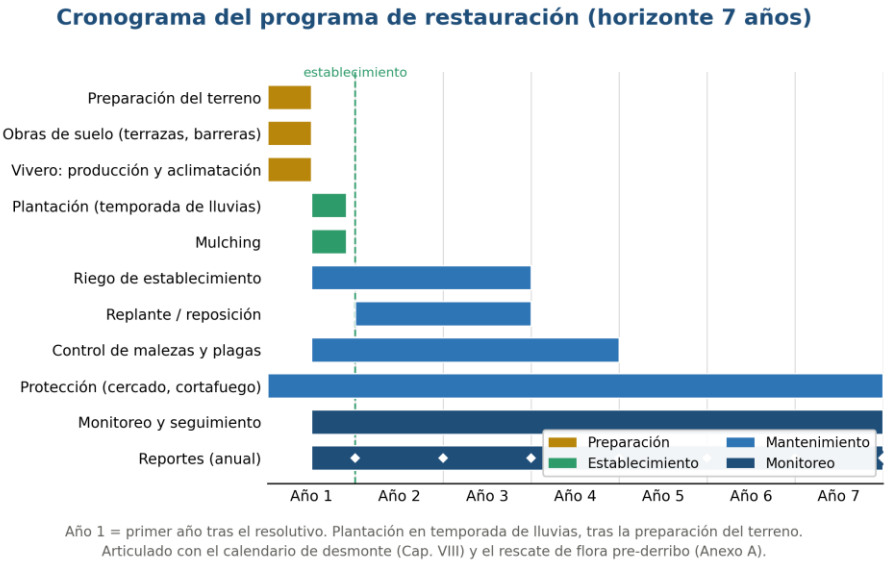


Figura 8. **Cronograma del programa de restauración (Gantt, horizonte 7 años relativo al resolutivo).**

C.6.2 Actividades

Tabla 9. Actividades por fase y periodicidad

Actividad	Fase	Año inicio	Año fin	Periodicidad / medio
Preparación del terreno	Preparación	1	1	Único (primer semestre)
Obras de suelo (terrazas + barreras)	Preparación	1	1	Único · material del desmonte
Producción/aclimatación en vivero	Preparación	1	1	Continuo
Plantación (5,568 ind)	Establecimiento	1	1	Temporada de lluvias
Mulching	Establecimiento	1	1	Único
Riego de establecimiento	Mantenimiento	1	3	Periódico en estiaje
Replante / reposición	Mantenimiento	2	3	Anual (lluvias)
Control de malezas y plagas	Mantenimiento	1	4	Periódico
Protección (cercado + cortafuego)	Mantenimiento	1	7	Permanente
Monitoreo y seguimiento	Monitoreo	1	7	Semestral/anual
Reportes de cumplimiento	Monitoreo	1	7	Según resolutivo

Metas: H1 conclusión de obras de suelo (Año 1); H2 plantación concluida (Año 1); H3 supervivencia ≥ 80 % al primer año; H4 cierre de dosel objetivo 85 %/75 % (Año 7); H5 cortes de reporte conforme al resolutivo.

Fuentes: Capítulo VIII del ETJ; Anexo A; trayectoria de cobertura del motor de erosión hídrica.

C.7 Programa de monitoreo y seguimiento (≥ 7 años)

Verificar, mediante indicadores medibles, que la restauración se establece y sostiene, de modo que Esc 3 ≥ Esc 1 en suelo, agua y carbono, durante un seguimiento no menor a siete (7) años. Los umbrales de alerta activan medidas correctivas. El ciclo operativo se muestra en la Figura C.7.1.

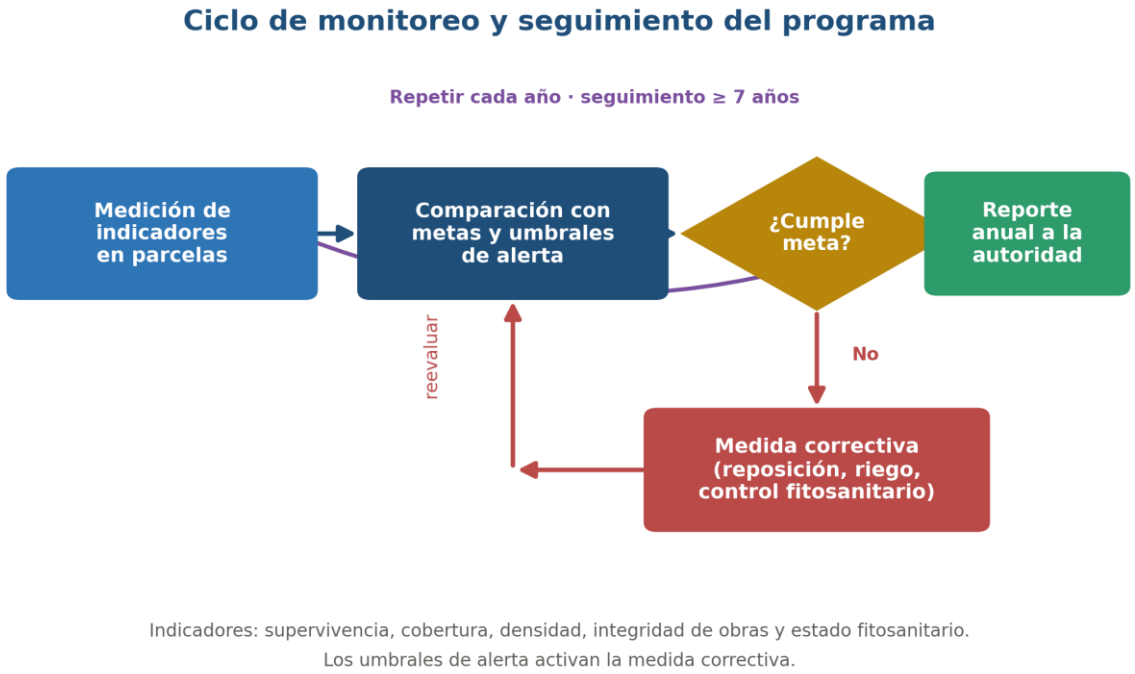


Figura 9. **Ciclo anual de monitoreo y seguimiento durante ≥ 7 años.**

C.7.2 Sistema de indicadores

Tabla 10. Tabla 2. Sistema de indicadores

Indicador	Meta	Periodicidad	Umbral de alerta
Supervivencia	≥ 80 % año 1; ≥ 70 % acumulada	Semestral (año 1), anual	< meta → reposición
Prendimiento del rescate	≥ 80 %	Año 1	< 80 % → refuerzo
Cobertura (cabida cubierta)	85 % comp. / 75 % mitig. (año 7)	Anual	Desviación > 10 %
Densidad establecida	≥ 1,283 ind·ha^{-1}	Anual	< 80 % → reposición
Reposición de mortandad	100 % (años 2–3)	Anual	< 100 %
Incremento de carbono	Trayectoria hacia Esc 3	Trianual	Desviación negativa
Integridad de obras	≥ 90 % funcionales	Anual	< 90 % → reparación
Estado fitosanitario	Sin brotes > 10 %	Periódico	Brote → control

Los indicadores clave se definen conforme al Manual básico de prácticas de reforestación (CONAFOR): la **supervivencia** es la proporción de árboles vivos respecto de los plantados; la **sanidad** clasifica cada individuo como sano o enfermo (identificando, en su caso, el agente causal); y el **vigor** se califica como **Bueno** (follaje denso, verde intenso, amplia cobertura de copa), **Regular** (follaje medio, verde seco a amarillento) o **Malo** (follaje amarillento, escaso y débil).

C.7.3 Método de medición

El monitoreo se realiza sobre **sitios o parcelas permanentes de muestreo**, marcadas para su relocalización interanual y distribuidas de forma representativa en la compensación y la mitigación. En cada parcela se registra: la **supervivencia** (conteo directo de individuos vivos frente a los plantados), la **altura y el vigor** de la planta, la **cabida cubierta** (estimación visual del porcentaje de copa, apoyada en fotografías de referencia del mismo punto), la **integridad de las obras** de conservación (inspección con lista de verificación) y el **estado fitosanitario**. El **incremento de carbono** se estima por biomasa (Tier-2) sobre las parcelas en los cortes trianuales. Toda la información se asienta en las bitácoras y formatos del programa.

Los sitios de muestreo son **circulares de 100 m² (radio 5.64 m)**, distribuidos sistemáticamente y equidistantes en cada polígono, con una intensidad de muestreo de **2.5 a 10 %** (mayor en superficies más pequeñas), para una precisión de 90–95 %. Para el total de 5,568 individuos, el tamaño de muestra de referencia es de **152 plantas** (Figura 9).

Tabla 11. Tabla 3. Cantidad de plantas y tamaño de muestra

N.º de plantas en la reforestación	Tamaño de muestra (plantas)
1,000 – 2,000	95
2,001 – 6,000	152
6,001 – 8,000	199

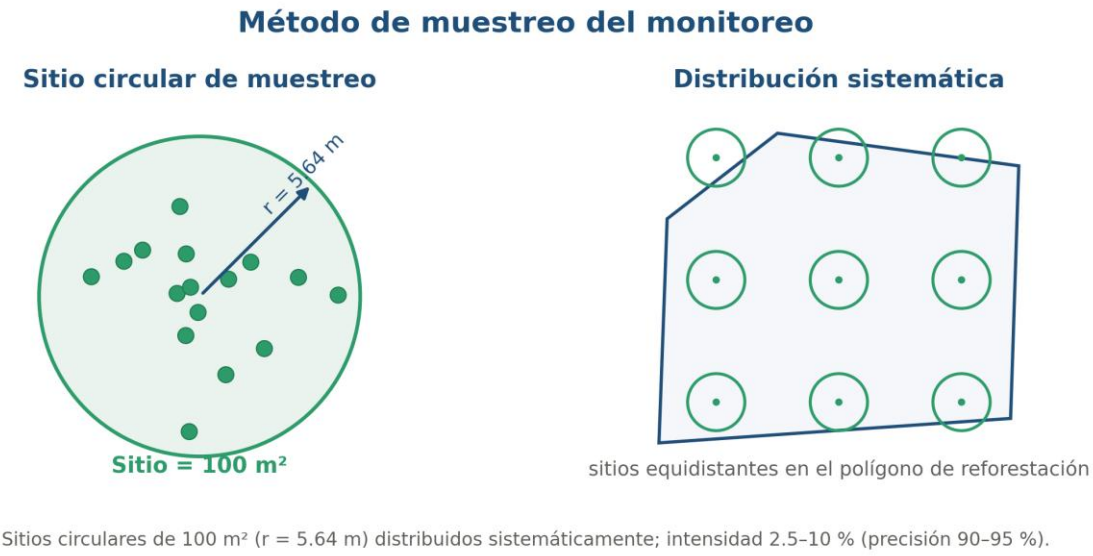


Figura 10. **Figura 3. Método de muestreo: sitio circular de 100 m² (r = 5.64 m) y distribución sistemática en el polígono.**

C.7.4 Reportes de cumplimiento

La periodicidad, el contenido y el formato de los informes de cumplimiento serán los que la **SEMARNAT establezca en el resolutivo** de la autorización; no se prejuzgan en este documento. El programa se obliga a atender dichos términos y mantiene el registro sistemático de los indicadores para tener la información disponible en la forma que determine la autoridad. La cadencia anual referida en el cronograma es indicativa y queda sujeta al resolutivo.

C.7.5 Vigilancia y medidas de contingencia

De forma complementaria al monitoreo, se realiza la **vigilancia periódica** del predio para prevenir afectaciones por ganado, incendios o extracción. Ante desviaciones detectadas por los indicadores se aplican **medidas de contingencia**: reposición de la planta muerta o dañada (actividad más frecuente en los primeros años), riego adicional en sequías prolongadas, control dirigido de plagas y enfermedades y —de identificarse deficiencias nutrimentales— fertilización. Todas las medidas correctivas se documentan en la bitácora y se reportan a la autoridad.

C.8 Criterios de éxito

Los criterios de éxito son los umbrales medibles cuya consecución demuestra que el programa logró su objetivo: Esc 3 ≥ Esc 1 en los tres servicios del artículo 93 LGDFS. Se agrupan en criterios de establecimiento y de suficiencia por servicio.

C.8.1 Criterios de establecimiento y desarrollo

Tabla 12. Criterios de establecimiento y desarrollo

Criterio	Meta	Verificación
Supervivencia	≥ 80 % año 1; ≥ 70 % acumulada	Conteo en parcelas
Densidad establecida	≥ 1,283 ind·ha^{-1}	N vivos / superficie
Cobertura (cabida cubierta)	85 % comp. y 75 % mitig. (año 7)	Estimación de cobertura

Criterio	Meta	Verificación
Reposición de mortandad	100 % (años 2–3)	Registro de replante
Integridad de obras	≥ 90 % funcionales	Inspección

C.8.2 Criterios de suficiencia por servicio (artículo 93)

Tabla 13. Criterios de superficie por servicio

Servicio	Línea base (Esc 1)	Con medidas (Esc 3)	Veredicto
Suelo (azolve SY, t·año⁻¹)	0.209	0.00 (ganancia 508.09)	CUMPLE
Agua (recarga, m³)	perdida 73,200	recuperada 88,042 (+14,842)	COMPENSADO
Carbono (stock, tCO_2-e)	—	incremento 541.70; balance +307.69	CUMPLE

La suficiencia se verifica a nivel de balance global (proyecto + predio de compensación): para infraestructura permanente, el escenario en sitio no regresa a la línea base y la compensación cierra el balance. Los tres servicios satisfacen Esc 3 ≥ Esc 1 (Figura C.8.1); en consecuencia, y alcanzados los criterios de establecimiento, el programa constituye una medida efectiva de compensación y restauración que sustenta la excepcionalidad del cambio de uso de suelo bajo el artículo 93 LGDFS.

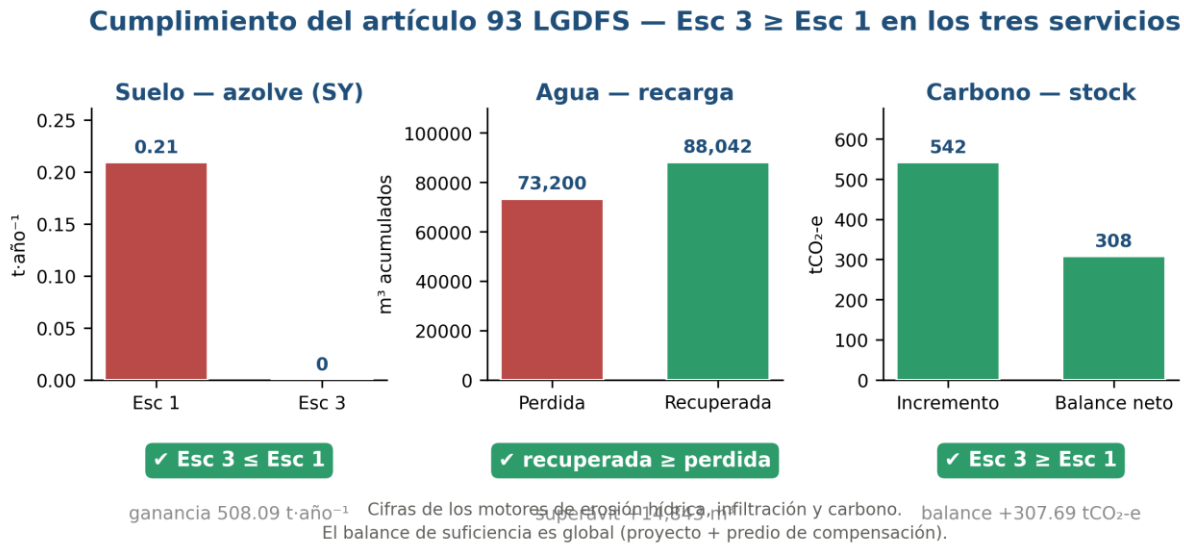


Figura 11. **Cumplimiento del artículo 93 LGDFS: verificación Esc 3 ≥ Esc 1 en suelo, agua y carbono.**

C.9 Responsables

Dado que al momento de la formulación no es posible definir nominalmente al responsable, se establece que el **responsable de la ejecución y del cumplimiento del programa será el promovente, en su calidad de titular de la autorización** del cambio de uso de suelo, **y/o el Prestador de Servicios Técnicos Forestales (PSTF) con Registro Forestal Nacional (RFN) que se designe posteriormente** para la dirección técnica. La designación nominal y su acreditación se incorporarán al expediente cuando se determinen.

Tabla 14. Responsables de cada función

Rol	Responsable	Función principal
Ejecución del programa	Promovente (titular de la autorización)	Ejecución física, financiamiento y cumplimiento de las obligaciones
Dirección técnica	PSTF con RFN que se designe	Formulación, supervisión técnica y validación; firma bajo su responsabilidad
Supervisión ambiental	Designada por el promovente	Verificación de indicadores y bitácora
Trabajos de campo	Brigada / cuadrilla del promovente	Preparación, obras, plantación y mantenimiento

C.10 Memoria de cálculo

La memoria de cálculo consolida las densidades, cantidades de planta y balances del programa. Sus tablas se presentan a continuación y se entregan también en archivo Excel con **fórmulas vivas** (Memoria_Calculo_AnexoC_ExpressPort.xlsx), de modo que cualquier ajuste recalcule automáticamente los totales y las verificaciones.

C.10.1 Resumen de superficies y planta

Tabla 15. Resumen de superficies y planta

Concepto	Valor	Unidad
Superficie CUSTF	3.4097	ha
Superficie de compensación	3.5500	ha
Superficie de mitigación	0.7900	ha
Superficie total del programa	4.3400	ha
Densidad de plantación	1,283	ind·ha^{-1}
Total de planta (= superficie × densidad)	5,568	ind
Horizonte / seguimiento	7	años

C.10.2 Planta por fuente y destino

La composición por especie se presenta en la sección C.5.2. El cierre de cantidades es el siguiente:

Tabla 16. Planta por fuente y destino

Concepto	Compensación	Mitigación	Total
Individuos a plantar	4,555	1,013	5,568
Fuente: rescate de flora (Anexo A)	—	—	1,543
Fuente: vivero local	—	—	4,025

C.10.3 Balance de suficiencia por servicio (artículo 93)

Suelo — reducción de erosión (t·año^{-1}):

Tabla 17. Balance de suelo

Componente	Valor (t·año^{-1})
Reforestación (compensación)	360.18
Restauración (mitigación)	24.77
Retención de obras (terrazas + barreras)	119.39
Mulching	3.75
Ganancia total	508.09

Componente	Valor (t·año⁻¹)
Impacto CUSTF (Esc 2 − Esc 1)	38.96
Azolve global Esc 1 (línea base)	0.209
Azolve global Esc 3 (con medidas)	0.00
Veredicto (Esc 3 ≤ Esc 1)	CUMPLE

Agua — recarga profunda recuperada (m³ acumulados):

Tabla 18. Tabla 4. Balance de agua

Componente	Valor (m³)
Reforestación (compensación)	65,300
Terrazas individuales	12,948
Barreras de material muerto	2,072
Mulching (in situ)	7,722
Recuperación total	88,042
Recarga perdida por el CUSTF	73,200
Superávit	+14,842
Veredicto (recuperada ≥ perdida)	COMPENSADO

Carbono — stock del sistema (tCO_2-e):

Tabla 19. Tabla 5. Balance de carbono

Componente	Valor (tCO_2-e)
Incremento acreditable (Esc 3 − Esc 2)	541.70
Balance neto del sistema	+307.69
Veredicto (Esc 3 ≥ Esc 1)	CUMPLE

Bibliografía

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration — Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO.

Chave, J. et al. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. Global Change Biology, 20(10).

CONAFOR (2007). Protección, restauración y conservación de suelos forestales: manual de obras y prácticas. Comisión Nacional Forestal.

CONAFOR. Manual básico de prácticas de reforestación. Comisión Nacional Forestal.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM.

López, M.V. (2010). Manejo de residuos y cobertura del suelo (mulching) en sistemas de conservación.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. y Yoder, D.C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: RUSLE. USDA Agriculture Handbook 703.

Saxton, K.E. y Rawls, W.J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter. Soil Science Society of America Journal, 70(5).

TRAGSA (1994). Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión. Ministerio de Agricultura, España.

Vázquez-Yáñez, C., Batis, A.I., Alcocer, M.I., Gual, M. y Sánchez, C. (1999). Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. CONABIO-UNAM.

Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses (USLE). USDA Agriculture Handbook 537.

Anexo — Formato de campo para el levantamiento de indicadores

Formato de registro por sitio de muestreo para el seguimiento de la reforestación. La supervivencia se calcula como (N vivos / N plantados) × 100; la sanidad se registra como Sano (S) o Enfermo (E); el vigor como Bueno (B), Regular (R) o Malo (M).

Tabla 20. Tabla 6. Formato de levantamiento de indicadores

Sitio	Especie	N plantados	N vivos	Superv. %	Sanidad (S/E)	Vigor (B/R/M)	Observaciones

Formato adaptado de CONAFOR (Manual básico de prácticas de reforestación).

Manifestación de Impacto Ambiental para el

CAMBIO DE USO DE SUELO EN TERRENOS FORESTALES

ANEXO D

PROGRAMA DE OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO DE SUELO Y AGUA

Contenido

D.1. Objetivos, metas, alcance y fundamento del programa 5
D.1.1 Objetivo general 5
D.1.2 Objetivos específicos 5
D.1.3 Metas 5
D.1.4 Alcance y superficies de referencia 5
D.1.5 Fundamento jurídico 7
D. 2. Diagnóstico de erosión y balance hídrico 7
D.2.1 Erosión hídrica (RUSLE) 7
D.2.2 Erosión eólica (FAO 1980) 8
D.2.3 Balance hídrico (infiltración y recarga) 9
D.2.4 Síntesis integrada del déficit a compensar 11
D.3. Medidas y obras de conservación 12
D.3.1 Reforestación / plantación forestal 12
D.3.2 Terraza individual (cajeteo) 14
D.3.3 Barrera de material muerto 15
D.3.4 Mulching 17
D.3.5 Cortina rompevientos 18
D.3.6 Cuadro integrado de obras y aportes 19
D.4. Ubicación georreferenciada de las obras 20
D.4.1 Marco de referencia 20
D.4.2 Zonas de obra 20
D.4.3 Coordenadas de la zona de Compensación 21
D.4.4 Coordenadas de la zona de Mitigación 22
D.5. Cronograma 25
D.5.1 Secuencia de ejecución por fase 26
D.5.2 Descripción de las fases 26
D.5.3 Mantenimiento por obra 26
D.6. Programa de monitoreo y seguimiento 27
D.6.1 Objetivo y marco 27
D.6.2 Indicadores, métodos y umbrales 27
D.6.3 Periodicidad y calendario 28
D.6.4 Umbrales de éxito y medidas correctivas 28
D.6.5 Registro, reporte y responsables 29
D.7. Punto de comprobación 29
D.7.1 Criterio de suficiencia (artículo 93 LGDFS) 29
D.7.2 Suelo — erosión hídrica 29
D.7.3 Suelo — erosión eólica 30
D.7.4 Agua — recarga del acuífero 30
D.7.5 Veredicto integrado 31
D.8. Memoria de cálculo 31
D.9. Anexos 32

Índice de Tablas

Tabla 1. Alcance y superficies de referencia 6
Tabla 2. Factores de entrada por polígono (Esc 1) 7
Tabla 3. Pérdida de suelo por escenario 7
Tabla 4. Factores de entrada por polígono (Esc 1) 9
Tabla 5. Pérdida de suelo por escenario 9
Tabla 6. Balance hídrico (infiltración y recarga) 10
Tabla 7. Síntesis integrada del déficit a compensar 11
Tabla 8. Resumen de obras del programa 12
Tabla 9. Trayectoria de la cobertura (cabida cubierta) y su efecto sobre el factor C de la RUSLE en el predio de compensación: al crecer la cobertura de 15 % a 85 %, el factor C y la erosión descienden año con año. 13
Tabla 10. Terraza individual (cajeteo) 14
Tabla 11. Barrera de material muerto 15
Tabla 12. Cuadro integrado de obras y aportes 19
Tabla 13. Zonas de obra 20
Tabla 14. Coordenadas de la zona de Mitigación 22
Tabla 15. Secuencia de ejecución por fase 26
Tabla 16. Indicadores, métodos y umbrales 27
Tabla 17. Trayectoria de cobertura objetivo (cabida cubierta) que sirve de referencia al monitoreo: el predio de compensación evoluciona de 15 % a 85 % y la revegetación in situ de 0 % a 75 % en el horizonte de 7 años; la línea marca el umbral de supervivencia del 80 %. 28
Tabla 18. Umbrales de éxito y medidas correctivas 28
Tabla 19. Suelo — erosión hídrica 29
Tabla 20. Suelo — erosión eólica 30
Tabla 21. Agua — recarga del acuífero 30
Tabla 22. Veredicto integrado 31
Tabla 23. Memoria de cálculo 32

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo de la lógica del Programa de Conservación de Suelo y Agua: del diagnóstico por escenarios a los criterios de éxito, con separación de zonas (CUSTF temporal vs. predio de compensación permanente) y de medidas permanentes vs. temporales. 6
Figura 2. Erosión hídrica por escenario (Esc 1 actual, Esc 2 con CUSTF, Esc 3 con medidas): la pérdida de suelo salta de 1.97 a 40.93 ton·año⁻¹ al remover el dosel y regresa por debajo de la línea base con medidas. 8
Figura 3. Erosión eólica por escenario (Esc 1 actual, Esc 2 con CUSTF, Esc 3 con medidas in situ): la remoción de la cobertura eleva la pérdida de 12.10 a 77.31 ton·año⁻¹. 9
Figura 4. Cascada del balance hídrico, de la precipitación a la recarga, en la condición actual (Esc 1) y con el cambio de uso (Esc 2): se visualiza cómo el escurrimiento crece y la recarga cae al perder la cobertura. 10
Figura 5. Infiltración al suelo (agua verde) y recarga profunda al acuífero (agua azul) por escenario. 11
Figura 6. Diseño de la terraza individual (cajeteo): corte transversal —cajete de D = 1.00 m y P = 0.10 m con bordo en media luna aguas abajo y planta al centro— y arreglo en tresbolillo (s = 3.00 m, una terraza por planta). 15
Figura 7. Diseño de la barrera de material muerto: corte transversal —sección de H = 0.40 m con zanja de anclaje, estaca y cuña de encharcamiento l_pond = 3.76 m— y disposición en planta sobre curvas de nivel (tramos de 8 m). 16

Figura 8. Diseño del mulching: corte con la capa de residuo del desmonte de 0.05 m de espesor y 80 % de cobertura sobre el suelo desnudo. 17
Figura 9. Diseño de la cortina rompevientos: perfil con las cuatro hileras escalonadas (H = 8 m) y la zona protegida (10–20 veces la altura), y planta con la orientación perpendicular al viento dominante (longitud 1,344 m). 19
Figura 10. Capacidad física de las obras de captación frente al azolve retenido en el horizonte de 7 años: la capacidad total (891.56 m³) supera holgadamente el azolve que efectivamente baja por la ladera. 20
Figura 11. Plano de ubicación de las obras en UTM WGS84 13N: a la izquierda la zona de compensación (3.55 ha, un solo polígono de 14 vértices) y a la derecha la zona de mitigación (0.79 ha, polígono multiparte de 3 anillos), ambas con sus vértices. 21
Figura 12. Cronograma (Gantt) del Programa de Conservación de Suelo y Agua: la construcción de obras y la plantación se concentran en el año 1; el mantenimiento y el monitoreo se extienden a lo largo de los 7 años. 25
Figura 13. Comparativo de suficiencia del artículo 93 en los tres componentes (erosión hídrica, erosión eólica y recarga): en los tres casos la ganancia de las medidas supera el incremento/impacto del cambio de uso de suelo. 31

D.1. Objetivos, metas, alcance y fundamento del programa

D.1.1 Objetivo general

El Programa de Conservación de Suelo y Agua dimensiona, ubica, calendariza y da seguimiento a las obras y medidas con que el proyecto atiende los efectos del cambio de uso de suelo en terrenos forestales (CUSTF) sobre el **suelo** —erosión hídrica y eólica, y azolve entregado al cauce— y el **agua** —infiltración y recarga del acuífero—, en cumplimiento con **la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente LGEEPA** y del criterio de excepcionalidad del **artículo 93 de la LGDFS**.

El diagnóstico cuantitativo y las memorias de cálculo que sustentan cada balance por escenario se desarrollan en el Capítulo VI y sus anexos; aquí se traducen en obras concretas —diseño, cantidades, ubicación en UTM WGS84 13N, cronograma, monitoreo y criterios de éxito— dimensionadas para que la ganancia de las medidas alcance o supere el deterioro atribuible al CUSTF y el escenario con medidas (Esc 3) se mantenga en la línea base (Esc 1) o por debajo.

D.1.2 Objetivos específicos

- Atender el incremento de erosión hídrica de **38.96 t·a⁻¹** atribuible al CUSTF, de modo que el aporte de azolve al cauce con medidas quede en el nivel de la línea base o por debajo (SY Esc 3 ≤ SY Esc 1).
- Atender el incremento de erosión eólica de **65.211 t·a⁻¹** con medidas permanentes —cortina rompevientos y reforestación— que igualen o superen dicho incremento.
- Recuperar el servicio de recarga del acuífero comprometido por el CUSTF (**9,150 m³·a⁻¹** de agua azul) mediante reforestación y obras de captación.
- Restablecer la cobertura vegetal en el predio de compensación (3.55 ha) y en las áreas verdes perimetrales del CUSTF (0.79 ha) hasta las metas de cabida cubierta previstas.
- Dar seguimiento a las obras y a la reforestación durante un mínimo de **7 años**, con un umbral de **≥ 80 % de supervivencia** de la reforestación.

D.1.3 Metas

- Reforestar **3.55 ha** del predio de compensación con Selva Baja Caducifolia hasta **85 % de cabida cubierta** al año 7.
- Revegetar **0.79 ha** de áreas verdes perimetrales del CUSTF hasta **75 % de cabida cubierta** al año 7.
- Construir **4,555 terrazas individuales** (cajeteo), con capacidad de retención de **357.72 m³**.
- Construir **710 m lineales de barreras de material muerto** (89 barreras), con capacidad de retención de **533.83 m³**.
- Aplicar **mulching sobre 0.79 ha** (cobertura 80 %) como cobertura temporal de establecimiento.
- Establecer una **cortina rompevientos de 1,344 m** con árboles nativos (altura madura 8 m), en hileras perpendiculares al viento dominante.
- Alcanzar una **capacidad total de retención de azolve de 891.56 m³** con el conjunto de obras.
- Ejecutar el **programa de monitoreo ≥ 7 años** con los indicadores y umbrales de la Sección 7.

D.1.4 Alcance y superficies de referencia

El programa opera sobre **dos zonas independientes** que no suman superficies entre sí, más una franja de mitigación *in situ* dentro del propio CUSTF:

Tabla 1. Alcance y superficies de referencia

Zona	Superficie (ha)	Fuente	Naturaleza de las medidas	Rol en el balance
Predio de CUSTF (2 polígonos)	3.4097	Shapefile CUSTF (atributo de área)	Temporales (fase de desmonte): mulching; cortina rompevientos in situ (factor L)	Origen del impacto en suelo y agua
Mitigación / revegetación in situ del CUSTF	0.79	Shapefile de obras (Area_ha)	Revegetación de áreas verdes perimetrales no impermeabilizadas (apoyada en mulch temporal)	Reduce la erosión remanente del sitio (Esc 3 CUSTF)
Predio de compensación (off-site)	3.55	Shapefile del predio de compensación	Permanentes: reforestación + terrazas individuales + barreras de material muerto	Compensación de suelo y agua

El diseño separa deliberadamente las medidas **temporales** (mulch, que se degrada hacia el año 7 y solo apoya el establecimiento) de las **permanentes** (cortina rompevientos, reforestación y obras de retención), porque únicamente estas últimas acreditan la suficiencia de largo plazo del artículo 93; el mulch se contabiliza aparte y no se suma al balance permanente. Esta distinción es la que evita la observación típica de sobreestimar la mitigación con medidas de vida útil corta.

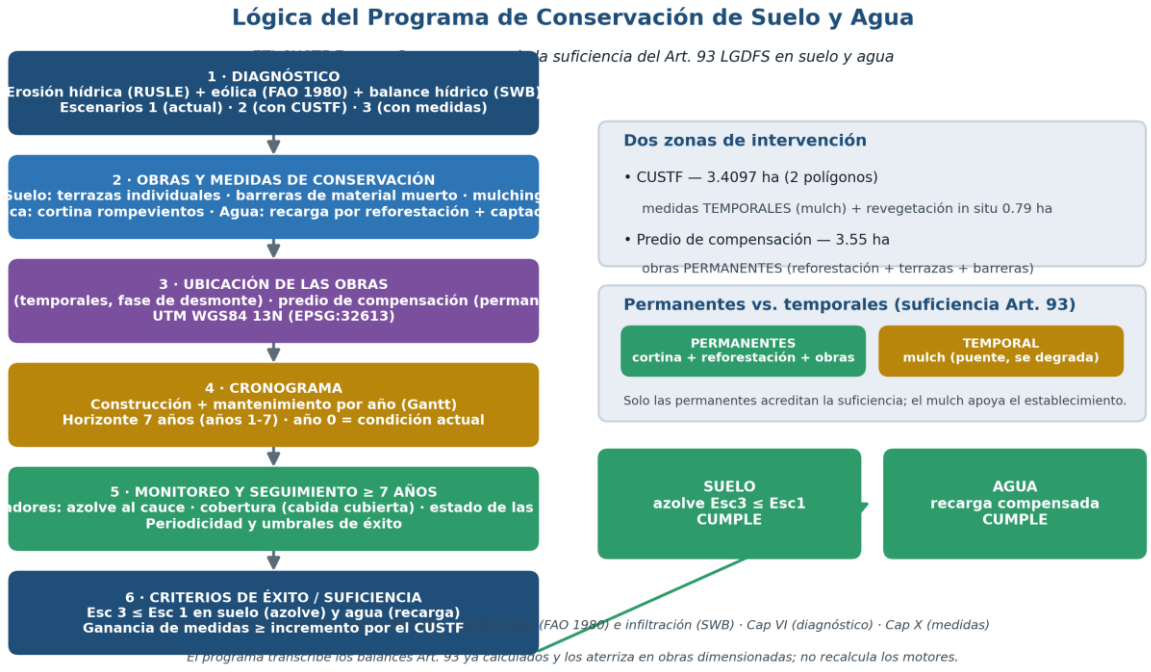


Figura 1. . Diagrama de flujo de la lógica del Programa de Conservación de Suelo y Agua: del diagnóstico por escenarios a los criterios de éxito, con separación de zonas (CUSTF temporal vs. predio de compensación permanente) y de medidas permanentes vs. temporales.

D.1.5 Fundamento jurídico

El programa se sustenta en el **artículo 93 de la LGDFS** —párrafo único, que fija el criterio de excepcionalidad conforme al cual las medidas deben mantener el suelo y el agua en el nivel de la línea base (Esc 3 ≥ Esc 1 en el servicio afectado)— y en el **artículo 141 fracción IX del RLGDFS**, que incorpora al contenido del MIA las medidas de prevención y mitigación de los impactos del CUSTF. El horizonte de seguimiento y mantenimiento de las obras se rige por el plazo mínimo de **siete años** previsto para las medidas de restauración y compensación en el RLGDFS. El dimensionamiento físico de las obras se apoya en las metodologías de referencia que desarrolla la Sección 2 (RUSLE para erosión hídrica, FAO-PNUMA-UNESCO 1980 para erosión eólica, balance hídrico diario para infiltración y recarga, y el *Manual de Obras y Prácticas de Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales* de la CONAFOR 2023), citadas con autor y año en el diagnóstico.

La secuencia refleja la trazabilidad exigible: cada obra que se dimensiona en el componente 4 responde a un déficit cuantificado en el diagnóstico (componente 3) y se verifica en el monitoreo (componente 7) contra el criterio de suficiencia (componente 8). Esta cadena diagnóstico → medida → indicador → suficiencia es la que sostiene la defensa técnica del programa ante la autoridad y evita medidas declarativas sin respaldo físico ni seguimiento.

D. 2. Diagnóstico de erosión y balance hídrico

El diagnóstico fija, para cada servicio afectado, tres escenarios: la línea base con cobertura forestal (Esc 1), la condición con el cambio de uso sin medidas (Esc 2) y la condición con medidas (Esc 3). La diferencia Esc 2 − Esc 1 es el **incremento del deterioro** que las obras de la Sección 4 deben igualar o superar. Los cálculos por píxel y sus memorias se desarrollan en el Capítulo VI; aquí se sintetizan los resultados que dimensionan el programa. El suelo se diagnostica por dos procesos independientes —erosión hídrica y erosión eólica— más el azolve entregado al cauce; el agua, por el balance de infiltración y recarga.

D.2.1 Erosión hídrica (RUSLE)

La pérdida de suelo por agua se estimó con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada, $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$ (ton·ha^{-1}·año^{-1}), evaluada por píxel sobre la malla del modelo digital de elevación (Wischmeier y Smith, 1978; Renard et al., 1997). La erosividad R se obtuvo de las ecuaciones regionalizadas de Cortés para México, $R = a \cdot PMA + b \cdot PMA^2$ (Figueroa Sandoval et al., 1991; Montes-León et al., 2011), interpolada por distancia inversa (IDW, p = 2) desde las estaciones climatológicas; la erodabilidad K, del Cuadro 3 de Montes-León et al. (2011) sobre la unidad edafológica de la carta INEGI Serie II; los factores topográficos L y S, del modelo digital de elevación CEM 3.0 (Desmet y Govers, 1996; McCool et al., 1987); y el factor C, de la cobertura medida en campo traducida por las tablas de TRAGSA (1998). En terreno forestal P = 1.0 por no existir prácticas de apoyo.

Tabla 2. Factores de entrada por polígono (Esc 1)

Polígono	Sup. (ha)	R	K	L	S	C	P	A (ton·ha^{-1}·año^{-1})	Clase (FAO 1980)
1	0.9598	6820	0.02	0.627	0.409	0.02	1	0.7	Ninguna o ligera
2	2.4499	6821	0.02	0.663	0.293	0.02	1	0.53	Ninguna o ligera

Tabla 3. Pérdida de suelo por escenario

Escenario	Condición	C	Pérdida total (ton·año⁻¹)	Clase (FAO 1980)
Esc 1	Cobertura forestal actual	0.02	1.97	Ninguna o ligera
Esc 2	CUSTF sin medidas (despalme)	0.16	40.927	Moderada
Incremento (Esc 2 − Esc 1)			38.957	+1,977.5 % sobre la línea base

El único factor que cambia entre Esc 1 y Esc 2 es C: la remoción del dosel eleva el factor de cobertura de 0.020 a 0.160, y con él la pérdida de suelo casi se vigésima. El polígono con mayor pérdida bajo CUSTF es el 1 (A = 14.623 ton·ha⁻¹·año⁻¹), por su mayor pendiente.

Del suelo desprendido al azolve (calidad del agua). No todo el suelo erosionado llega al cauce: se aplicó una Tasa de Entrega de Sedimentos por conectividad aguas abajo (Índice de Conectividad de Borselli et al., 2008; núcleo InVEST SDR; SDR_max = 0.8, k = 2.0, IC0 = 0.5). El sedimento entregado (SY) pasa de 0.21 ton·año⁻¹ (Esc 1) a 4.35 ton·año⁻¹ (Esc 2); el **azolve atribuible al proyecto es ΔSY = 4.14 ton·año⁻¹ = 3.18 m³·año⁻¹** de colmatación adicional en la red de drenaje (densidad aparente del sedimento 1.3 ton·m⁻³). Este es el indicador operativo del impacto sobre la calidad del agua por la vía del sedimento.

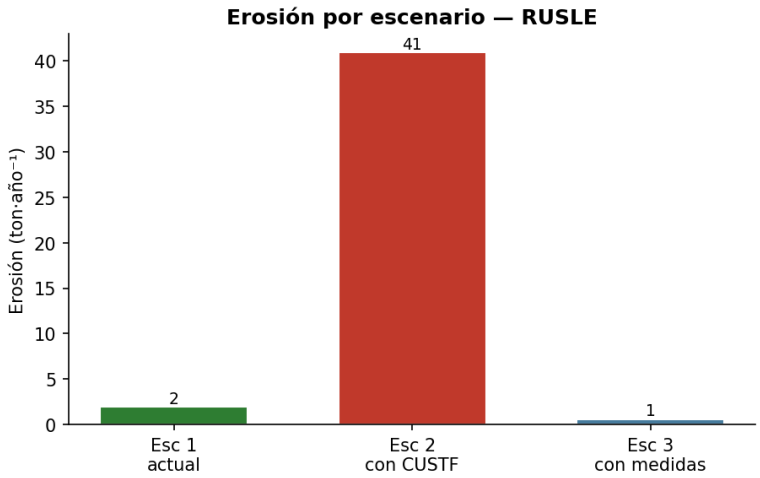


Figura 2. Erosión hídrica por escenario (Esc 1 actual, Esc 2 con CUSTF, Esc 3 con medidas): la pérdida de suelo salta de 1.97 a 40.93 ton·año⁻¹ al remover el dosel y regresa por debajo de la línea base con medidas.

El incremento de 38.96 ton·año⁻¹ de erosión hídrica y el azolve de 4.14 ton·año⁻¹ son los dos déficits que la Sección 4 debe cubrir por la vía del suelo: la recuperación de cobertura (que revierte el factor C) y la retención física de las obras (que capta el azolve que baja), respectivamente. La clase de erosión moderada del Esc 2 confirma que el impacto, aunque acotado en magnitud absoluta por la baja pendiente, es real y localizado en el polígono de mayor declive.

D.2.2 Erosión eólica (FAO 1980)

La pérdida de suelo por viento se estimó con el método FAO-PNUMA-UNESCO (1980), E = C·S·T·V·L (ton·ha⁻¹·año⁻¹), donde C es la agresividad climática del viento (calculada por estación con la evapotranspiración potencial de Thornthwaite, 1948, e interpolada por IDW), S la erodabilidad del suelo por textura, T el factor topográfico por clase de pendiente, V la cubierta vegetal y L el uso del suelo. El factor L

se mantiene constante (= 1.0) en los tres escenarios: el disturbio del cambio de uso lo captura íntegramente V, evitando doble conteo.

Tabla 4. Tabla 1. Pérdida de suelo por escenario

Escenario	Condición	V (efectivo)	Pérdida total (ton·año⁻¹)	Clase (FAO 1980)
Esc 1	Cobertura forestal actual	0.148	12.099	Ninguna o ligera
Esc 2	CUSTF sin medidas (despalme)	0.944–0.95	77.311	Moderada
Incremento (Esc 2 − Esc 1)			**65.211**	+539.0 % sobre la línea base

Al igual que en la erosión hídrica, el factor que domina el aumento es la pérdida de cobertura (V): C, S, T y L no cambian entre escenarios. Nótese que la magnitud absoluta del incremento eólico (65.21 ton·año⁻¹) supera al hídrico (38.96 ton·año⁻¹), y que su clasificación FAO es distinta de la hídrica (umbrales < 20 / 20–50 / 50–150 / > 150 ton·ha⁻¹·año⁻¹), por lo que ambos procesos se diagnostican y compensan por separado.

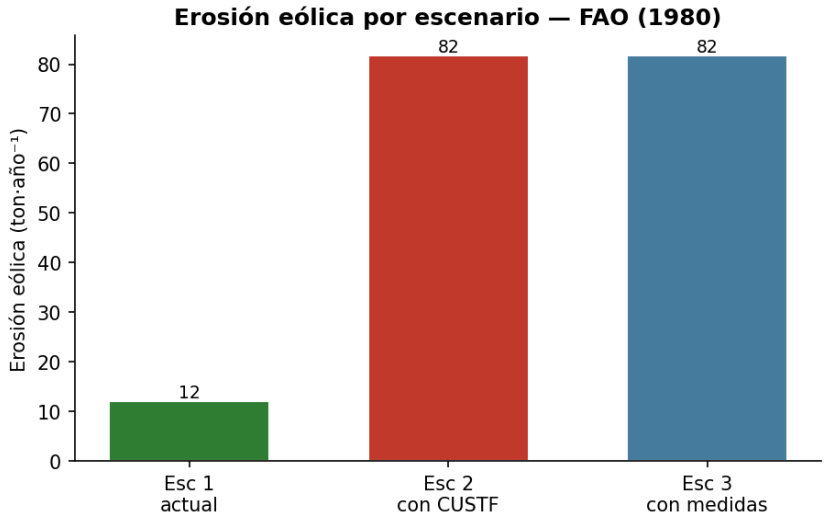


Figura 3. Erosión eólica por escenario (Esc 1 actual, Esc 2 con CUSTF, Esc 3 con medidas in situ): la remoción de la cobertura eleva la pérdida de 12.10 a 77.31 ton·año⁻¹.

El incremento de 65.21 ton·año⁻¹ de erosión eólica es el tercer déficit de suelo. A diferencia de la hídrica, aquí no hay retención física de sedimento: la compensación se logra reduciendo la exposición del suelo al viento, con la cortina rompevientos in situ (que reduce el factor L sobre el CUSTF) y la reforestación de compensación (que recupera V). Ambas se dimensionan en la Sección 4.

D.2.3 Balance hídrico (infiltración y recarga)

El ciclo del agua se modeló con un balance diario de humedad del suelo (Thornthwaite-Mather; método SWB, Westenbroek 2010), con evapotranspiración potencial por Penman-Monteith FAO-56 (Allen et al., 1998), escurrimiento por número de curva SCS (NEH-630) y propiedades hidráulicas del suelo por Saxton-Rawls (2006) sobre la edafología INEGI Serie II. Se distingue el **agua verde** (infiltración al suelo = precipitación − intercepción − escurrimiento, sensible a la cobertura en todos los ecosistemas) del **agua azul** (recarga profunda al acuífero), que es la métrica regulatoria del artículo 93. El cierre de masa es P = Intercepción + Escurrimiento + Evapotranspiración real + Recarga profunda.

Balance hídrico por componente y escenario (m³·año⁻¹, sobre las 3.41 ha del trazo):

Tabla 5. Tabla 2. Balance hídrico (infiltración y recarga)

Componente	Esc 1 (actual)	Esc 2 (con CUSTF)	Esc 3 (con medidas)
Precipitación (entrada)	31809	31809	31809
Intercepción	1944	0	972
Escurrimiento	205	11031	247
Evapotranspiración real	17461	17882	20199
Infiltración al suelo (agua verde)	29660	20779	30592
Recarga profunda (agua azul)	12199	3049	4014

El mecanismo del impacto es causal: al remover la cobertura, el suelo pierde estructura y macroporosidad y su número de curva sube, de modo que el escurrimiento se dispara de 205 a 11,031 m³·año⁻¹ y la fracción de lluvia que infiltra y recarga cae. El cambio de uso **reduce la recarga profunda en 9,150 m³·año⁻¹** (75.0 % respecto a la condición actual) y la infiltración al suelo en 8,881 m³·año⁻¹ (29.9 %). En la condición actual la recarga equivale al 38.3 % de la precipitación media anual (932.9 mm).

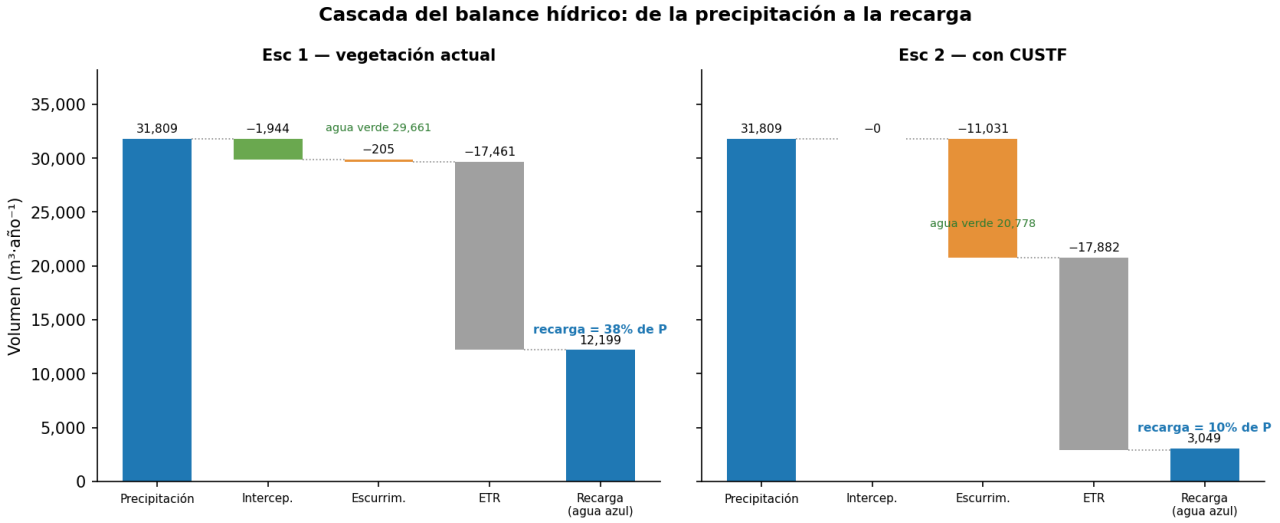


Figura 4. Cascada del balance hídrico, de la precipitación a la recarga, en la condición actual (Esc 1) y con el cambio de uso (Esc 2): se visualiza cómo el escurrimiento crece y la recarga cae al perder la cobertura.

El déficit de recarga de 9,150 m³·año⁻¹ (agua azul) es el impacto que las obras de conservación de agua deben recuperar. La recuperación se logra por dos vías, dimensionadas en la Sección 4: la reforestación del predio de compensación (que restablece la condición hidrológica del suelo y con ella la recarga directa) y las obras de captación —terrazas y barreras— (que interceptan escurrimiento y lo infiltran durante el establecimiento de la reforestación). El agua verde se reporta como indicador del efecto de la cobertura, pero la suficiencia del artículo 93 se evalúa sobre el agua azul.

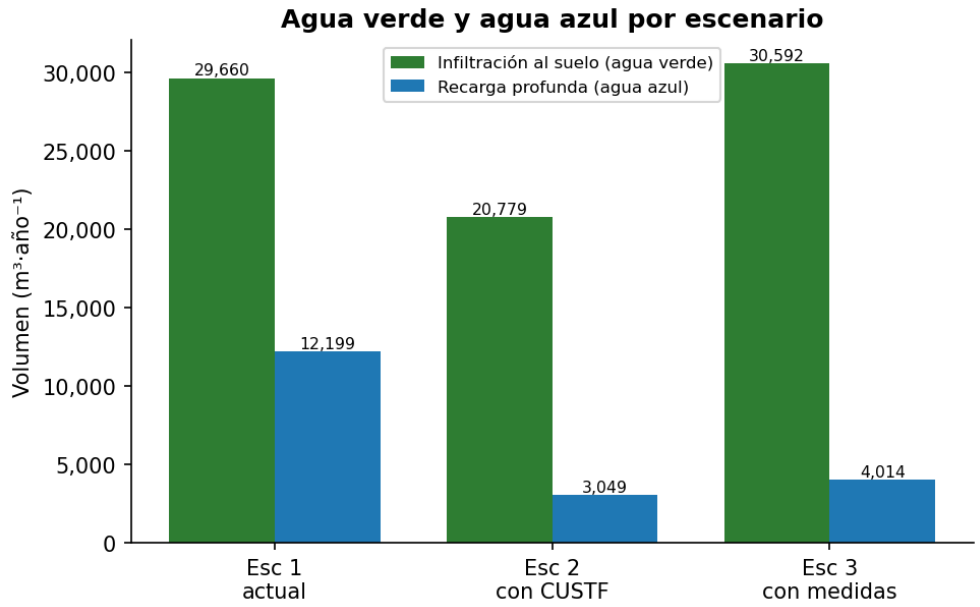


Figura 5. Infiltración al suelo (agua verde) y recarga profunda al acuífero (agua azul) por escenario.

D.2.4 Síntesis integrada del déficit a compensar

Los tres procesos de suelo y el de agua definen, en conjunto, la carga que el programa debe cubrir. La tabla siguiente concentra los déficits que sirven de referencia a las Secciones 4 (obras) y 8 (punto de comprobación):

Tabla 6. Síntesis integrada del déficit a compensar

Servicio / proceso	Indicador	Esc 1	Esc 2	Incremento / impacto	Métrica de suficiencia (art. 93)
Suelo — erosión hídrica	Pérdida de suelo (ton·año⁻¹)	1.97	40.927	**38.957**	Esc 3 ≤ Esc 1 (pérdida y azolve)
Suelo — azolve al cauce	Sedimento entregado SY (ton·año⁻¹)	0.21	4.35	**4.14 (= 3.18 m³·año⁻¹)**	SY Esc 3 ≤ SY Esc 1
Suelo — erosión eólica	Pérdida de suelo (ton·año⁻¹)	12.099	77.311	**65.211**	Esc 3 ≤ Esc 1
Agua — recarga del acuífero	Recarga profunda / agua azul (m³·año⁻¹)	12,199	3,049	**9,150**	Recarga recuperada ≥ impacto

Estos cuatro déficits son la vara contra la que se dimensiona y verifica todo el programa. El suelo se atiende por dos mecanismos independientes sin doble conteo —recuperación de cobertura (revierte C y V) y retención física de azolve (obras)—; el agua, por reforestación más obras de captación. La Sección 4 detalla cada obra con su ficha constructiva y su aporte cuantificado; la Sección 8 (Punto de comprobación) cierra el balance mostrando que la ganancia de las medidas iguala o supera cada uno de estos incrementos, de modo que el escenario con medidas se mantenga en la línea base o por debajo, conforme al artículo 93 de la LGDFS.

D.3. Medidas y obras de conservación

Las obras responden a los déficits cuantificados en la Sección 2 y se detectan del shapefile de obras del proyecto (no se proponen por defecto). Actúan por cuatro mecanismos independientes, sin doble conteo: recuperación de cobertura (revierte los factores C y V), retención física de azolve (obras de captación), reducción de la exposición del suelo al viento (cortina) e incremento de la infiltración/recarga. La nomenclatura de cada obra es la canónica del *Manual de Obras y Prácticas de Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales* (CONAFOR, 2023, 6ª ed.), idéntica a la memoria hidráulica; el mecanismo se explica dentro de cada ficha, el nombre se respeta.

Tabla 7. Resumen de obras del programa

Obra	Zona	Cantidad / dimensión	Mecanismo principal	Carácter
Reforestación / plantación	Compensación (3.55 ha) + revegetación in situ (0.79 ha)	~1,283 plantas·ha⁻¹ (≈ 4,555 plantas)	Recupera cobertura (C, V) e infiltración (CN)	Permanente
Terraza individual (cajeteo)	Predio de compensación	4,555 terrazas; D = 1.0 m, P = 0.10 m	Retención de azolve + infiltración	Permanente
Barrera de material muerto	Predio de compensación	710 m lineales (89 barreras); H = 0.40 m	Retención de azolve + infiltración	Permanente
Mulching	CUSTF — áreas verdes perimetrales (0.79 ha)	Espesor 0.05 m; cobertura 80 %	Reduce C y V; reduce encostramiento (CN)	Temporal
Cortina rompevientos	Perímetro del CUSTF (barlovento)	1,344 m; 4 hileras, H madura 8 m	Reduce la longitud sin obstáculo al viento (L)	Permanente

La capacidad física total de retención de azolve del conjunto de obras de captación es de **891.56 m³** (terrazas 357.72 m³ + barreras 533.83 m³).

D.3.1 Reforestación / plantación forestal

Función y mecanismo. Restablecimiento de la cobertura arbórea y arbustiva con especies nativas de Selva Baja Caducifolia. Es el eje de la compensación: protege la superficie, recupera la estructura del suelo y, conforme cierra el dosel, restituye la infiltración. En los modelos actúa reduciendo el factor de cobertura y manejo C (RUSLE), aumentando la cobertura vegetal equivalente V (WEQ) y reduciendo el número de curva del escurrimiento CN al revertir el sellado del suelo (recuperación de estructura, materia orgánica y macroporosidad).

Diseño y cantidad. Marco de plantación en tresbolillo sobre curvas de nivel, con planta de vivero certificado. Densidad de plantación ≈ 1,283 plantas·ha⁻¹ (una terraza individual por planta), equivalente a ≈ 4,555 plantas sobre las 3.55 ha del predio de compensación, más la revegetación de las 0.79 ha de áreas verdes perimetrales del CUSTF. La trayectoria de cobertura (cabida cubierta) objetivo es de 15 % a 85 % en el predio de compensación y de 0 % a 75 % en la revegetación in situ, a lo largo del horizonte de 7 años.

Especificaciones constructivas. Marco de plantación en tresbolillo sobre curvas de nivel, con una terraza individual (cajete) por planta y densidad ≈ 1,283 plantas·ha⁻¹. Apertura de cepa de ≈ 0.40 × 0.40 × 0.40 m [dimensión conforme al tamaño de la planta de vivero], con separación de suelo y subsuelo; planta de vivero certificado, de especies nativas de la Selva Baja Caducifolia [Completar con las especies del Programa de Restauración, provenientes del inventario de campo]. Plantación al inicio de la temporada de lluvias para asegurar el prendimiento, con riego de establecimiento y reposición de fallas en la temporada siguiente.

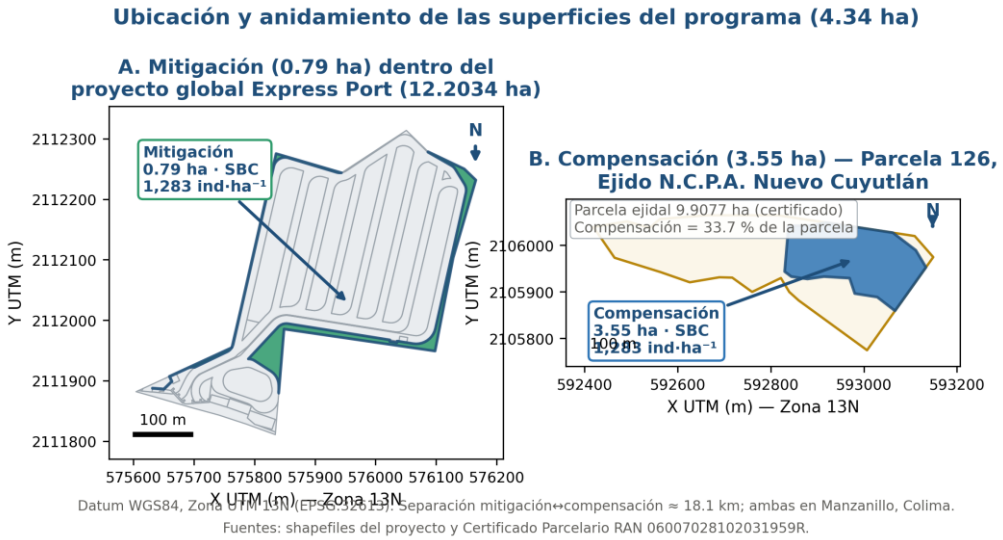


Figura 6. Ubicación y anidamiento de las superficies del programa. Datum WGS84, Zona UTM 13N.

Aporte al balance. Erosión hídrica: ganancia de 360.18 ton·año⁻¹ (predio de compensación) y 24.77 ton·año⁻¹ (revegetación in situ), por la reducción de C con el cierre del dosel. Erosión eólica: ganancia de 30.40 ton·año⁻¹ por la recuperación de V. Recarga: 65,300 m³ acumulados en el horizonte (13,005 m³·año⁻¹ una vez establecida la cobertura).

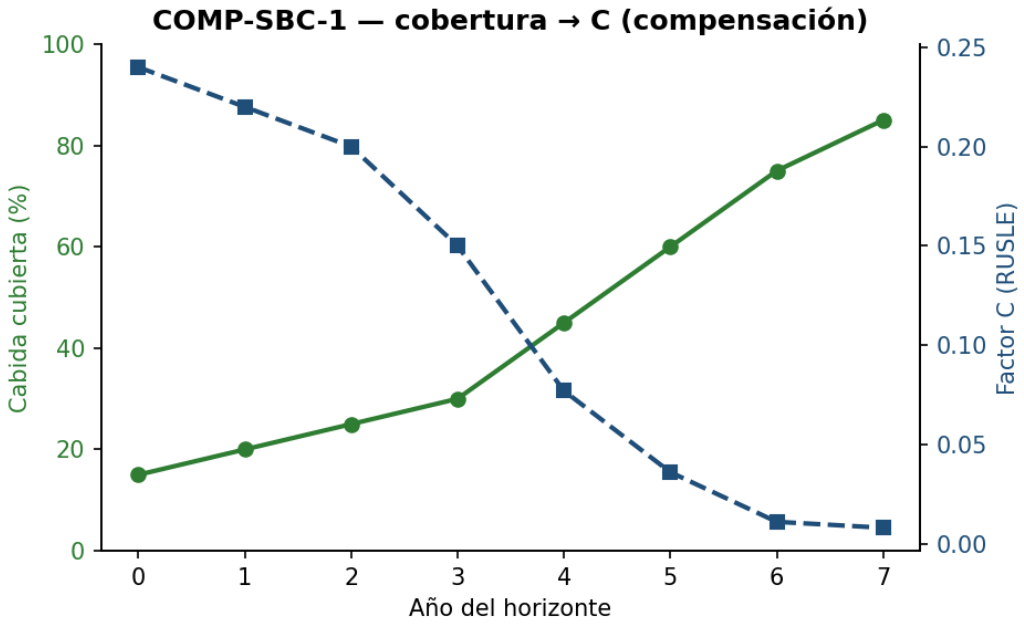


Figura 7. Trayectoria de la cobertura (cabida cubierta) y su efecto sobre el factor C de la RUSLE en el predio de compensación: al crecer la cobertura de 15 % a 85 %, el factor C y la erosión descienden año con año.

La reforestación es la única medida que atiende simultáneamente los tres servicios (suelo hídrico, suelo eólico y agua) y es permanente, por lo que constituye el núcleo de la suficiencia de largo plazo. Su efecto es gradual: las obras de captación y el mulch cubren la ventana de establecimiento hasta que el dosel alcanza su función plena hacia el año 7.

D.3.2 Terraza individual (cajeteo)

Función y mecanismo. Excavación circular alrededor de cada planta que intercepta y retiene el escurrimiento para que se infiltre, atrapa el sedimento que baja por la ladera y almacena agua para la planta. Acompaña a la reforestación (una terraza por planta). En los modelos reduce los factores de prácticas P y de longitud-pendiente LS (RUSLE) y retiene azolve; aporta infiltración.

Diseño y cantidad.

Tabla 8. Terraza individual (cajeteo)

Parámetro	Valor	Fuente
Diámetro D	1.00 m	Shapefile de obras
Profundidad P	0.10 m	Shapefile de obras
Volumen unitario	0.0785 m³	π·(D/2)²·P
Arreglo	Tresbolillo	Manual CONAFOR
Espaciamiento s	3.00 m	s = √(11 547/densidad)
Densidad	1,283 terrazas·ha⁻¹	#¿NOMBRE?
Número de terrazas	4555	densidad × 3.55 ha
Capacidad de retención	357.72 m³	N · V unitario

Descripción detallada. La terraza individual es una excavación en forma de plato o cajete, de sección cóncava, con diámetro D = 1.00 m y profundidad P = 0.10 m (dentro del rango del Manual: D ≈ 0.8–1.2 m, P ≈ 0.10–0.20 m), que define un vaso de almacenamiento de 0.0785 m³ por unidad. El material producto de la excavación no se retira: se acomoda formando un **bordo semicircular (media luna) aguas abajo del cajete**, de aproximadamente 0.15–0.20 m de altura y ligeramente compactado, que cierra el vaso por su lado de menor cota y funciona como micro-bordo de retención, aumentando la lámina de encharcamiento y con ella la capacidad de infiltración y de captura de sedimento.

Arreglo y trazo. Las terrazas se distribuyen en **marco real tresbolillo** (retícula de triángulos equiláteros), con espaciamiento entre centros s = 3.00 m, derivado de la densidad de plantación por s = √(11 547/densidad). El tresbolillo desfasa las hileras de modo que ninguna línea de flujo descienda por la ladera sin encontrar un cajete: cada terraza intercepta el escurrimiento laminar que escapa a las de aguas arriba, lo que maximiza la eficiencia de captura geométrica (η = D/s). El bordo de cada cajete se orienta siguiendo la curva de nivel, perpendicular a la línea de máxima pendiente.

Procedimiento constructivo. (1) Trazo del marco tresbolillo con estadal y cuerda, referido a las curvas de nivel; (2) excavación manual con pala o talacho —barreta en suelos compactos—, desalojando el material hacia aguas abajo; (3) conformación y compactación ligera del bordo en media luna; (4) plantación de un individuo al centro de cada cajete (una terraza por planta); (5) opcionalmente, incorporación de materia orgánica o mulch al fondo del cajete para conservar humedad durante el establecimiento. La ejecución se realiza en la preparación del terreno, junto con la plantación y antes de la temporada de lluvias, en laderas de pendiente baja a media (hasta 25–30 %; en el sitio 10.6 %).

Rendimiento y mantenimiento. La tasa de infiltración del cajete depende del grupo hidrológico del suelo; en el sitio (grupo B, tasa ≈ 7.6 mm·h⁻¹ conforme a la memoria de infiltración) es favorable. El mantenimiento consiste en el desazolve del cajete al colmatarse y la reposición del bordo tras lluvias intensas; la vida útil está condicionada por la tasa de azolve que recibe.

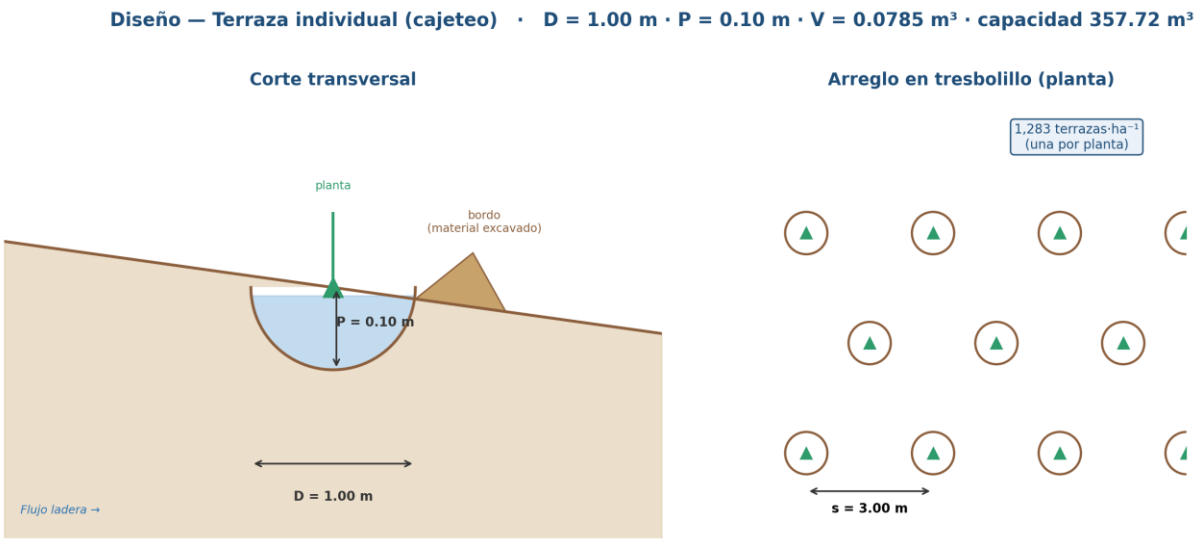


Figura 8. Diseño de la terraza individual (cajeteo): corte transversal —cajete de D = 1.00 m y P = 0.10 m con bordo en media luna aguas abajo y planta al centro— y arreglo en tresbolillo (s = 3.00 m, una terraza por planta).

Ubicación. Predio de compensación (zona Compensación del shapefile de obras, 3.55 ha), sobre laderas de pendiente baja a media (10.6 %); vértices del polígono en UTM WGS84 13N en la Sección 4.

Aporte al balance. Retención física de azolve conjunta con las barreras (119.39 ton·año⁻¹, acotada al azolve real que baja por la ladera; eficiencia de captura geométrica η = D/s). Recarga: 12,948 m³ acumulados durante su vida útil (pico ~4,418 m³·año⁻¹ en los primeros años, cuando puentean el establecimiento de la reforestación).

La terraza opera en serie con la reforestación y con las barreras: retiene primero el azolve y aporta infiltración durante los años en que la cobertura aún no cierra, y su capacidad decae conforme se colmata y conforme el dosel reduce el escurrimiento disponible.

D.3.3 Barrera de material muerto

Función y mecanismo. Barrera física construida con los restos del desmonte, acomodada sobre la curva de nivel; frena la escorrentía, retiene sedimento y aporta materia orgánica al degradarse. En los modelos reduce el factor de prácticas P (RUSLE) y retiene azolve, controlando los sólidos suspendidos totales; su efecto eólico es despreciable.

Diseño y cantidad.

Tabla 9. Barrera de material muerto

Parámetro	Valor	Fuente
Alto H	0.40 m	Shapefile de obras
Ancho A	0.40 m	Shapefile de obras
Largo de tramo L	8.00 m	Shapefile de obras
Metros lineales por hectárea	200	Memoria hidráulica
Metros lineales totales	710	200 × 3.55 ha
Número de barreras	89	m lineales / L
Longitud de embalse l_pond	3.76 m	H / pendiente

Parámetro	Valor	Fuente
Capacidad por metro lineal	0.7519 m³	½·l_pond·H
Capacidad de retención	533.83 m³	cap/ml × m lineales

Descripción La barrera de material muerto es una estructura lineal formada con el material leñoso del propio desmonte —ramas, fustes delgados y puntas—, acomodado transversalmente a la pendiente sobre la curva de nivel. Su sección transversal es aproximadamente trapezoidal, con altura H = 0.40 m y ancho de base A = 0.40 m, dispuesta en tramos de L = 8 m.

Procedimiento constructivo. (1) Trazo de las curvas de nivel con nivel en "A", nivel de manguera o clinómetro; (2) apertura de una **zanja de anclaje somera** (≈ 0.10–0.15 m) al pie de la barrera, para empotrar la base del material y evitar que el flujo la socave o la desplace; (3) colocación del material más grueso en la base, orientado a lo largo de la curva, y relleno hacia arriba con material fino entrelazado hasta la altura de proyecto; (4) **estacado** con estacas (vivas o muertas) cada 1–2 m sobre el lado de aguas abajo, para sostener el material y dar rigidez a la faja; (5) compactación manual para reducir huecos y homogeneizar la sección. El material se valoriza in situ, por lo que no se activa el aviso de aprovechamiento de la CONAFOR ni se propone quema en sitio.

Función hidráulica y disposición. Cada barrera encharca aguas arriba una cuña triangular de longitud l_pond = H/pendiente = 3.76 m; la lámina retenida reduce la velocidad del escurrimiento, decanta el sedimento y favorece la infiltración, con una capacidad de embalse de ½·l_pond·H = 0.7519 m³ por metro lineal. La densidad es de 200 m lineales por hectárea (710 m en total, 89 tramos), y la **separación vertical entre barreras** se fija por la pendiente —a mayor pendiente, menor intervalo—, de modo que el pie de una barrera coincida aproximadamente con el nivel de encharcamiento de la inmediata superior [intervalo específico conforme a la memoria hidráulica].

Degradación y mantenimiento. La barrera cumple su función física durante 3–7 años y se degrada incorporando materia orgánica al suelo; para entonces la reforestación ya aporta cobertura permanente. El mantenimiento consiste en reponer el material desplazado y reanclar las estacas tras eventos extraordinarios.

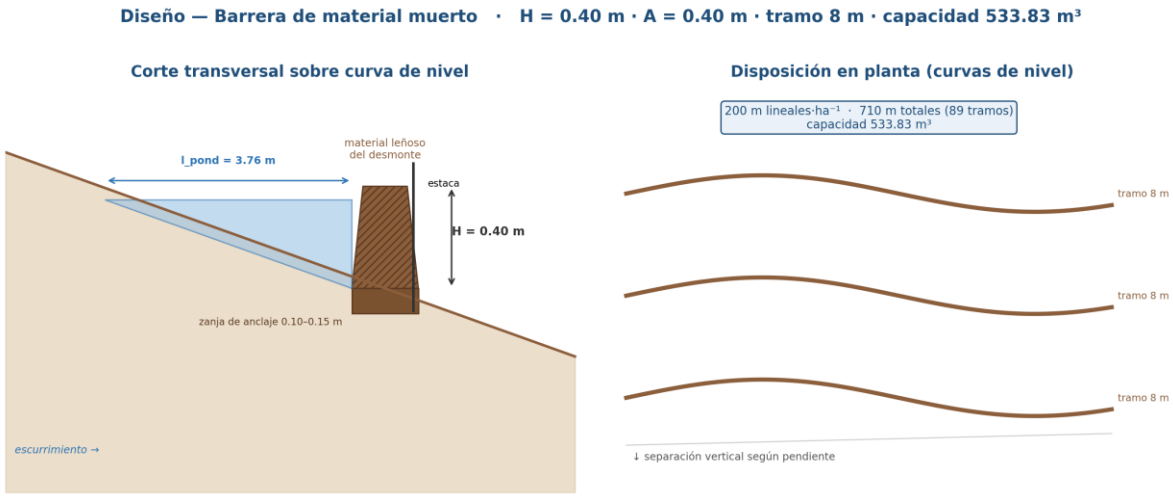


Figura 9. Diseño de la barrera de material muerto: corte transversal —sección de H = 0.40 m con zanja de anclaje, estaca y cuña de encharcamiento l_pond = 3.76 m— y disposición en planta sobre curvas de nivel (tramos de 8 m).

Ubicación. Predio de compensación (zona Compensación, 3.55 ha), sobre curvas de nivel (pendiente 10.64 %); vértices del polígono en UTM WGS84 13N en la Sección 4.

Aporte al balance. Retención física de azolve conjunta con las terrazas (119.39 ton·año⁻¹, azolve real; operación en cascada, la barrera capta el azolve residual que deja la terraza, sin doble conteo). Recarga: 2,072 m³ acumulados (pico ~707 m³·año⁻¹).

Las barreras cierran el sistema de retención de la ladera: captan el azolve que escapa a las terrazas y estabilizan la superficie durante el establecimiento de la reforestación, degradándose después e incorporando materia orgánica al suelo.

D.3.4 Mulching

Función y mecanismo. Capa de restos vegetales triturados del propio desmonte, extendida sobre el suelo desnudo. Reduce el arranque eólico, amortigua el impacto de la gota de lluvia y evita el encostramiento de la superficie. En los modelos aumenta la cobertura vegetal equivalente V y la rugosidad (WEQ), reduce el factor de cobertura C (RUSLE) y reduce el número de curva del escurrimiento CN (infiltración). No tiene capacidad volumétrica: se modela por la trayectoria de cobertura y decae con su eficacia a lo largo del horizonte.

Diseño y cantidad. Espesor de capa 0.05 m; cobertura del suelo 80 % (umbral de eficacia ≥ 60 %); superficie 0.79 ha de áreas verdes perimetrales del CUSTF. Es una medida **temporal**: su eficacia decae del 100 % al 15 % entre el año 0 y el año 7.

Especificaciones constructivas. Picado del material fino del desmonte (ramillas y hojarasca) y esparcido uniforme sobre el suelo desnudo hasta un espesor de capa ≈ 0.05 m y una cobertura del 80 % de la superficie; en las porciones con pendiente, el material se ancla ligeramente al terreno o se combina con las barreras de material muerto para evitar su arrastre por el viento o la escorrentía. Aplicación inmediatamente después del desmonte y antes de la temporada de lluvias o vientos, mientras dura la ventana de exposición del suelo.

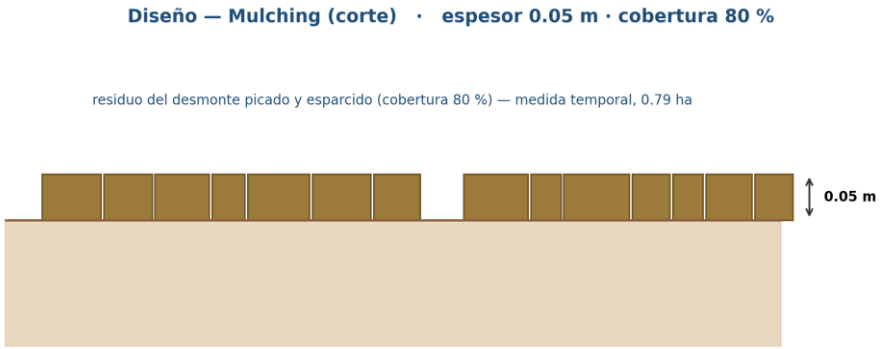


Figura 10. Diseño del mulching: corte con la capa de residuo del desmonte de 0.05 m de espesor y 80 % de cobertura sobre el suelo desnudo.

Ubicación. Dentro del CUSTF, sobre las áreas verdes perimetrales no impermeabilizadas (zona Mitigación del shapefile, 0.79 ha); vértices del polígono en UTM WGS84 13N en la Sección 4.

Aporte al balance. Erosión hídrica: ganancia promedio de 3.75 ton·año⁻¹. Erosión eólica: ganancia promedio de 9.009 ton·año⁻¹ (procesos físicos distintos, de ahí los valores distintos por vía). Recarga: 7,722 m³ acumulados (965 m³·año⁻¹ de recuperación in situ sobre el suelo despalmado). Por su carácter temporal, el mulch **no se suma a la suficiencia permanente**: apoya el establecimiento y su relevo lo dan la cortina rompevientos y la reforestación.

El mulch es el puente de establecimiento: cubre la ventana crítica entre el desmonte y el cierre del dosel, cuando el suelo está más expuesto, y se retira del balance de largo plazo precisamente porque se degrada, evitando sobreestimar la mitigación permanente.

D.3.5 Cortina rompevientos

Función y mecanismo. Hileras de árboles nativos perpendiculares al viento dominante que reducen su velocidad y el transporte eólico en la zona protegida, que alcanza de 10 a 20 veces la altura del arbolado. En los modelos reduce con efecto fuerte la longitud del terreno sin obstáculo al viento (L) sobre el CUSTF y aporta cobertura V (WEQ); su efecto hídrico y de infiltración es menor.

Diseño y cantidad. Cuatro hileras con separación de 3 m entre hileras, altura madura esperada 8 m, orientación perpendicular al viento dominante; longitud 1,344 m. La superficie protegida (capacidad 10·H·longitud = 10.75 ha) cubre la totalidad del CUSTF (3.41 ha), por lo que el factor de protección es pleno (f_p = 1.00); el factor L maduro sobre el CUSTF es 0.343 y la reducción de erosión en la franja sigue la ley del cubo de la velocidad (η = 0.657, NRCS CPS 380). Es una medida **permanente**: el balance la acredita a su tasa madura (año 7).

Descripción detallada y geometría. La cortina rompevientos es una barrera vegetal lineal de **cuatro hileras** de árboles y arbustos nativos, dispuesta perpendicular al viento dominante sobre el borde a barlovento del CUSTF, con una longitud de 1,344 m. La separación entre hileras es de 3 m y la separación entre individuos dentro de la hilera es de [Completar — típicamente 2–3 m según especie y hábito]; la altura madura esperada del arbolado (H) es de 8 m.

Estructura y porosidad. Las hileras se disponen en arreglo escalonado —arbustos y árboles de menor porte en las hileras exteriores y árboles de mayor altura al centro—, de modo que el perfil vertical de la cortina sea **semipermeable**, con una porosidad de proyecto del orden de 40–50 %. Una cortina con esa porosidad deja pasar parte del viento y evita la turbulencia y la aceleración de sotavento que produciría una barrera impermeable, lo que extiende y estabiliza la zona protegida (USDA-NRCS CPS 380).

Zona de protección y mecanismo. A sotavento la cortina protege una franja equivalente a 10–20 veces su altura (con H = 8 m, del orden de 80–160 m) y a barlovento de 2 a 5 veces la altura. Su capacidad de protección (10·H·longitud = 10.75 ha) cubre la totalidad de las 3.41 ha del CUSTF, por lo que el factor de protección es pleno (f_p = 1.00). El mecanismo es la reducción de la velocidad del viento en la franja protegida: como el transporte eólico de partículas es proporcional al cubo de la velocidad, una reducción moderada de la velocidad se traduce en una reducción mayor de la erosión ($\eta = 1 - (1 - r_v)^3 = 0.657$, con $r_v = 0.30$), lo que fija el factor L maduro de la cortina en 0.343.

Procedimiento constructivo y establecimiento. Trazo de la línea de la cortina perpendicular al viento dominante sobre el borde a barlovento; apertura de cepas o terrazas individuales para la plantación; plantación de especies nativas [Completar con las especies del Programa de Restauración] al inicio de la temporada de lluvias, con riego de establecimiento y protección contra ramoneo. La cortina alcanza su efecto pleno de forma gradual, siguiendo una trayectoria de altura H(t)/H_maduro de 0.1 a 1.0 entre el año 0 y el año 7; por ello el balance la acredita a su tasa madura (permanente). El mantenimiento incluye reposición de fallas, poda de formación y control fitosanitario.



Figura 11. Diseño de la cortina rompevientos: perfil con las cuatro hileras escalonadas (H = 8 m) y la zona protegida (10–20 veces la altura), y planta con la orientación perpendicular al viento dominante (longitud 1,344 m).

Ubicación. Perímetro del CUSTF, sobre el borde a barlovento (zona Mitigación, 0.79 ha); longitud 1,344 m; vértices del polígono en UTM WGS84 13N en la Sección 4.

Aporte al balance. Erosión eólica: ganancia madura de 50.79 ton·año⁻¹, permanente. Es la principal medida in situ del componente eólico, complementaria de la reforestación de compensación.

Vinculación. La cortina y la reforestación son las dos medidas permanentes que sostienen la suficiencia eólica de largo plazo; su acreditación a la tasa madura (año 7) es coherente con la trayectoria de establecimiento de ambas y con el criterio de evaluar la suficiencia por las medidas que perduran.

D.3.6 Cuadro integrado de obras y aportes

Tabla 10. Cuadro integrado de obras y aportes

Obra	Ganancia suelo hídrico (ton·año⁻¹)	Ganancia suelo eólico (ton·año⁻¹)	Recarga acumulada (m³)	Carácter
Reforestación — compensación (3.55 ha)	360.18	30.4	65300	Permanente
Revegetación in situ — CUSTF (0.79 ha)	24.77	—	—	Permanente
Terrazas individuales	119.39 (con barreras)	—	12948	Permanente
Barreras de material muerto	(incluido con terrazas)	—	2072	Permanente
Cortina rompevientos	—	50.79	—	Permanente
Subtotal permanente	**504.34**	**81.19**	**80320**	
Mulching (temporal, no suma a la suficiencia permanente)	3.75	9.009	7722	Temporal
Total con medida temporal	**508.08**	**90.2**	**88042**	

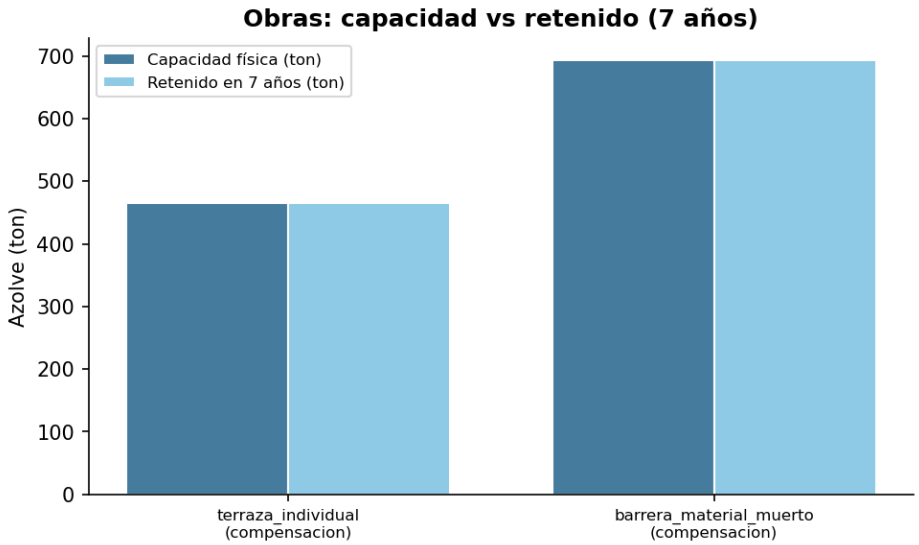


Figura 12. Capacidad física de las obras de captación frente al azolve retenido en el horizonte de 7 años: la capacidad total (891.56 m³) supera holgadamente el azolve que efectivamente baja por la ladera.

Vinculación. El conjunto de obras cubre cada déficit de la Sección 2 por su mecanismo propio: la cobertura (reforestación + mulch) revierte los factores C y V; las obras de captación (terrazas + barreras) retienen el azolve; la cortina reduce la exposición eólica; y las tres obras del predio de compensación aportan la recarga. Las cantidades y capacidades aquí dimensionadas son la base del comparativo de suficiencia de la Sección 8 (Punto de comprobación), donde se contrastan estas ganancias contra los incrementos del deterioro.

D.4. Ubicación georreferenciada de las obras

D.4.1 Marco de referencia

La ubicación de las obras se expresa en el sistema de coordenadas **UTM, Datum WGS84, Zona 13N (EPSG:32613)**, tomado directamente del shapefile de obras Obras_Conservacion del proyecto. Las obras se organizan en **dos zonas** delimitadas por polígono; dentro de cada polígono las obras puntuales y lineales (terrazas, barreras, cortina) se distribuyen por la densidad indicada en la Sección 3, por lo que la referencia georreferenciada del programa son los **vértices del perímetro de cada zona**.

D.4.2 Zonas de obra

Tabla 11. Zonas de obra

Zona	Superficie (ha)	Obras	Vértices	Centroide (X, Y)	Carácter
Compensación (off-site)	3.55	Reforestación + terrazas individuales + barreras de material muerto	14	592,961.4 · 2,105,958.5	Permanente
Mitigación (in situ, CUSTF)	0.79	Cortina rompevientos + mulching + revegetación	113 (3 partes)	— (multiparte)	In situ

Las dos zonas distan aproximadamente **18 km**: la zona de compensación se ubica en un predio distinto al del cambio de uso de suelo (compensación off-site), mientras que la de mitigación se encuentra en el propio predio del CUSTF, sobre las áreas verdes perimetrales no impermeabilizadas.

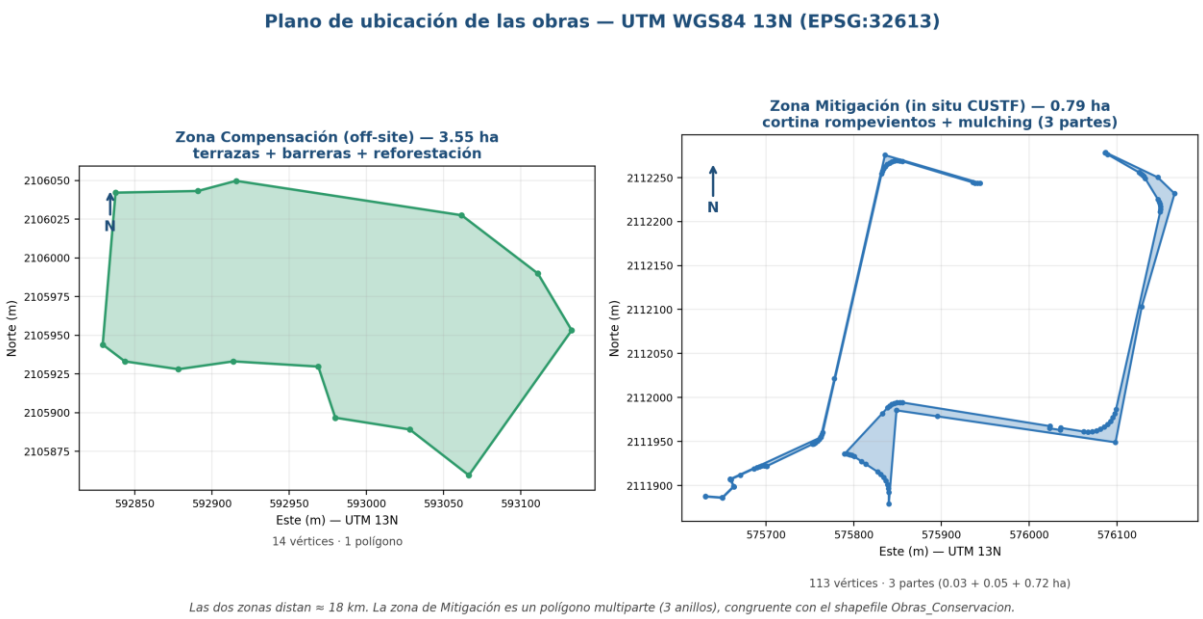


Figura 13. Plano de ubicación de las obras en UTM WGS84 13N: a la izquierda la zona de compensación (3.55 ha, un solo polígono de 14 vértices) y a la derecha la zona de mitigación (0.79 ha, polígono multiparte de 3 anillos), ambas con sus vértices.

D.4.3 Coordenadas de la zona de Compensación

Perímetro del predio de compensación (3.55 ha), donde se establecen la reforestación, las terrazas individuales y las barreras de material muerto:

Tabla 12. Coordenadas de la zona de Compensación

Vértice	X (Este, m)	Y (Norte, m)
1	593133.13	2105953.15
2	593066.5	2105859.52
3	593028.27	2105889.08
4	592980.01	2105896.7
5	592969	2105929.72
6	592913.96	2105933.1
7	592878.4	2105928.02
8	592843.69	2105933.1
9	592829.37	2105943.94
10	592837.7	2106042.09
11	592891.1	2106043.17
12	592915.75	2106049.73
13	593061.86	2106027.5
14	593111.24	2105989.83

D.4.4 Coordenadas de la zona de Mitigación

La zona de mitigación (0.79 ha, cortina rompevientos y mulching) es un **polígono multiparte de tres anillos**, con **113 vértices** en total, congruente con el shapefile Obras_Conservacion:

Tabla 13. Coordenadas de la zona de Mitigación

Parte	Superficie (ha)	Vértices
Parte 1	0.03	30
Parte 2	0.051	21
Parte 3	0.718	59
Total	**0.79**	**110 (+3 de cierre)**

Encuadre del conjunto: extensión X 575,631.2 – 576,165.8 m; extensión Y 2,111,879.2 – 2,112,278.6 m. A continuación se listan los vértices de las tres partes en UTM WGS84 13N. El mismo listado, con columna *Parte*, se entrega además en el anexo editable **PCSyA_Anexo_Coordenadas.xlsx** (hoja *Zona_Mitigacion*), junto con la hoja *Zona_Compensacion*.

Tabla 14. Parte 1 (0.030 ha) — 30 vértices

Vértice	X (Este, m)	Y (Norte, m)
1	575753.27	2111946.92
2	575701.16	2111921.98
3	575701.05	2111922.01
4	575698.2	2111922.28
5	575695.35	2111922.12
6	575692.55	2111921.53
7	575689.87	2111920.54
8	575686.24	2111918.86
9	575670.85	2111911.77
10	575659.96	2111906.75
11	575659.98	2111906.71
12	575660.3	2111906.02
13	575663.65	2111898.69
14	575663.63	2111898.67
15	575663.18	2111898.22
16	575650.43	2111885.71
17	575631.25	2111887.2
18	575631.29	2111887.7
19	575650.24	2111886.23
20	575663.03	2111898.78
21	575659.29	2111906.89
22	575659.22	2111907.05
23	575659.21	2111907.06
24	575762.48	2111954.66

Vértice	X (Este, m)	Y (Norte, m)
25	575761	2111952.54
26	575758.95	2111950.42
27	575756.61	2111948.64
28	575755.16	2111947.87
29	575754.97	2111947.76
30	575754.01	2111947.25

Tabla 15. Parte 2 (0.051 ha) — 21 vértices

Vértice	X (Este, m)	Y (Norte, m)
1	575835.66	2112275.49
2	575943.9	2112243.75
3	575941.29	2112243.55
4	575938.51	2112243.75
5	575935.8	2112244.36
6	575855.88	2112268.38
7	575852.84	2112269.03
8	575849.73	2112269.17
9	575846.64	2112268.8
10	575843.65	2112267.94
11	575840.85	2112266.6
12	575838.3	2112264.82
13	575836.07	2112262.65
14	575834.23	2112260.14
15	575832.82	2112257.37
16	575831.88	2112254.4
17	575764.86	2111960.4
18	575763.99	2111957.59
19	575762.69	2111954.95
20	575762.53	2111954.68
21	575778.05	2112021.29

Tabla 16. Parte 3 (0.718 ha) — 59 vértices

Vértice	X (Este, m)	Y (Norte, m)
1	576128.41	2112103.3
2	576098.47	2111948.93
3	575895.33	2111978.5
4	575848.82	2111985.27
5	575848.82	2111985.27
6	575840.06	2111879.19

Vértice	X (Este, m)	Y (Norte, m)
7	575840.06	2111891.95
8	575839.67	2111896.58
9	575838.53	2111901.07
10	575836.66	2111905.31
11	575834.12	2111909.19
12	575830.97	2111912.59
13	575827.3	2111915.43
14	575813.95	2111924.1
15	575809.14	2111927.22
16	575800.51	2111932.82
17	575798.03	2111934.18
18	575795.37	2111935.15
19	575792.6	2111935.72
20	575789.77	2111935.87
21	575832.58	2111981.77
22	575838.78	2111988.41
23	575841.07	2111990.5
24	575843.66	2111992.18
25	575846.5	2111993.42
26	575849.5	2111994.19
27	575852.58	2111994.45
28	575855.67	2111994.21
29	576023.75	2111967.35
30	576023.36	2111964.89
31	576035.4	2111962.95
32	576035.8	2111965.42
33	576062.14	2111961.21
34	576067.02	2111960.81
35	576071.91	2111961.14
36	576076.69	2111962.2
37	576081.26	2111963.97
38	576085.51	2111966.41
39	576089.35	2111969.45
40	576092.68	2111973.04
41	576095.44	2111977.09
42	576097.55	2111981.51
43	576098.98	2111986.2
44	576149.34	2112210.84
45	576149.76	2112213.73

Vértice	X (Este, m)	Y (Norte, m)
46	576149.73	2112216.66
47	576149.25	2112219.55
48	576148.33	2112222.33
49	576146.99	2112224.94
50	576132.12	2112249.15
51	576130.76	2112251.15
52	576129.14	2112252.95
53	576127.29	2112254.5
54	576125.24	2112255.79
55	576089.28	2112276.38
56	576086.52	2112277.97
57	576086.94	2112278.58
58	576146.67	2112250.19
59	576165.81	2112231.75

La ubicación georreferenciada cierra el requisito de trazabilidad espacial del programa: cada zona de obra queda delimitada por su(s) polígono(s) en UTM WGS84 13N (la de mitigación como geometría multiparte), congruente con el shapefile del proyecto y con las superficies declaradas (3.55 y 0.79 ha), y las obras se distribuyen dentro de cada polígono conforme a la densidad de la Sección 3. La separación de ~18 km entre la zona de compensación y la de mitigación confirma el carácter off-site de la compensación, consistente con el balance de suficiencia de la Sección 7.

D.5. Cronograma

El programa se ejecuta en un horizonte de **7 años**, contados a partir de la construcción de las obras. El **año 0** corresponde a la condición de partida (desmonte, con las obras aún inexistentes); la construcción y la plantación se concentran en el **año 1**, y los **años 1 a 7** corresponden al mantenimiento y al monitoreo, durante los cuales la cobertura vegetal evoluciona hasta sus metas (85 % de cabida cubierta en el predio de compensación y 75 % en la revegetación in situ) y las medidas permanentes alcanzan su tasa madura.

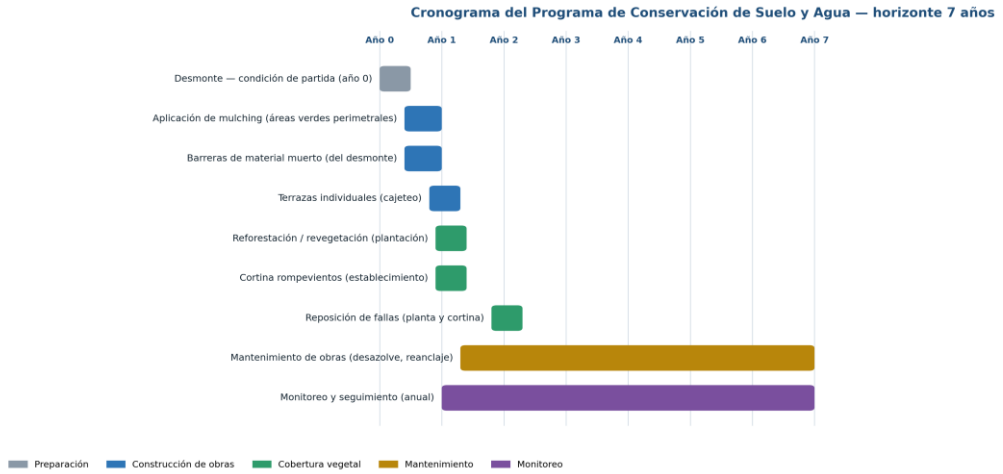


Figura 14. Cronograma (Gantt) del Programa de Conservación de Suelo y Agua: la construcción de obras y la plantación se concentran en el año 1; el mantenimiento y el monitoreo se extienden a lo largo de los 7 años.

D.5.1 Secuencia de ejecución por fase

La secuencia respeta la ventana crítica de exposición del suelo: las medidas de cobertura temporal (mulch) y de retención (barreras) se colocan durante o inmediatamente después del despalme, y la plantación se realiza al inicio de la temporada de lluvias para asegurar el prendimiento.

Tabla 17. Secuencia de ejecución por fase

Actividad	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Desmonte — condición de partida	●							
Aplicación de mulching	◐	●						
Barreras de material muerto (construcción)	◐	●						
Terrazas individuales (construcción)		●						
Reforestación / revegetación (plantación)		●						
Cortina rompevientos (establecimiento)		●						
Reposición de fallas (planta y cortina)			●					
Mantenimiento de obras		●	●	●	●	●	●	●
Monitoreo y seguimiento (anual)		●	●	●	●	●	●	●

● actividad principal · ◐ inicio anticipado (durante el despalme)

D.5.2 Descripción de las fases

Fase de preparación (año 0). Coincide con el desmonte autorizado. Las áreas verdes perimetrales no impermeabilizadas se delimitan para recibir la revegetación y el mulch; el material leñoso del desmonte se separa y acopia para la construcción de las barreras de material muerto (valorización in situ), y el material fino se destina al mulching.

Fase de construcción y plantación (año 1). Se construyen las obras de captación —terrazas individuales y barreras de material muerto— sobre las curvas de nivel del predio de compensación; se aplica el mulching sobre las áreas verdes perimetrales del CUSTF; y se ejecuta la plantación de la reforestación (predio de compensación y revegetación in situ) y de la cortina rompevientos, al inicio de la temporada de lluvias. El monitoreo arranca con el levantamiento de la línea de partida de los indicadores.

Fase de mantenimiento y seguimiento (años 1 a 7). Comprende la reposición de fallas de la reforestación y la cortina en el año 2, el mantenimiento periódico de las obras (desazolve de terrazas, reposición y reanclaje de barreras) y el monitoreo anual de los indicadores hasta el cierre del horizonte, cuando la cobertura alcanza sus metas y las medidas permanentes su función plena.

D.5.3 Mantenimiento por obra

Tabla 18. Mantenimiento por obra

Obra	Actividad de mantenimiento	Frecuencia
Reforestación / revegetación	Reposición de fallas, deshierbe, riego de auxilio en estiaje	Anual (crítico años 1–3)
Terrazas individuales	Desazolve del cajete, reposición del bordo tras lluvias intensas	Anual y postevento
Barreras de material muerto	Reposición del material desplazado, reanclaje de estacas	Anual y postevento

Obra	Actividad de mantenimiento	Frecuencia
Mulching	Reposición de la capa mientras dure la ventana de establecimiento	Años 1–2 (medida temporal)
Cortina rompevientos	Reposición de fallas, poda de formación, control fitosanitario	Anual

Vinculación. El cronograma materializa la lógica del programa: la cobertura temporal (mulch) y la retención física (obras) protegen el suelo durante la ventana en que la reforestación aún no cierra el dosel, y el mantenimiento sostiene la función de las obras hasta que las medidas permanentes —cortina y reforestación— alcanzan su tasa madura hacia el año 7. El monitoreo anual (Sección 6) verifica que la trayectoria real de cobertura, supervivencia y retención de azolve se ajuste a la prevista, y activa las medidas correctivas cuando un indicador queda por debajo de su umbral.

D.6. Programa de monitoreo y seguimiento

D.6.1 Objetivo y marco

El monitoreo verifica que la trayectoria real de recuperación del suelo y del agua se ajuste a la prevista y que las obras conserven su función a lo largo del horizonte, de modo que se acredite el cumplimiento del criterio del **artículo 93 de la LGDFS** (Esc 3 ≤ Esc 1 en suelo y agua). El seguimiento se realiza durante un **mínimo de 7 años** contados a partir de la construcción de las obras, con un **umbral de supervivencia de la reforestación de ≥ 80 %**. El levantamiento de la línea de partida de los indicadores se efectúa en el año 1, al concluir la construcción y la plantación.

D.6.2 Indicadores, métodos y umbrales

Cada componente del programa se verifica con un indicador medible, un método de verificación reproducible y un umbral de éxito. Los indicadores se levantan sobre **parcelas y sitios de monitoreo permanentes**, georreferenciados en UTM WGS84 13N, distribuidos en el predio de compensación y en las áreas verdes perimetrales del CUSTF.

Tabla 19. Indicadores, métodos y umbrales

Componente	Indicador	Método de verificación	Umbral / meta	Periodicidad
Reforestación / revegetación	Supervivencia (%)	Conteo de individuos vivos en parcelas permanentes	≥ 80 %	Anual (años 1–7)
Reforestación / revegetación	Cabida cubierta (%)	Estimación por transecto o fotografía cenital	Trayectoria a 85 % (compensación) y 75 % (in situ) al año 7	Anual
Cortina rompevientos	Supervivencia y altura (m)	Conteo y medición de altura por tramo	≥ 80 % supervivencia; altura hacia 8 m	Anual
Suelo — erosión	Nivel de suelo perdido/ganado	Varillas testigo (clavos de erosión) en estaciones fijas	Esc 3 ≤ Esc 1 (pérdida ≤ línea base)	Anual y postevento
Obras de captación	Integridad y colmatación (%)	Inspección física; medición del azolve acumulado en terrazas y barreras	Capacidad remanente > azolve anual; integridad estructural conservada	Anual y postevento
Azolve al cauce	Sedimento retenido / entregado	Estimación del azolve captado en obras y observación del cauce receptor	Azolve con medidas ≤ azolve de la línea base	Anual

Los indicadores de suelo y agua no se re-modelan en campo: el monitoreo verifica los **factores observables** que gobiernan los balances (cobertura, integridad de obras, nivel de azolve), que son los que sostienen los resultados de los motores. La recarga no se mide directamente; su recuperación se infiere del restablecimiento de la cobertura y del funcionamiento de las obras de captación, conforme al modelo del balance hídrico.

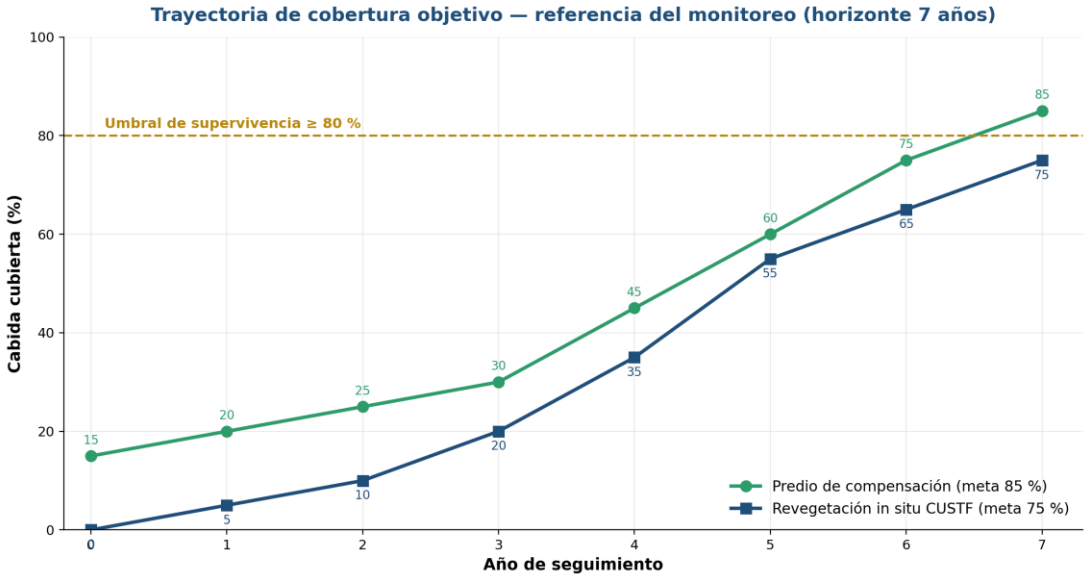


Figura 15. Trayectoria de cobertura objetivo (cabida cubierta) que sirve de referencia al monitoreo: el predio de compensación evoluciona de 15 % a 85 % y la revegetación in situ de 0 % a 75 % en el horizonte de 7 años; la línea marca el umbral de supervivencia del 80 %.

D.6.3 Periodicidad y calendario

El monitoreo es **anual** durante los siete años del horizonte, con **inspecciones adicionales posteriores a eventos extraordinarios** de lluvia o viento que puedan comprometer las obras. La primera medición (año 1) fija la línea de partida; las mediciones de los años 2 a 7 se contrastan contra la trayectoria objetivo. El seguimiento es más intensivo en los años 1 a 3, cuando la reforestación aún no cierra el dosel y las obras de captación y el mulch cubren la ventana de establecimiento.

D.6.4 Umbrales de éxito y medidas correctivas

Cuando un indicador queda por debajo de su umbral, se activa la medida correctiva correspondiente, documentada en la bitácora:

Tabla 20. Umbrales de éxito y medidas correctivas

Desviación detectada	Medida correctiva
Supervivencia de la reforestación o la cortina < 80 %	Reposición de planta con el mismo criterio de especies y marco
Cabida cubierta por debajo de la trayectoria objetivo	Replantación de enriquecimiento en los rodales rezagados
Terraza colmatada o bordo erosionado	Desazolve del cajete y reconformación del bordo
Barrera desplazada o socavada	Reposición del material y reanclaje de estacas
Erosión medida por encima de la línea base	Refuerzo de las obras de captación y de la cobertura en el sector afectado

D.6.5 Registro, reporte y responsables

El seguimiento se documenta en una **bitácora de campo** con evidencia fotográfica georreferenciada de cada estación de monitoreo, y se consolida en **informes anuales de seguimiento** que reportan, por indicador, el valor observado, su contraste con el umbral y las medidas correctivas aplicadas. Estos informes constituyen el soporte del cumplimiento del artículo 93 ante la autoridad durante la vigencia de la autorización. La ejecución del monitoreo corresponde al promovente y su dirección técnica al Prestador de Servicios Técnicos Forestales con Registro Forestal Nacional, sin que el presente programa sustituya su firma ni su responsabilidad.

El monitoreo cierra el ciclo del programa: convierte los balances calculados en los motores en indicadores de campo verificables (cobertura, supervivencia, integridad de obras y nivel de azolve), y liga cada uno a un umbral y a una medida correctiva. Así, la suficiencia demostrada en el Punto de comprobación (Sección 7) no queda como una afirmación de gabinete, sino como un compromiso auditable a lo largo de los siete años, con evidencia documental anual.

D.7. Punto de comprobación

D.7.1 Criterio de suficiencia (artículo 93 LGDFS)

La suficiencia se demuestra cuando la **ganancia de las medidas iguala o supera el incremento del deterioro** atribuible al cambio de uso de suelo (Esc 2 − Esc 1), de modo que el sistema {CUSTF + predio de compensación} mantenga el suelo y el agua en el nivel de la línea base o por debajo. Para el suelo, el criterio operativo se complementa con el **balance global de azolve** entregado al cauce (con medidas ≤ línea base); para el agua, con la **recarga recuperada** frente al impacto, evaluada tanto en el acumulado del horizonte como en la tasa anual permanente. Solo se contabilizan las **medidas permanentes** a su tasa madura; el mulch, por temporal, se muestra como apoyo y no se suma.

D.7.2 Suelo — erosión hídrica

El incremento por el CUSTF es de 38.96 ton·año⁻¹. Las medidas aportan una ganancia total de 508.08 ton·año⁻¹, integrada por cuatro mecanismos independientes sin doble conteo:

Tabla 21. Suelo — erosión hídrica

Mecanismo	Ganancia (ton·año⁻¹)
Mitigación in situ del CUSTF (revegetación C0→C7)	24.77
Compensación off-site (reforestación, año 0 − año 7)	360.18
Mulching (promedio del horizonte)	3.75
Retención física de obras (terrazas + barreras, azolve real)	119.39
Ganancia total	**508.08**

La ganancia cubre el **1,304 %** del incremento, con un margen de 469.13 ton·año⁻¹. En el sitio del CUSTF restaurado, la erosión remanente al año 7 (Esc 3 = 0.62 ton·año⁻¹) queda por debajo de la línea base (Esc 1 = 1.97 ton·año⁻¹). El **balance global de azolve** pasa de 0.21 ton·año⁻¹ (línea base) a 0.00 ton·año⁻¹ con medidas, una reducción del 100 % (0.16 m³·año⁻¹ menos de azolve). **Suficiencia hídrica: CUMPLE.**

D.7.3 Suelo — erosión eólica

El incremento por el CUSTF es de 65.211 ton·año⁻¹. Las medidas **permanentes** aportan una ganancia de 81.19 ton·año⁻¹:

Tabla 22. Suelo — erosión eólica

Medida permanente	Ganancia (ton·año⁻¹)
Cortina rompevientos in situ (factor L, tasa madura)	50.79
Reforestación de compensación (recuperación de V)	30.4
Ganancia permanente total	**81.19**

La ganancia permanente cubre el **124.5 %** del incremento, con un margen de 15.977 ton·año⁻¹. A diferencia de la hídrica, la suficiencia eólica se acredita por este balance de ganancia y no por un Esc 3 ≤ Esc 1 in situ: la cortina, por sí sola, deja el CUSTF en Esc 3 = 26.52 ton·año⁻¹ (por encima de la línea base de 12.10), y es la reforestación de compensación off-site la que cierra el balance del sistema. El mulch (9.009 ton·año⁻¹ promedio) apoya el establecimiento pero, por temporal, no se suma. **Suficiencia eólica: CUMPLE.**

D.7.4 Agua — recarga del acuífero

El CUSTF compromete 9,150 m³·año⁻¹ de recarga (agua azul), equivalentes a 73,200 m³ acumulados en el horizonte de 7 años. La recuperación acumulada suma 88,042 m³:

Tabla 23. Agua — recarga del acuífero

Componente	Recarga acumulada (m³)
Reforestación (recarga directa bajo cobertura restaurada)	65,300
Terrazas individuales (captación)	12,948
Barreras de material muerto (captación)	2,072
Mitigación in situ del CUSTF (mulch, recuperación del sellado)	7,722
Recuperación total acumulada	**88,042**

La recuperación cubre el **120.3 %** del impacto acumulado, con un superávit de 14,843 m³. En la tasa anual permanente, una vez establecida la cobertura, la compensación aporta 13,113 m³·año⁻¹ al año 7 (reforestación madura 13,005 m³·año⁻¹) frente al impacto anual de 9,150 m³·año⁻¹, cubriendo el 143.3 %: el servicio queda compensado tanto en el acumulado del horizonte como de forma permanente. **Suficiencia de recarga: CUMPLE.**

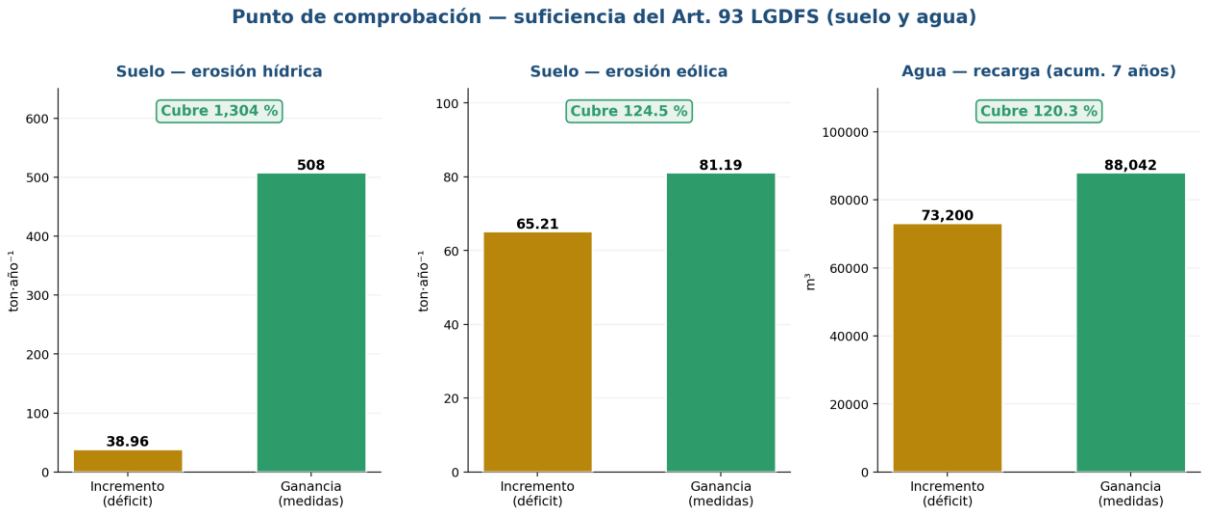


Figura 16. Figura 1. Comparativo de suficiencia del artículo 93 en los tres componentes (erosión hídrica, erosión eólica y recarga): en los tres casos la ganancia de las medidas supera el incremento/impacto del cambio de uso de suelo.

D.7.5 Veredicto integrado

Tabla 24. Veredicto integrado

Componente	Incremento / impacto	Ganancia / recuperación	Cobertura	Margen	Veredicto
Suelo — erosión hídrica	38.96 ton·año⁻¹	508.08 ton·año⁻¹	13.04	+469.13 ton·año⁻¹	CUMPLE
Suelo — azolve global	0.21 ton·año⁻¹ (SY)	0.00 ton·año⁻¹ (SY)	−100 %	—	CUMPLE
Suelo — erosión eólica	65.211 ton·año⁻¹	81.19 ton·año⁻¹	1.245	+15.977 ton·año⁻¹	CUMPLE
Agua — recarga (acumulado 7 años)	73,200 m³	88,042 m³	1.203	+14,843 m³	CUMPLE
Agua — recarga (permanente, año 7)	9,150 m³·año⁻¹	13,113 m³·año⁻¹	1.433	+3,963 m³·año⁻¹	CUMPLE

El Programa de Conservación de Suelo y Agua satisface el criterio de excepcionalidad del artículo 93 de la LGDFS en sus componentes de suelo y agua: la ganancia de las medidas supera el incremento del deterioro en los tres procesos evaluados, con márgenes positivos, y el balance se sostiene tanto en el acumulado del horizonte como en la tasa permanente al año 7. La demostración descansa en medidas permanentes con efecto físico verificable —reforestación, cortina rompevientos y obras de captación—, cuyo desempeño se sigue por los indicadores y umbrales de la Sección 6 durante los siete años, lo que convierte la suficiencia de gabinete en un compromiso auditable.

D.8. Memoria de cálculo

El dimensionamiento de las obras y los balances de suficiencia se documentan en la memoria de cálculo anexa **`PCSyA_Memoria_Calculo.xlsx`**, con fórmulas vivas (no valores fijos): las obras se calculan por su geometría, y las sumas, coberturas y veredictos se derivan de las ganancias por mecanismo que aportan los motores. La memoria se organiza en las siguientes hojas:

Tabla 25. Memoria de cálculo

Hoja	Contenido	Resultado principal
Portada	Identificación del proyecto y notas	—
Obras_Terrazas	Geometría del cajete: V = π·(D/2)²·P; N = densidad·Sup; s = √(11 547/densidad); capacidad = N·V	4,555 terrazas; 357.72 m³
Obras_Barreras	l_pond = H/pendiente; capacidad/ml = ½·l_pond·H; capacidad = cap/ml·m lineales	710 m (89 barreras); 533.83 m³
Obras_Cortina	Capacidad de protección = 10·H·longitud; factor de protección f_p = mín(1, capacidad/Sup CUSTF)	10.75 ha protegidas; f_p = 1.00
Balance_Suelo_Hidrico	Incremento = Esc 2 − Esc 1; ganancia = Σ mecanismos; cobertura, margen y veredicto	508.08 vs 38.96 t·a⁻¹; CUMPLE
Balance_Suelo_Eolico	Incremento vs ganancia permanente (cortina + reforestación); mulch mostrado sin sumar	81.19 vs 65.21 t·a⁻¹; CUMPLE
Balance_Agua	Recarga recuperada año por año (Σ) frente al impacto, en el acumulado y en la tasa permanente	88,042 vs 73,200 m³; CUMPLE
Suficiencia	Veredicto integrado que enlaza los tres balances	CUMPLE en los cuatro renglones

La capacidad física total de retención de azolve del conjunto de obras de captación es de **891.56 m³** (terrazas 357.72 + barreras 533.83). Todas las hojas se validaron por recálculo con cero errores de fórmula. El detalle por factor de cada proceso (R, K, L, S, C, P de la RUSLE; C, S, T, V, L de la erosión eólica; y los componentes del balance hídrico diario) reside en las memorias de los motores especializados, referenciadas en el Capítulo VI.

Vinculación. La memoria hace auditable cada cifra del programa: el evaluador puede modificar un parámetro de entrada —una dimensión de obra o una ganancia de motor— y verificar cómo se propaga a las capacidades, las coberturas y los veredictos, sin depender de valores fijos. Con ello, el Programa de Conservación de Suelo y Agua queda soportado por un cálculo trazable de extremo a extremo, del dimensionamiento de la obra a la demostración de suficiencia del artículo 93.

D.9. Anexos

Anexo 1 — Memoria de cálculo: PCSyA_Memoria_Calculo.xlsx (fórmulas vivas; dimensionamiento de obras y balances de suficiencia).

Anexo 2 — Coordenadas de las obras: PCSyA_Anexo_Coordenadas.xlsx (vértices UTM WGS84 13N de las zonas de Compensación y Mitigación).

Manifestación de Impacto Ambiental

MODALIDAD PARTICULAR

ANEXO G.

ESTUDIO DE MUESTREO DE FLORA Y FAUNA

Contenido

1. Objeto 4
2. Escalas de trabajo 4
3. Diseño de muestreo 4
3.1. Flora 4
3.2. Fauna 4
3.3. Temporalidad 4
4. Métodos de análisis 5
5. Resultados 5
5.1. Riqueza observada 5
5.2. Cobertura por estrato 5
5.3. Especies exóticas e invasoras 6
5.4. Especies en riesgo 7
5.5. Relación entre la región y el predio 7
6. Conclusiones 7
7. Figuras 8
8. Limitaciones declaradas 10
9. Referencias 10

Contenido

Tabla G.1. Escalas de trabajo del estudio. 4
Tabla G.2. Esfuerzo de muestreo por escala. 4
Tabla G.3. Cobertura del dosel por estrato y escala (%). 5
Tabla G.4. Especies exóticas e invasoras por escala. 6
Tabla G.5. Diversidad beta de la Región Ecológica al Área del Proyecto. 7

1. Objeto

Este anexo forma parte de la Manifestación de Impacto Ambiental, modalidad Particular, del proyecto Patio de Contenedores y Maniobra Express Port, y contiene los métodos, el análisis y las conclusiones del muestreo de flora y fauna que sustenta su Capítulo III, conforme a lo que la Guía exige en la sección de Anexos: «Incluir en los anexos el estudio que contenga los métodos, análisis y conclusiones del muestreo de flora y fauna, acorde con el Capítulo III».

El análisis estadístico de representatividad de los muestreos se desarrolla en el Anexo H, y la memoria de cálculo de los índices de diversidad en el Anexo I.

2. Escalas de trabajo

El estudio se levantó en las tres escalas que la Guía establece para la MIA. Las superficies proceden del atributo de cada capa cartográfica.

Tabla G.1. Escalas de trabajo del estudio.

Escala	Superficie	Papel en el análisis
AP — Área del Proyecto	3.4097 ha	Foco: la superficie que el proyecto afecta
AI — Área de Influencia	216.62 ha	Entorno inmediato del proyecto
RE — Región Ecológica	5 992.43 ha	Marco regional de referencia

3. Diseño de muestreo

3.1. Flora

El muestreo de flora se realizó por estratos, con unidades de superficie fija por estrato. La unidad de muestreo del estrato arbóreo es de 500 m²; las de los estratos arbustivo, de regeneración y de otras formas de vida son de 100 m²; el estrato herbáceo se muestreó con cinco subsitios de 1 m² por sitio.

3.2. Fauna

El muestreo de fauna se realizó por transectos, en las dos temporadas del año, y se registró por grupo taxonómico: anfibios, aves, mamíferos y reptiles.

3.3. Temporalidad

El levantamiento cubrió la temporada seca y la temporada húmeda, condición que la Guía exige por tratarse de vegetación caducifolia y que permite identificar la temporada crítica para la biodiversidad (sección 6).

Tabla G.2. Esfuerzo de muestreo por escala.

Escala	Fauna: transectos seca	húmeda	total	Flora: nº de sitios por estrato
AP	6	6	12	arboreo=15, arbustivo=13, herbaceo=15,

Escala	Fauna: transectos seca	húmeda	total	Flora: nº de sitios por estrato
				regeneracion=15, otras_formas_vida=15
AI	2	4	6	arboreo=4, arbustivo=4, herbaceo=4, regeneracion=4, otras_formas_vida=4
RE	4	2	6	arboreo=11, arbustivo=11, herbaceo=11, regeneracion=11, otras_formas_vida=11

4. Métodos de análisis

Riqueza específica observada (S), por estrato, grupo y escala.
Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') y de dominancia de Simpson (1−λ). Su cálculo, justificación y comparación se desarrollan en el Anexo I.
Estimadores no paramétricos de riqueza (Chao1, Chao2, Jackknife de primer y segundo orden, Bootstrap e ICE) y curvas de acumulación de especies, para evaluar la representatividad. Se desarrollan en el Anexo H.
Índice de Valor de Importancia (IVI) para flora y Valor de Importancia Faunística (VIF) para fauna, por estrato y grupo.
Cobertura del dosel por estrato, corregida por traslape de copas.
Diversidad beta entre la Región Ecológica y el Área del Proyecto: partición de Baselga (recambio y anidamiento) y partición aditiva de Lande.
Estatus de conservación de cada especie: NOM-059-SEMARNAT-2010, CITES y Lista Roja de la UICN.

5. Resultados

5.1. Riqueza observada

En el Área del Proyecto se registraron 67 especies de fauna y 61 de flora. En la Región Ecológica, 90 de fauna y 162 de flora. El Área del Proyecto es, por tanto, menos diversa que la región: la afectación del predio recae sobre una fracción de la diversidad regional.

5.2. Cobertura por estrato

La cobertura del dosel se calcula corregida por traslape aleatorio de copas, mediante la expresión 1 − e^(−C/A), donde C es la suma de las áreas de copa y A la superficie muestreada. La suma cruda de copas sobreestima la cobertura y puede superar el 100 %.

Tabla G.3. Cobertura del dosel por estrato y escala (%).

Escala	Estrato	Cobertura (%)	C: copa total (m²)	A: área muestreada (m²)	n sitios
AP	arboreo	42.85	4195.85	7500	15
AP	arbustivo	5.68	75.99	1300	13
AP	herbaceo	44.66	44.37	75	15

Escala	Estrato	Cobertura (%)	C: copa total (m²)	A: área muestreada (m²)	n sitios
AP	regeneracion	7.77	121.29	1500	15
AP	otras_formas_vida	15.05	244.66	1500	15
AI	arboreo	59.88	1826.45	2000	4
AI	arbustivo	10.8	45.73	400	4
AI	herbaceo	52.29	14.8	20	4
AI	regeneracion	15.21	65.99	400	4
AI	otras_formas_vida	29.18	138.03	400	4
RE	arboreo	67.96	6260.05	5500	11
RE	arbustivo	15.22	181.68	1100	11
RE	herbaceo	49.75	37.85	55	11
RE	regeneracion	11.7	136.91	1100	11
RE	otras_formas_vida	14.15	167.82	1100	11

5.3. Especies exóticas e invasoras

La columna de distribución del levantamiento declara, para cada individuo, si la especie es nativa, endémica, exótica o exótica invasora. Se transcribe el dato tal como fue levantado.

Tabla G.4. Especies exóticas e invasoras por escala.

Escala	n exóticas	n nativas	n endémicas	n invasoras	Especies invasoras
AP	7	35	6	4	Azadirachta indica; Cynodon dactylon; Momordica charantia; Panicum maximum
AI	5	43	6	3	Cynodon dactylon; Momordica charantia; Panicum maximum
RE	7	100	22	4	Azadirachta indica; Cynodon dactylon; Momordica charantia; Panicum maximum
Invasora es una categoria LEGAL (listado oficial CONABIO/SEMARNAT); el dato es la declaracion del levantamiento, a cotejar contra la fuente vigente.					

Advertencia. «Invasora» es una categoría jurídica, definida por el listado oficial de especies exóticas invasoras. El dato que aquí se reporta es la declaración del levantamiento de campo; su calificación legal debe cotejarse contra la fuente oficial vigente.

5.4. Especies en riesgo

Se identificaron 14 especies de flora y 20 de fauna en alguna categoría de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010, la CITES o la Lista Roja de la UICN. De la flora, 4 están presentes en el Área del Proyecto y 10 sólo en la Región Ecológica. De la fauna, 10 están en el Área del Proyecto y 9 sólo en la Región Ecológica. El detalle por especie y escala se reporta en la memoria de cálculo que acompaña a este anexo.

5.5. Relación entre la región y el predio

La diversidad beta entre la Región Ecológica (contexto) y el Área del Proyecto (foco) se descompone según Baselga en un componente de recambio (βSIM) y uno de anidamiento (βSNE).

Tabla G.5. Diversidad beta de la Región Ecológica al Área del Proyecto.

Estrato	S en la RE	S en el AP	βSIM (recambio)	βSNE (anidamiento)	Patrón	α promedio	β de Lande
arboreo	65	18	0.0556	0.5348	anidamiento	41.5	24.5
regeneracion	38	15	0.2	0.3472	anidamiento	26.5	14.5
arbustivo	23	5	0	0.6429	anidamiento	14	9
otras_formas_vida	14	6	0	0.4	anidamiento	10	4
herbaceo	27	19	0.0526	0.1648	anidamiento	23	5

En los cinco estratos el patrón dominante es el **anidamiento**: la comunidad del Área del Proyecto es un subconjunto empobrecido de la comunidad regional, no una comunidad distinta. La consecuencia para la evaluación de impactos es que la afectación no elimina especies exclusivas del predio, sino que reduce la representación local de un conjunto regional.

6. Conclusiones

Temporada crítica. En el Área del Proyecto la biodiversidad es mayor en la temporada húmeda: ocho grupos presentan mayor riqueza en húmeda frente a ninguno en seca, y seis presentan mayor abundancia por unidad de esfuerzo en húmeda frente a dos en seca. Los mayores impactos del proyecto sobre la biodiversidad se producirían, por tanto, si las actividades de remoción coincidieran con la temporada húmeda.

Diversidad del predio frente a la región. El Área del Proyecto es menos diversa que la Región Ecológica en las dos comunidades, y su composición está anidada en la regional.

Especies en riesgo. La presencia de especies listadas en la NOM-059 dentro del Área del Proyecto obliga a las medidas de rescate y reubicación de flora y fauna que se describen en los anexos correspondientes.

7. Figuras

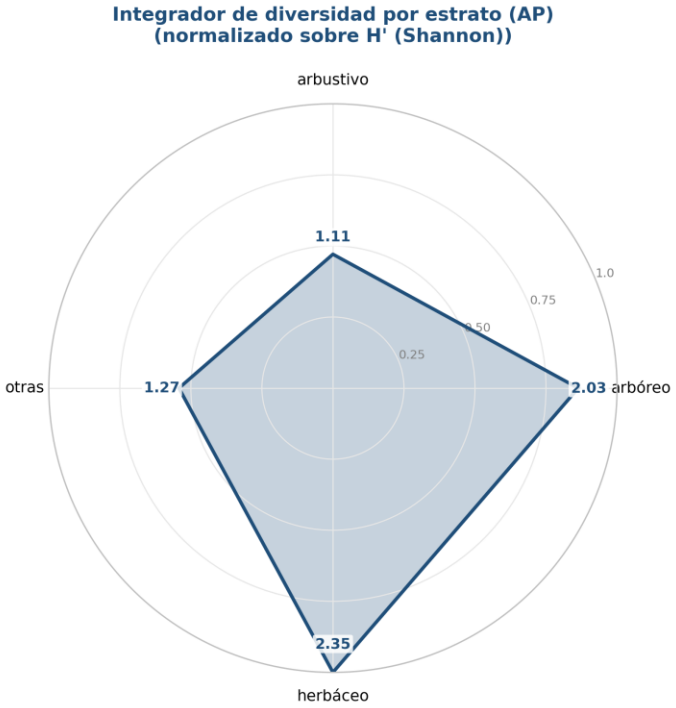


Figura 1. **Figura G.1. Perfil integrador de la biodiversidad del Área del Proyecto. Fuente: elaboración propia (estudio de muestreo).**

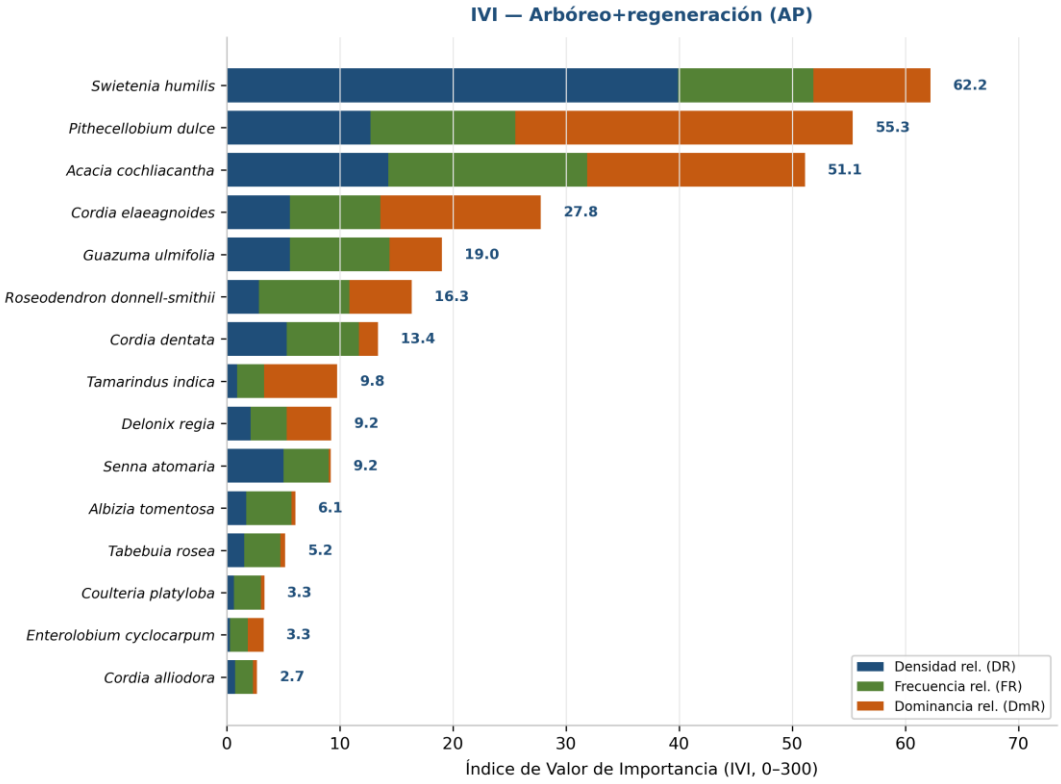


Figura 2. **Figura G.2. Índice de Valor de Importancia del estrato arbóreo en el Área del Proyecto.**

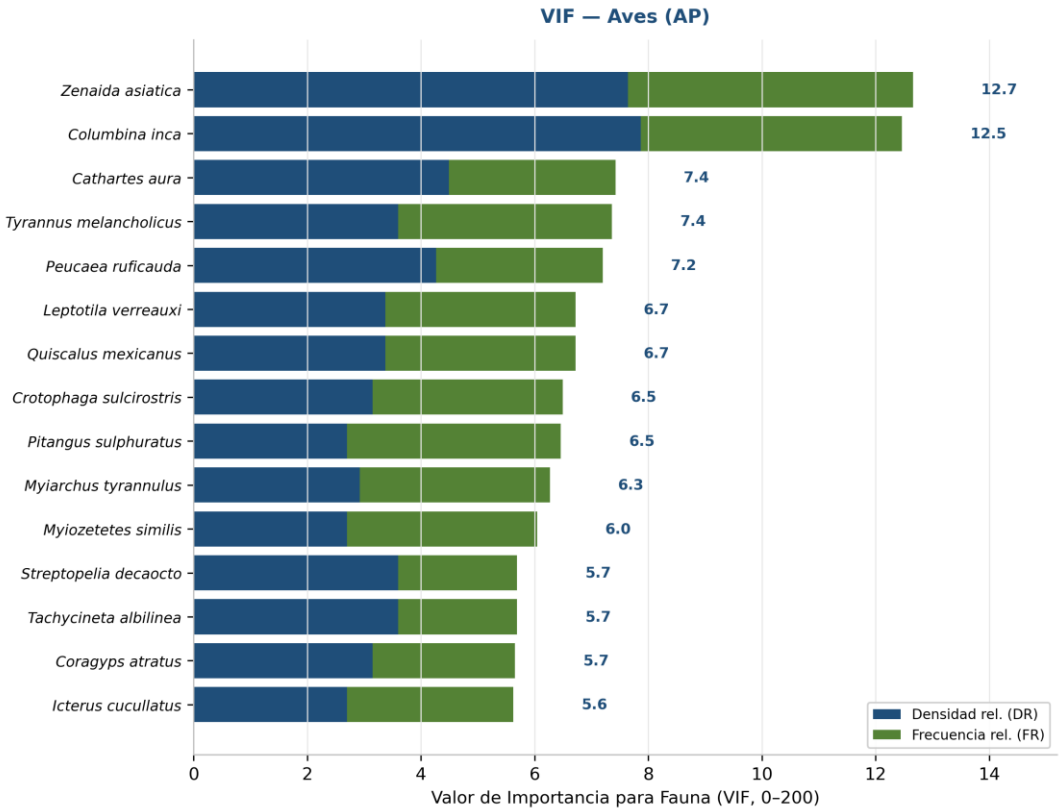


Figura 3. **Figura G.3. Valor de Importancia Faunística del grupo de las aves en el Área del Proyecto.**

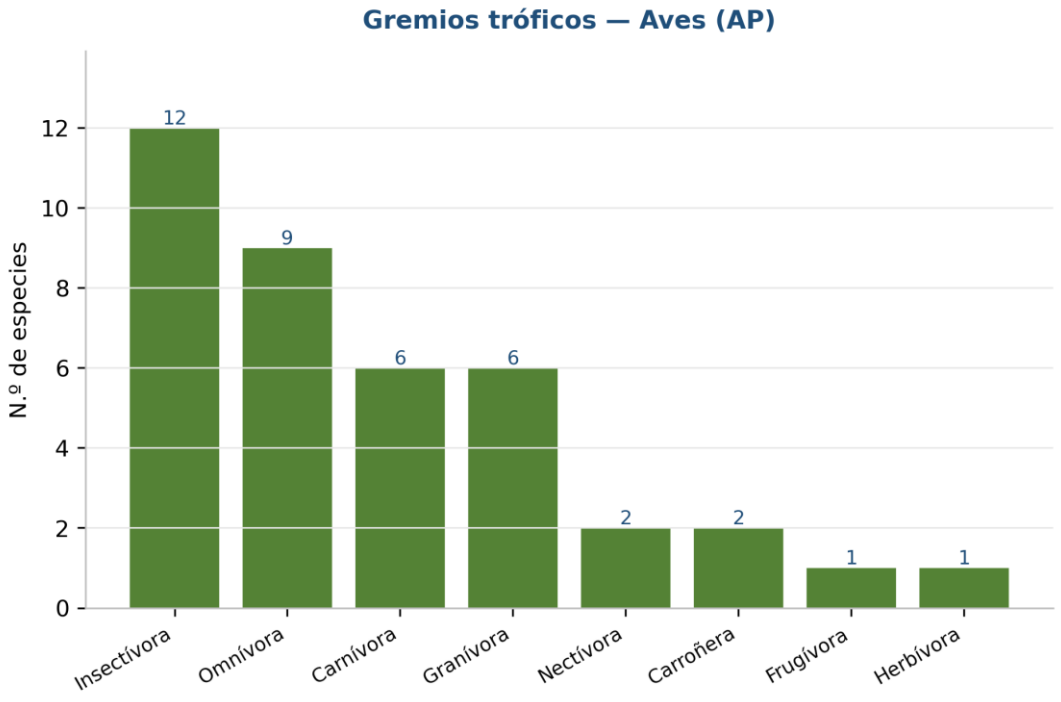


Figura 4. **Figura G.4. Gremios tróficos del grupo de las aves en el Área del Proyecto.**

8. Limitaciones declaradas

El listado de especies potenciales de flora y fauna, con sus referencias bibliográficas, que la Guía solicita por separado, no forma parte de este anexo: es un producto de gabinete distinto del muestreo de campo. Se declara [FALTA — agregar].

La base de fauna no registra coordenadas por observación. Los mapas georreferenciados de las especies en riesgo que la Guía pide en su nota 7 sólo pueden construirse, con el dato actual, para la flora y a nivel de sitio de muestreo. Se declara [FALTA — agregar].

9. Referencias

Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza.

Magurran, A. E. (2004). Measuring Biological Diversity. Blackwell.

Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. Global Ecology and Biogeography, 19(1), 134–143.

Lande, R. (1996). Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. Oikos, 76(1), 5–13.

NOM-059-SEMARNAT-2010. Verificar la vigencia y el listado actualizado en el Diario Oficial de la Federación.

Manifestación de Impacto Ambiental

MODALIDAD PARTICULAR

ANEXO H.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE REPRESENTATIVIDAD DE LOS MUESTREOS

Contenido

1. Objeto 4
2. Métodos 4
2.1. Curvas de acumulación de especies 4
2.2. Estimadores no paramétricos de riqueza 4
3. Esfuerzo de muestreo 5
4. Dos precisiones metodológicas 5
5. Resultados: Área del Proyecto 5
6. Resultados: Región Ecológica (esfuerzo Área de Influencia + Región Ecológica) 6
7. Interpretación 6
8. Figuras 7
9. Limitaciones declaradas 9
10. Referencias 9

Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla H.1. Estimadores empleados y su fundamento. 4
Tabla 2. Tabla H.2. Esfuerzo de muestreo por escala. 5
Tabla 3. Tabla H.3. Estimadores de riqueza y completitud del inventario en el Área del Proyecto. 5
Tabla 4. Tabla H.4. Estimadores de riqueza y completitud del inventario en la Región Ecológica. 6

Índice de Figuras

Figura H.1. Completitud del inventario por unidad de muestreo en el Área del Proyecto. 7
Figura H.2. Curva de acumulación de especies del estrato arbóreo (hectárea-tipo) en el Área del Proyecto. 7
Figura H.3. Curva de acumulación de especies del grupo de las aves en el Área del Proyecto. 8
Figura H.4. Curva de acumulación del estrato arbóreo en la Región Ecológica, sobre el esfuerzo fusionado del Área de Influencia y la Región Ecológica. 8

Proyecto: Patio de Contenedores y Maniobra Express Port

Manzanillo, Colima · Autoridad: SEMARNAT

Estudio de muestreo de flora y fauna del proyecto · UTM WGS 84, zona 13 Norte (EPSG:32613)

1. Objeto

Este anexo demuestra la representatividad de los muestreos de flora y fauna realizados para la Manifestación de Impacto Ambiental, e incluye los métodos empleados y la memoria de cálculo, conforme a la nota 6 del Capítulo III de la Guía: «Anexar el análisis estadístico que demuestre la representatividad de los muestreos realizados, incluyendo los métodos utilizados y memorias de cálculo».

2. Métodos

La representatividad de un muestreo se evalúa comparando la riqueza observada con la riqueza que el propio muestreo permite estimar. Se emplean dos familias de herramientas.

2.1. Curvas de acumulación de especies

Registran cómo crece la riqueza acumulada al añadir unidades de muestreo. Una curva que se aproxima a su asíntota indica que el esfuerzo adicional aportaría pocas especies nuevas. Se ajusta el modelo de Clench, del que se derivan la asíntota, la pendiente final de la curva y la completitud del inventario.

2.2. Estimadores no paramétricos de riqueza

Estiman la riqueza total a partir de la proporción de especies raras del propio muestreo. Se calcularon cinco.

Tabla H.1. Estimadores empleados y su fundamento.

Estimador	Se apoya en	Fundamento
Chao1	singletons (f_1) y doubletons (f_2)	Abundancia: especies representadas por uno y por dos individuos.
Chao2	uniques (q_1) y duplicates (q_2)	Incidencia: especies presentes en una y en dos unidades de muestreo.
Jackknife de primer orden	uniques (q_1)	Corrige el sesgo de S observada por las especies de una sola unidad.
Jackknife de segundo orden	uniques y duplicates	Extiende la corrección al segundo orden.
Bootstrap	frecuencia de todas las especies	Remuestreo; menos sensible a las especies raras.
ICE	especies infrecuentes (≤ 10 unidades)	Estimador basado en cobertura de incidencia.

La **completitud del inventario** se expresa como el cociente entre la riqueza observada y la riqueza estimada, en porcentaje. Se reporta contra Chao1 y contra la asíntota del modelo de Clench, que son los dos criterios de uso más extendido.

3. Esfuerzo de muestreo

Tabla H.2. Esfuerzo de muestreo por escala.

Escala	Fauna: transectos seca	húmeda	total	Flora: nº de sitios por estrato
AP	6	6	12	arboreo=15, arbustivo=13, herbaceo=15, regeneracion=15, otras_formas_vida=15
AI	2	4	6	arboreo=4, arbustivo=4, herbaceo=4, regeneracion=4, otras_formas_vida=4
RE	4	2	6	arboreo=11, arbustivo=11, herbaceo=11, regeneracion=11, otras_formas_vida=11

4. Dos precisiones metodológicas

Unidad del estrato arbóreo. La curva del estrato arbóreo se construye sobre la hectárea-tipo, que reúne el arbóreo y su regeneración: son las mismas especies medidas sobre los mismos sitios. Por eso la riqueza observada de esa unidad no coincide con la del estrato arbóreo aislado que se reporta en el Anexo I.

Esfuerzo de la curva de la Región Ecológica. Las curvas y los estimadores de la Región Ecológica se calculan sobre el esfuerzo fusionado del Área de Influencia y de la Región Ecológica, porque ambas escalas constituyen el contexto del proyecto. En consecuencia, el Área de Influencia **no tiene curva de acumulación propia**: su esfuerzo está incorporado en la de la Región Ecológica. No es una omisión, es el diseño del análisis.

5. Resultados: Área del Proyecto

Tabla H.3. Estimadores de riqueza y completitud del inventario en el Área del Proyecto.

Unidad	S obs.	n	f_1	f_2	Chao1	Chao2	Jack1	Jack2	Boots trap	ICE	Compl. Chao1 (%)	Compl. Clench (%)
arbóreo + regeneración	18	15	1	2	18.0	18.23	19.87	19.19	19.21	18.93	100.0	85.5
Arbustivo	5	13	0	0	5.0	5.0	5.0	2.67	5.37	5.0	100.0	76.3
Otras formas de vida	6	15	0	0	6.0	6.0	6.0	5.2	6.19	6.0	100.0	84.6
Herbáceo	19	15	0	0	19.0	19.0	19.0	17.39	19.29	19.0	100.0	91.3

Unidad	S obs.	n	f_1	f_2	Chao1	Chao2	Jack1	Jack2	Boots trap	ICE	Compl. Chao1 (%)	Compl. Clench (%)
Anfibios	2	5	0	0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.01	2.0	100.0	87.2
Aves	39	12	0	0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.22	39.0	100.0	89.4
Mamiferos	14	12	0	1	14.0	14.0	14.0	13.24	14.2	14.0	100.0	86.5
Reptiles	12	12	0	0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.1	12.0	100.0	90.2

6. Resultados: Región Ecológica (esfuerzo Área de Influencia + Región Ecológica)

Tabla H.4. Estimadores de riqueza y completitud del inventario en la Región Ecológica.

Unidad	S obs.	n	f_1	f_2	Chao1	Chao2	Jack1	Jack2	Boots trap	ICE	Compl. Chao1 (%)	Compl. Clench (%)
arbóreo + regeneración	67	15	6	15	67.94	71.55	79.13	78.33	73.78	73.71	98.6	79.0
Arbustivo	24	15	0	3	24.0	24.0	24.0	12.73	25.75	24.0	100.0	74.3
Otras formas de vida	14	15	0	2	14.0	14.0	14.93	13.39	14.76	14.26	100.0	83.5
Herbáceo	28	15	0	0	28.0	28.0	28.93	27.39	28.84	28.23	100.0	90.1
Anfibios	3	6	0	1	3.0	3.0	3.0	2.47	3.12	3.0	100.0	73.5
Aves	50	12	0	2	50.0	50.0	50.0	46.21	50.6	50.0	100.0	90.5
Mamiferos	21	12	0	1	21.0	21.0	21.0	18.73	21.36	21.0	100.0	89.1
Reptiles	19	12	1	2	19.0	19.0	19.92	19.23	19.64	19.26	100.0	89.0

7. Interpretación

En el Área del Proyecto, la completitud del inventario frente al estimador de Chao1 alcanza el 100 % en las 8 unidades evaluadas. En la Región Ecológica, 7 de las ocho unidades alcanzan el 100 %, y la restante el 98.6 %.

Ese resultado no significa que se haya registrado toda la biodiversidad existente, sino que la proporción de especies raras en el muestreo es baja, que es lo que hace converger al estimador: cuando no hay especies representadas por un solo individuo, Chao1 iguala a la riqueza observada por construcción. Por eso el resultado se acompaña del criterio de Clench, que no comparte esa propiedad.

Frente a la asíntota del modelo de Clench, que es el criterio más exigente, la completitud es menor porque el modelo extrapola sobre el ritmo de aparición de especies nuevas. Ambos criterios se reportan para que el evaluador disponga del más conservador.

Se concluye que **el esfuerzo de muestreo es representativo** de las comunidades de flora y de fauna en las escalas evaluadas, y suficiente para sustentar la caracterización del sistema ambiental y la evaluación de impactos.

8. Figuras

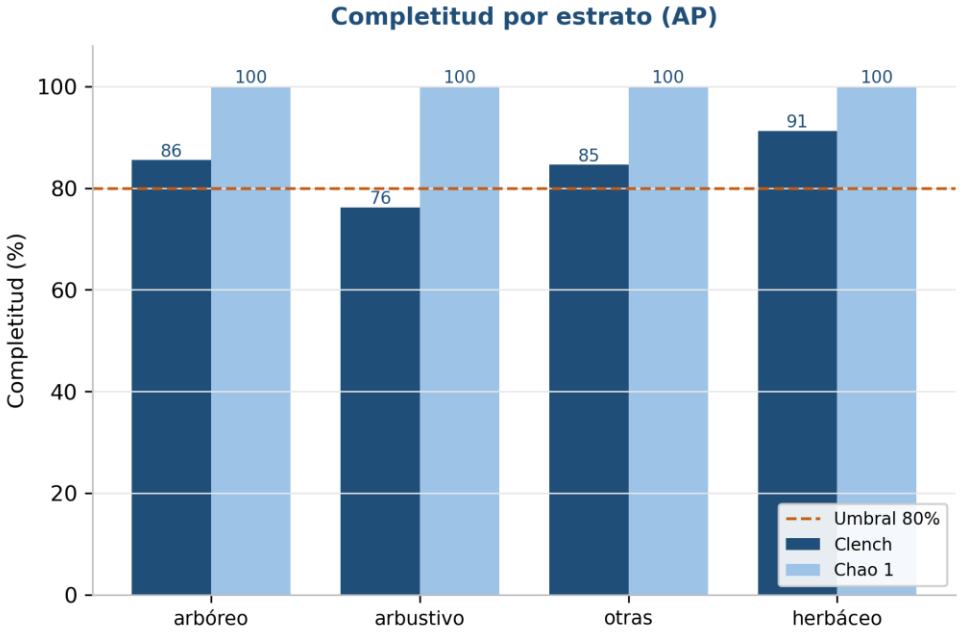


Figura H.1. Completitud del inventario por unidad de muestreo en el Área del Proyecto.

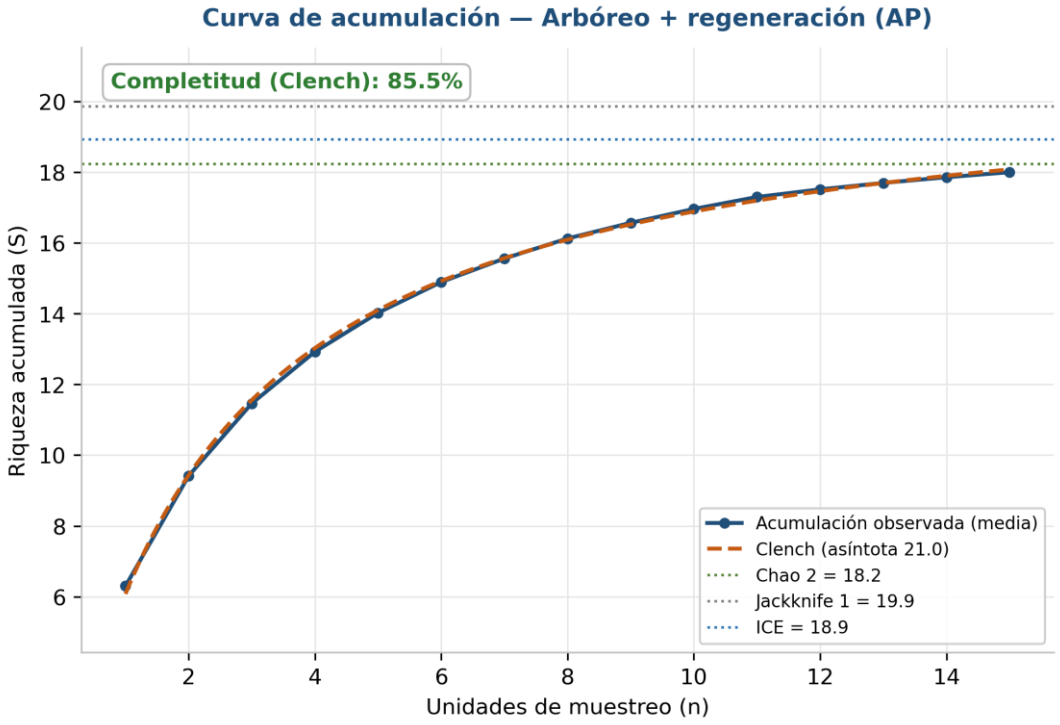


Figura H.2. Curva de acumulación de especies del estrato arbóreo (hectárea-tipo) en el Área del Proyecto.

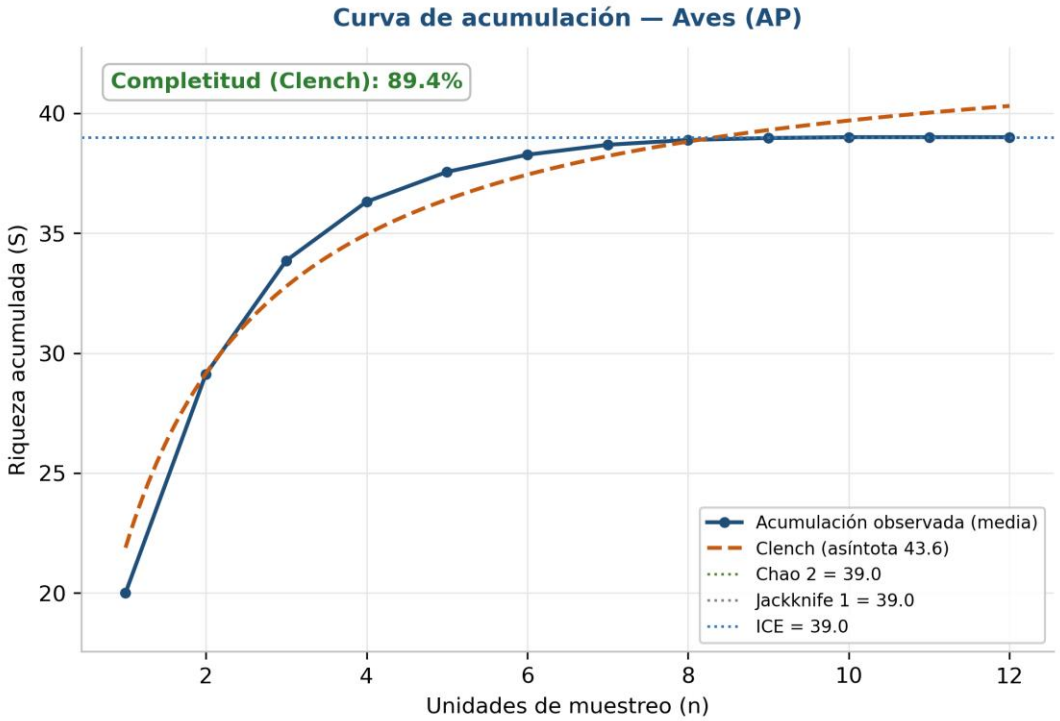


Figura H.3. Curva de acumulación de especies del grupo de las aves en el Área del Proyecto.

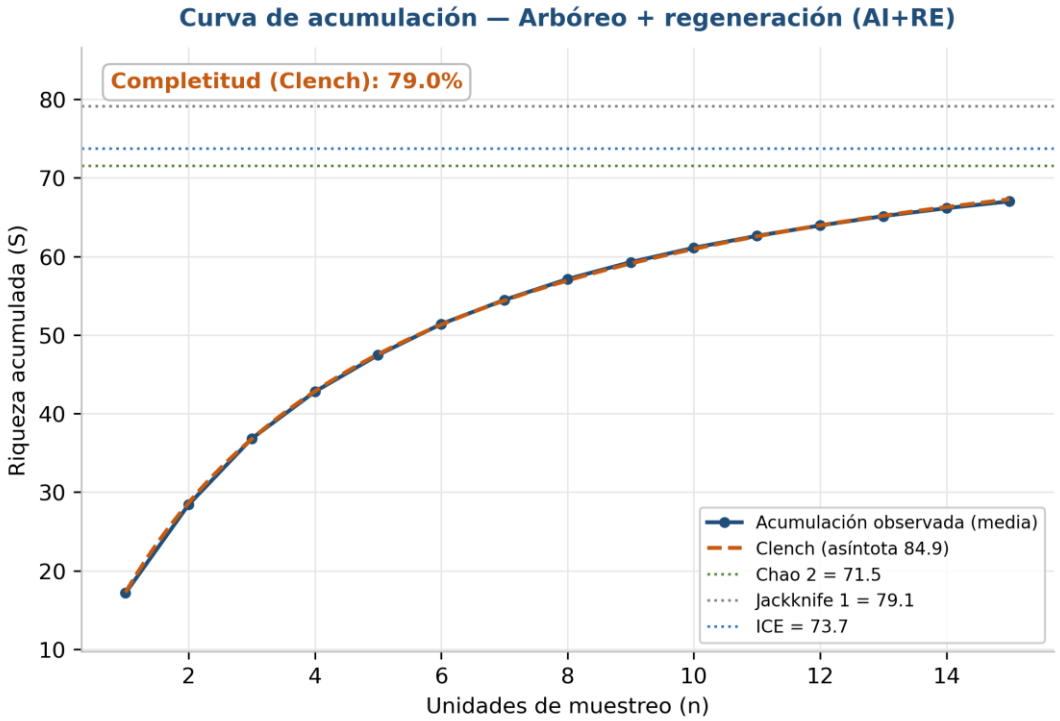


Figura H.4. Curva de acumulación del estrato arbóreo en la Región Ecológica, sobre el esfuerzo fusionado del Área de Influencia y la Región Ecológica.

9. Limitaciones declaradas

El Área de Influencia no dispone de curva de acumulación propia: por diseño, su esfuerzo se fusiona con el de la Región Ecológica para construir la curva del contexto (sección 4).

El motor emite las figuras de curvas y de completitud para el Área del Proyecto y, de la Región Ecológica, únicamente la del estrato arbóreo. Las cifras de todas las unidades constan en las tablas de las secciones 5 y 6, que son la memoria de cálculo.

El coeficiente de determinación del ajuste de Clench no se reporta: el motor no lo calcula. Se declara [FALTA — agregar] si la autoridad lo requiere.

10. Referencias

Chao, A. (1984). Nonparametric estimation of the number of classes in a population. Scandinavian Journal of Statistics, 11(4), 265–270.

Chao, A. (1987). Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. Biometrics, 43(4), 783–791.

Colwell, R. K. y Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 345, 101–118.

Jiménez-Valverde, A. y Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. Revista Ibérica de Aracnología, 8, 151–161.

Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1.

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

MODALIDAD PARTICULAR

ANEXO L.

PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL

Patio de Contenedores y Maniobra Express Port

Contenido

Contenido 2
Índice de tablas 3
Índice de figuras 3
I. Introducción y objeto 4
II. Objetivos 4
III. Estructura de responsabilidad 5
IV. Actividades de vigilancia 7
V. Mecanismos de control y mejora adaptativa 7
V.1 Procedimiento de inspección 8
V.2 Gestión de no conformidades 9
VI. Calendario de inspecciones 10
VII. Formatos de reporte 11
VIII. Informes periódicos 11
IX. Indicadores de cumplimiento y umbrales de alerta 12
X. Cronograma del seguimiento 13
XI. Recursos y medios para la implementación 14
XII. Vigencia y cierre del programa 15
XIII. Bibliografía y remisiones 15

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de responsabilidades por actividad de vigilancia. 6
Tabla 2. Catálogo de medidas correctivas por tipo de desviación. 9
Tabla 3. Calendario de inspecciones por medida y etapa. 10
Tabla 4. Cédula de verificación del cumplimiento de las medidas. 11
Tabla 5. Formato de monitoreo de indicadores. 11
Tabla 6. Formato de no conformidad y medida correctiva. 11
Tabla 7. Cuadro de supervisión: indicadores, metas y umbrales por medida. 12
Tabla 8. Cronograma de las actividades de vigilancia a lo largo del horizonte del programa. 14
Tabla 9. Recursos y medios para la implementación del programa. 14

Índice de figuras

Figura 1. Cadena de responsabilidad del programa.** El promovente ejecuta y responde ante la autoridad; la dirección técnica forestal conduce el monitoreo de las medidas de restablecimiento y la supervisión ambiental levanta la evidencia en campo, apoyada por la brigada y las mediciones especializadas. 5
Figura 2. Ciclo de vigilancia y mejora adaptativa.** Cada campaña de inspección recorre cinco pasos —medir, comparar, decidir, corregir y reportar— y realimenta la siguiente, de modo que el programa aprende de cada medición. 8
Figura 3. Flujo de gestión de una no conformidad.** Desde la detección hasta el reporte, cada no conformidad se registra, se analiza en su causa, se corrige y se verifica su cierre antes de cerrarse en el informe. 9

Proyecto: Patio de Contenedores y Maniobra Express Port · Manzanillo, Colima

Competencia: SEMARNAT (evaluación del impacto ambiental)

Responsable técnico (PSTF): Julián Barrón Quintana · RFN SGPARN/UARRN/0792/13

Etapas del proyecto: preparación del sitio · construcción · operación y mantenimiento

Horizonte de seguimiento: no menor de siete años

Sistema de coordenadas: UTM Zona 13 Norte · WGS84 · EPSG:32613

> Los indicadores, unidades, líneas base, metas, frecuencias, medios de verificación y umbrales de este programa se transcriben de los parámetros de verificación del Capítulo IV (§IV.5, Tabla IV.16), sin recalcular. La designación nominal del supervisor ambiental y la eventual sustitución de los formatos por los institucionales del promovente son compromisos que se asientan en la bitácora del programa al ingreso del trámite. Las normas se citan con su verificación de vigencia (fecha de consulta: 13 de julio de 2026).

I. Introducción y objeto

El Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) es el instrumento operativo con que el promovente da seguimiento al cumplimiento y a la eficacia de **todas** las medidas de prevención, mitigación, compensación y buenas prácticas comprometidas en el Capítulo IV de esta Manifestación de Impacto Ambiental. Su objeto no es documentar que la obra avanza, sino **verificar** —con indicadores objetivos, medibles y reproducibles— que cada medida se ejecute conforme a lo comprometido y alcance su resultado ambiental, y **disparar la medida correctiva** cuando un indicador no alcanza su meta. De este modo el programa cierra el ciclo *medir → comparar → corregir* que convierte a la cartera de medidas en un sistema de mejora adaptativa y no en una simple declaración de intenciones.

El programa se fundamenta en el artículo 28 de la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)** y en el **Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA)**, que facultan a la autoridad para condicionar la autorización al establecimiento de un programa de seguimiento y a la presentación de informes periódicos. Su alcance abarca las tres etapas del proyecto —preparación del sitio, construcción y operación— con un seguimiento **no menor de siete años** en las medidas de restablecimiento de la cubierta forestal.

Más allá de cumplir la condicionante de la autorización, el programa aporta beneficios verificables para el proyecto y para el ambiente:

- **Detección temprana.** Identifica las desviaciones cuando todavía son corregibles a bajo costo y antes de que el daño se vuelva irreversible; un individuo que no prende se repone en la temporada siguiente, una obra que se azolva se repara antes de perder su función.

- **Trazabilidad y transparencia.** Genera evidencia documental —bitácora foliada, mediciones y comprobantes— que respalda al promovente ante cualquier requerimiento de la autoridad y demuestra, período a período, el cumplimiento de lo condicionado.

- **Compromisos convertidos en datos.** Traduce cada medida del capítulo de impactos en un indicador con meta y umbral, de modo que la eficacia ambiental deja de ser una promesa y pasa a ser una cifra verificable.

- **Protección de la inversión y del balance ambiental.** Una medida de compensación que falla y se detecta a tiempo se repone; una que falla inadvertida compromete el balance ambiental del proyecto y expone a sanción. El PVA es, en ese sentido, el mecanismo que da respaldo técnico y credibilidad a la autorización.

II. Objetivos

Objetivo general. Garantizar el cumplimiento y la eficacia de las medidas comprometidas en el Capítulo IV a lo largo del horizonte del programa, detectando oportunamente las desviaciones y ordenando las medidas correctivas necesarias para que cada indicador alcance su meta.

Objetivos específicos por etapa:

- **Preparación del sitio y construcción.** Verificar la **correcta ejecución** de las medidas: que el rescate de flora (M1) y el ahuyentamiento y rescate de fauna (M2) se realicen antes y durante el desmonte, que las obras de conservación de suelo y agua (M3) se construyan según proyecto, y que las buenas prácticas de obra (P-1 a P-5) operen conforme a lo comprometido.

- **Operación y seguimiento.** Dar seguimiento a la **eficacia** de las medidas de restablecimiento: el prendimiento y la supervivencia de la reforestación y del rescate de flora (M1, C1), la permanencia de la fauna reubicada (M2), la integridad de las obras y el azolve entregado al cauce (M3), y el sostenimiento de las áreas verdes y la restauración paisajística (P-4).

III. Estructura de responsabilidad

La estructura de responsabilidad del programa se toma del Capítulo IV (§IV.4.1) y distingue tres niveles, más la autoridad como destinataria de los informes:

- **Ejecución.** Corresponde al **promovente**, titular de la autorización, quien responde ante la autoridad por la instrumentación del programa y la presentación de sus informes.

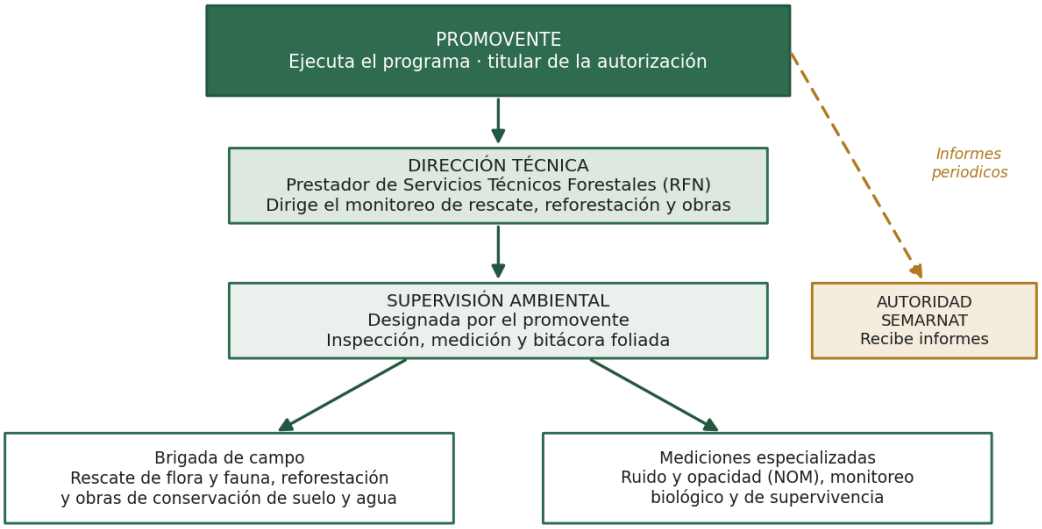
- **Dirección técnica.** Corresponde a un **prestador de servicios técnicos forestales con Registro Forestal Nacional**, que dirige el monitoreo de las medidas de rescate, reforestación y conservación de suelo y agua.

- **Supervisión ambiental.** Corresponde a la persona que el promovente designe, con la independencia y el perfil técnico que la vigilancia exige; conduce las inspecciones, las mediciones y la bitácora.

La designación nominal del responsable de la supervisión ambiental, con su cédula profesional o registro, la aporta el promovente al ingreso del trámite y se asienta en la bitácora del programa (compromiso del programa).

Figura 1. Cadena de responsabilidad del programa. El promovente ejecuta y responde ante la autoridad; la dirección técnica forestal conduce el monitoreo de las medidas de restablecimiento y la supervisión ambiental levanta la evidencia en campo, apoyada por la brigada y las mediciones especializadas.

Cadena de responsabilidad del Programa de Vigilancia Ambiental



Fuente: elaboración propia con base en el Capítulo IV, §IV.4.1.

La cadena deja explícito quién hace qué en cada plano de la vigilancia: la responsabilidad legal reside en el promovente y no se diluye, mientras que la competencia técnica —la que sabe medir un prendimiento o interpretar una opacimetría— se asigna a quien tiene el registro y el perfil para ejercerla. La Tabla 1 concreta esa cadena por actividad.

Tabla 1. Matriz de responsabilidades por actividad de vigilancia.

Actividad de vigilancia	Promovente	Dirección técnica (PSTF-RFN)	Supervisión ambiental	Autoridad (SEMARNAT)
Rescate de flora y fauna (M1, M2)	E	D	V	—
Obras de conservación de suelo y agua (M3)	E	D	V	—
Reforestación del predio de compensación (C1)	E	D	V	—
Buenas prácticas de obra (P-1 a P-5)	E	—	V	—
Monitoreo de indicadores y mediciones	E	D	V	—
Bitácora foliada y formatos de control	—	—	E/V	—
Ejecución de las medidas correctivas	E	D	V	—

Actividad de vigilancia	Promovente	Dirección técnica (PSTF-RFN)	Supervisión ambiental	Autoridad (SEMARNAT)
Informes periódicos y expediente	E	D	V	R

Convenciones: **E** = ejecuta · **D** = dirige técnicamente · **V** = verifica/supervisa · **R** = recibe y evalúa · — = no participa.

Fuente: elaboración propia con base en el Capítulo IV, §IV.4.1.

Vinculación. La matriz evita el vacío de responsabilidad más común en un programa de seguimiento: que "todos vigilen y nadie responda". Cada renglón tiene un único responsable de ejecución y un único verificador, de modo que ante una desviación se sabe de inmediato a quién compete corregirla y a quién comprobarla. La única fila donde la autoridad interviene es la de los informes —que recibe y evalúa—, lo que subraya que el control cotidiano es interno al proyecto y la autoridad actúa como evaluadora del resultado, no como operadora del programa.

IV. Actividades de vigilancia

El programa organiza su operación en las siguientes actividades, una por cada plano de verificación y por cada programa-anexo presente en el proyecto:

- **IV.1 Verificación del cumplimiento de las medidas.** Recorrido sistemático de la cartera de medidas del Capítulo IV (Tabla IV.10: M1, M2, M3, C1 y las buenas prácticas P-1 a P-5) para confirmar que cada una se ejecute conforme a lo comprometido, con su evidencia documental.

- **IV.2 Monitoreo de los indicadores ambientales.** Medición de los indicadores de eficacia de cada medida (prendimiento, supervivencia, cobertura, azolve, ruido, opacidad), su comparación contra la meta y el umbral de alerta, y el registro del valor obtenido.

- **IV.3 Bitácora de obra.** Registro **foliado** de las inspecciones, mediciones, hallazgos, no conformidades y medidas correctivas aplicadas, que constituye el respaldo documental del programa.

- **IV.4 Verificación de los programas de rescate de flora y fauna (Anexos A y B).** Confirmación del rescate y reubicación de la flora prioritaria (M1) y del ahuyentamiento, rescate y liberación de la fauna en hábitat análogo (M2), con seguimiento del prendimiento y de la permanencia.

- **IV.5 Verificación de las obras de conservación de suelo y agua (Anexo D).** Comprobación de la construcción y la **integridad** de las obras de retención de suelo y control de azolve (M3), y del azolve efectivamente entregado al cauce.

- **IV.6 Verificación de la reforestación del predio de compensación (Anexo C).** Seguimiento de la supervivencia, la densidad y la cabida cubierta de la reforestación (C1), y activación de la **reposición** ante desviación.

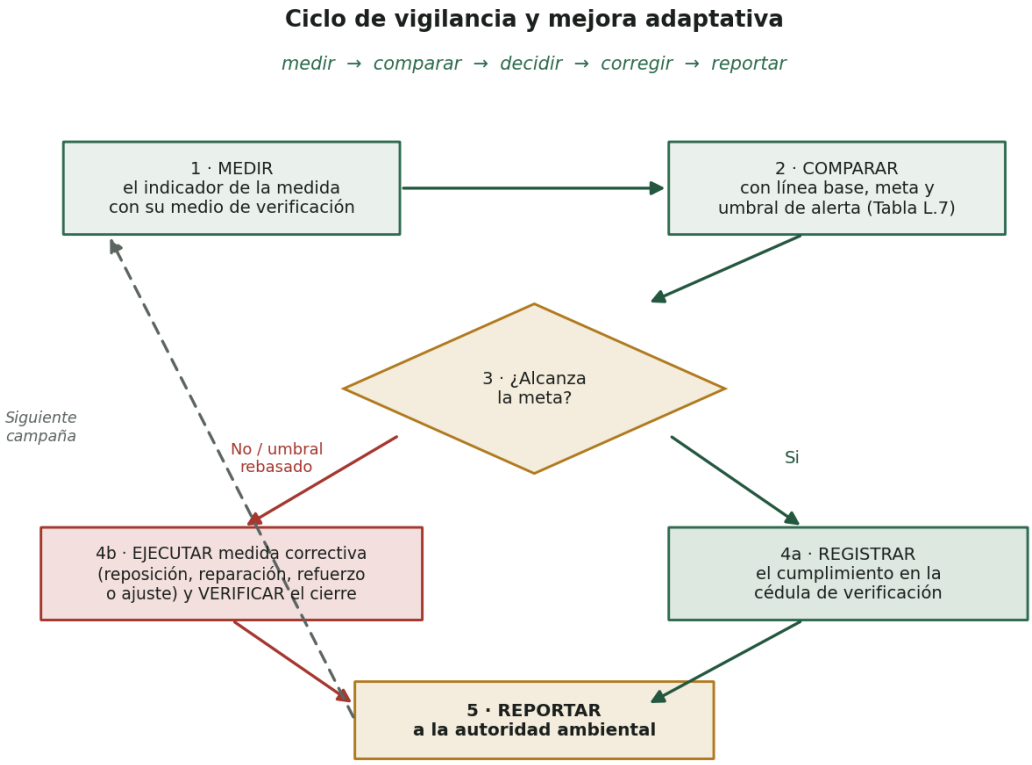
- **IV.7 Verificación del manejo de residuos (Anexo K).** Comprobación del cumplimiento de las corrientes de residuos y sus destinos autorizados (medida P-4 de buenas prácticas), conforme al Programa de Manejo Integral de Residuos.

Cada actividad indica el indicador que mide, su medio de verificación y el umbral que dispara la medida correctiva, según el cuadro de supervisión del §IX.

V. Mecanismos de control y mejora adaptativa

El programa no se limita a observar: opera un mecanismo de control de lazo cerrado que convierte cada medición en una decisión y, cuando hace falta, en una corrección verificada. Ese mecanismo es lo que distingue a un programa de vigilancia de un simple registro de bitácora.

Figura 2. Ciclo de vigilancia y mejora adaptativa. Cada campaña de inspección recorre cinco pasos —medir, comparar, decidir, corregir y reportar— y realimenta la siguiente, de modo que el programa aprende de cada medición.



Fuente: elaboración propia.

El ciclo articula el control en cinco pasos: **(1)** se **mide** el indicador de la medida con su medio de verificación; **(2)** se **compara** el valor obtenido con la línea base, la meta y el umbral de alerta del cuadro de supervisión (§IX); **(3)** se **decide** según el resultado: si alcanza la meta, se registra el cumplimiento; si rebasa el umbral, se activa la corrección; **(4)** se **ejecuta la medida correctiva** —reposición, reparación, refuerzo o ajuste— y se **verifica su cierre** en la campaña siguiente; y **(5)** se **reporta** a la autoridad. El lazo se cierra realimentando la siguiente campaña, de manera que el programa opera como un sistema adaptativo: cada medición informa la corrección y cada corrección se comprueba.

V.1 Procedimiento de inspección

Cada campaña de vigilancia se conduce con un procedimiento uniforme, que garantiza que dos inspecciones distintas produzcan evidencia comparable:

1. **Programación.** La supervisión agenda la inspección según el calendario del §VI (por medida, etapa y frecuencia) y reúne los medios de verificación (formatos, equipo de medición, planos).

2. **Medición en campo.** Se levanta el dato del indicador con el método correspondiente (conteo de supervivencia en parcelas, medición de ruido en la colindancia, opacimetría de la maquinaria, revisión de la integridad de las obras).

3. **Comparación.** El valor se contrasta contra la meta y el umbral del cuadro de supervisión (§IX).

4. **Decisión y registro.** Si cumple, se asienta en la cédula de verificación; si no cumple, se abre una no conformidad.

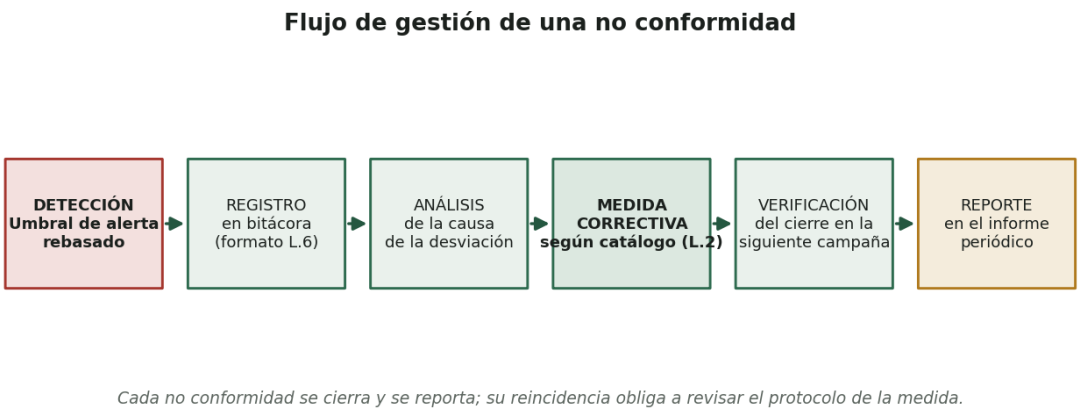
5. **Medida correctiva.** Cuando procede, se ordena y ejecuta la corrección del catálogo (Tabla 2), asignando responsable y plazo.

6. **Documentación y reporte.** Todo se registra en la bitácora foliada y alimenta el informe periódico (§VIII).

V.2 Gestión de no conformidades

Una **no conformidad** es toda desviación en que un indicador rebasa su umbral de alerta o una medida no se ejecuta conforme a lo comprometido. Su gestión sigue un flujo estandarizado que asegura que ninguna desviación quede sin corregir ni sin documentar.

Figura 3. Flujo de gestión de una no conformidad. Desde la detección hasta el reporte, cada no conformidad se registra, se analiza en su causa, se corrige y se verifica su cierre antes de cerrarse en el informe.



Fuente: elaboración propia.

El flujo obliga a que la corrección no termine en la acción, sino en la **comprobación de su cierre**: una obra reparada se vuelve a medir, una reposición se verifica en la temporada siguiente. Además, la reincidencia de una misma no conformidad es en sí una señal —indica que la causa no se atacó— y obliga a revisar el protocolo de la medida, no solo a repetir la corrección. Así, el programa distingue entre corregir un síntoma y resolver la causa.

Tabla 2. Catálogo de medidas correctivas por tipo de desviación.

Desviación detectada	Medida correctiva	Plazo orientativo	Responsable
Supervivencia del rescate o de la reforestación < 80 %	Reposición de individuos (hasta 100 % en años 2–3)	Próxima temporada de plantación	Dirección técnica
Barrido de fauna < 100 % o mortalidad por encima de la mínima	Revisión y ajuste del protocolo de ahuyentamiento y rescate	Inmediato / antes de continuar el frente	Dirección técnica
Azolve al cauce por encima de la línea base o integridad de obras < 90 %	Reparación o desazolve de las obras de conservación	Antes de la siguiente temporada de lluvias	Promovente / dirección técnica
Polvo perceptible o riego incumplido (P-1)	Refuerzo del riego y verificación de la flota	Inmediato	Supervisión ambiental

Desviación detectada	Medida correctiva	Plazo orientativo	Responsable
Ruido perimetral por encima de 68/65 dB(A) (P-2)	Mantenimiento, ajuste de horarios o pantalla acústica	En la campaña en curso	Supervisión ambiental
Arrastre de sedimentos o falla del control (P-3)	Reparación del sistema de control de sedimentos	Inmediato	Supervisión ambiental
Áreas verdes o restauración paisajística incumplidas (P-4)	Corrección de la restauración	Próxima temporada de plantación	Promovente
Opacidad por encima de la NOM o mantenimiento vencido (P-5)	Afinación o reparación del equipo	Antes de reingresar el equipo a la obra	Supervisión ambiental

Fuente: elaboración propia a partir de los umbrales de alerta de la Tabla IV.16 (Capítulo IV, §IV.5). Los plazos son orientativos y el promovente los precisa en la bitácora del programa.

Vinculación. El catálogo cierra el eslabón que suele faltar en los programas de vigilancia: qué hacer exactamente cuando un umbral se rebasa. Cada desviación del cuadro de supervisión tiene aquí una respuesta predefinida, con responsable y horizonte de ejecución, de modo que la corrección no se improvisa ni se pospone. Los plazos se expresan de forma orientativa —ligados al ritmo de la obra y de las temporadas de plantación y lluvias— porque su fecha exacta depende del calendario real de ejecución, que el promovente asienta en la bitácora; lo que el programa fija sin ambigüedad es el **tipo** de corrección y quién la ejecuta.

VI. Calendario de inspecciones

Tabla 3. Calendario de inspecciones por medida y etapa.

Medida	Actividad de vigilancia	Etapa	Frecuencia
M1	Supervivencia (prendimiento) de los individuos reubicados	Operación / seguimiento	Anual
M2	Cobertura del barrido y liberación en hábitat análogo	Preparación del sitio	Por evento y anual
M3	Azolve entregado al cauce e integridad de las obras	Construcción y operación	Anual
C1	Supervivencia, densidad y cabida cubierta de la reforestación	Operación / seguimiento	Anual
P-1	Cumplimiento del riego y verificación de la flota	Construcción	Mensual / por evento
P-2	Ruido perimetral y control de iluminación	Construcción y operación	Trimestral / por evento
P-3	Superficie con control de sedimentos y suelo escarificado	Construcción	Semestral
P-4	Superficie restaurada y áreas verdes establecidas	Construcción y operación	Anual
P-5	Equipos con mantenimiento al día y opacidad de la maquinaria	Construcción y operación	Por horas de operación y verificación

Medida	Actividad de vigilancia	Etapa	Frecuencia
Seguimiento (PVA)	Informes de supervisión y cumplimiento verificado	Todas	Semestral y anual

Fuente: columna «Frecuencia» de la Tabla IV.16 (Capítulo IV, §IV.5) y etapas del Capítulo I.

Vinculación. El calendario traduce la frecuencia comprometida de cada medida al momento del proyecto en que la vigilancia rinde información útil: las buenas prácticas de obra (P-1 a P-3, P-5) se inspeccionan con alta frecuencia durante la construcción, cuando el impacto potencial es mayor, mientras que la eficacia de las medidas de restablecimiento (M1, C1) se verifica de forma anual a lo largo del horizonte de siete años, cuando el prendimiento y la cobertura se hacen medibles. Así, ninguna medida queda sin una cita de inspección y el esfuerzo de vigilancia se concentra donde y cuando puede detectar y corregir una desviación.

VII. Formatos de reporte

La supervisión opera con tres formatos, que constituyen el soporte documental de cada inspección y materializan el ciclo de control del §V. El promovente puede adoptarlos tal cual o adaptarlos a su formato institucional equivalente, conservando en todo caso los campos aquí definidos; la versión efectivamente utilizada se asienta en la bitácora del programa.

Tabla 4. Cédula de verificación del cumplimiento de las medidas.

Fecha	Medida	Actividad comprometida	¿Ejecutada? (Sí/No)	Evidencia	Observaciones	Responsable

Fuente: elaboración propia conforme a la cartera de medidas del Capítulo IV.

Tabla 5. Formato de monitoreo de indicadores.

Fecha	Medida	Indicador	Unidad	Meta	Valor medido	¿Cumple la meta?	Medio de verificación

Fuente: elaboración propia conforme a la Tabla IV.16 (§IV.5).

Tabla 6. Formato de no conformidad y medida correctiva.

Fecha	Medida / indicador	Umbral rebasado	Descripción de la desviación	Medida correctiva aplicada	Fecha de cierre	Responsable

Fuente: elaboración propia conforme a los umbrales de alerta de la Tabla IV.16.

Vinculación. Los tres formatos materializan el ciclo del programa: la cédula de verificación (L.4) documenta el **cumplimiento** —que la medida se hizo—; el formato de monitoreo (L.5) documenta la **eficacia** —que alcanzó su meta—; y el formato de no conformidad (L.6) documenta la **corrección** —qué se hizo cuando un umbral se rebasó y cuándo se cerró—. En conjunto convierten cada inspección en un registro verificable por la autoridad y trazable a la medida y al indicador que le dieron origen.

VIII. Informes periódicos

El promovente presenta a la autoridad informes de vigilancia con la **frecuencia** que fija cada medida (semestral y anual, según la Tabla IV.16), y en todo caso un informe **anual consolidado** durante el horizonte del programa. Cada informe contiene, como mínimo:

- Las medidas verificadas en el período y su estado de cumplimiento.

- Los indicadores medidos, con su valor obtenido frente a la meta y el umbral de alerta.

- Las no conformidades detectadas y las medidas correctivas aplicadas, con su fecha de cierre.

- La evidencia documental (bitácora, comprobantes, mediciones, informes de los programas de rescate, reforestación y obras).

Los informes se dirigen a la **autoridad ambiental** competente y se integran al **expediente** del proyecto, conforme al REIA.

Vinculación. El informe periódico es el punto donde el sistema de vigilancia se vuelve **verificable por la autoridad**: no basta con medir y corregir internamente, sino que el promovente acredita, período a período, que las medidas condicionadas en la autorización se cumplen y son eficaces. La periodicidad semestral y anual se alinea con la frecuencia de medición de los indicadores, de modo que cada informe reporta datos frescos y no un balance retrospectivo.

IX. Indicadores de cumplimiento y umbrales de alerta

El cuadro de supervisión reúne, por medida, el indicador y su plano (cumplimiento o eficacia), la unidad, el recorrido de la línea base a la meta, la frecuencia, el medio de verificación y el umbral de alerta que dispara la medida correctiva. Es el corazón del programa: se transcribe íntegro de la Tabla IV.16 del Capítulo IV.

Tabla 7. Cuadro de supervisión: indicadores, metas y umbrales por medida.

Medida	Indicador (plano)	Unidad	Línea base → meta	Frecuencia	Medio de verificación	Umbral de alerta → medida correctiva
M1	Supervivencia (prendimiento) de los individuos reubicados (eficacia)	%	0 % al plantar → **≥ 80 %** al año 1 (Anexo A)	Anual	Informe de monitoreo del rescate	< 80 % → **reposición** de individuos
M2	Cobertura del barrido y liberación en hábitat análogo (cumplimiento y eficacia)	%	0 → **100 %** del frente barrido; **mortalidad nula**; **100 %** liberados (Anexo B)	Por evento y anual	Bitácora de rescate e informe	Mortalidad > mínima o barrido < 100 % → **revisión del protocolo**
M3	Azolve entregado al cauce e integridad de las obras (eficacia)	t·año⁻¹ · %	0.209 t·año⁻¹ → **0.00** (≤ línea base); obras **≥ 90 %** funcionales (Anexo D)	Anual	Informe de supervisión de obras	Azolve > línea base o integridad < 90 % → **reparación** de obras
C1	Supervivencia, densidad y cabida cubierta de la reforestación (cumplimiento y eficacia)	% · ind·ha⁻¹	Cobertura 15 % → **85 %** al año 7; supervivencia **≥ 80 %**; densidad **≥ 1,283** (Anexo C)	Anual	Informe de reforestación	Supervivencia < 80 % o desviación de cobertura > 10 % → **reposición** (100 % en años 2–3)
P-1	Cumplimiento del riego y	% · nº	0 → riego programado	Mensual / por evento	Bitácora de obra y comprobantes	Polvo perceptible o

Medida	Indicador (plano)	Unidad	Línea base → meta	Frecuencia	Medio de verificación	Umbral de alerta → medida correctiva
	verificación de la flota (cumplimiento)		**cumplido**; flota **verificada**			incumplimiento → **refuerzo del riego**
P-2	Ruido perimetral y control de iluminación (eficacia)	dB(A)	Ruido de fondo del entorno → **≤ 68/65 dB(A)** (NOM-081, zona industrial) y vehículos ≤ NOM-080	Trimestral / por evento	Medición de ruido en la colindancia y bitácora	> límite → **mantenimiento**, ajuste de horarios o pantalla acústica
P-3	Superficie con control de sedimentos y suelo escarificado (cumplimiento)	ha · %	0 → sistema operando; suelos **escarificados** al cierre	Semestral	Informe de supervisión	Arrastre de sedimento o falla → **reparación** del control
P-4	Superficie restaurada y áreas verdes establecidas (cumplimiento)	ha · %	0 → frentes delimitados; **1.0074 ha** de áreas verdes	Anual	Informe de supervisión y de áreas verdes	Incumplimiento → **corrección** de la restauración
P-5	Equipos con mantenimiento al día y opacidad de la maquinaria (cumplimiento y eficacia)	%	0 → **100 %** de equipos al día; opacidad ≤ NOM-045/041	Por horas de operación y verificación	Bitácora de mantenimiento y comprobantes	Opacidad > límite o mantenimiento vencido → **afinación o reparación**
Seguimiento (PVA)	Informes de supervisión y cumplimiento verificado (cumplimiento)	nº · %	0 → **100 %** de cumplimiento verificado	Semestral / anual	Informes del Programa de Vigilancia Ambiental	< 100 % → **medidas correctivas** por medida

Fuente: Tabla IV.16 (Capítulo IV, §IV.5); líneas base, metas y umbrales de los programas de rescate de flora (Anexo A), de fauna (Anexo B), de reforestación (Anexo C) y de obras de conservación de suelo y agua (Anexo D). Límites de ruido: NOM-080 y NOM-081-SEMARNAT-1994; de emisiones vehiculares: NOM-045 y NOM-041-SEMARNAT.

Vinculación. El cuadro es la referencia contra la cual la supervisión mide y corrige. Cada fila fija un compromiso verificable: una supervivencia del rescate y la reforestación **≥ 80 %**, un barrido de fauna del **100 %** con mortalidad nula, un azolve al cauce reducido a **0.00 t·año⁻¹**, una densidad de reforestación **≥ 1,283 ind·ha⁻¹**, un ruido perimetral **≤ 68/65 dB(A)** y **1.0074 ha** de áreas verdes. El umbral de alerta de cada indicador no es informativo: es el disparador contractual de la medida correctiva —reposición, reparación, refuerzo o ajuste—, de modo que el incumplimiento de una meta obliga a una acción y no solo a una anotación.

X. Cronograma del seguimiento

Tabla 8. Cronograma de las actividades de vigilancia a lo largo del horizonte del programa.

Actividad de vigilancia	Preparación	Construcción	Año 1	Año 2	Año 3	Años 4–7
Verificación de rescate de flora y fauna (M1, M2)	X	X	X	X	X	X
Verificación de obras de conservación (M3)		X	X	X	X	X
Verificación de la reforestación (C1)		X	X	X	X	X
Verificación de buenas prácticas de obra (P-1 a P-5)		X	X			
Verificación del manejo de residuos (Anexo K)	X	X	X			
Emisión de informes periódicos (semestral / anual)	X	X	X	X	X	X

Fuente: horizonte de seguimiento (Capítulo IV, §IV.4.1: no menor de siete años) y cronograma de obra del Capítulo I.

Vinculación. El cronograma acopla el esfuerzo de vigilancia al ciclo de vida del proyecto: la verificación de las buenas prácticas se concentra en la construcción, cuando esas medidas operan; la verificación de la reforestación y del rescate se extiende a lo largo de los siete años del horizonte, porque la eficacia del restablecimiento solo se acredita con el tiempo; y la emisión de informes acompaña todo el período, garantizando el reporte continuo a la autoridad. La distribución evidencia que el programa no termina con la obra, sino que sostiene la vigilancia hasta que las medidas de compensación alcanzan su meta.

XI. Recursos y medios para la implementación

La instrumentación del programa exige un conjunto acotado de recursos humanos, instrumentales y documentales, que el promovente dispone desde el inicio de la obra:

Tabla 9. Recursos y medios para la implementación del programa.

Recurso	Descripción	Vinculado a
Personal	Supervisor ambiental, dirección técnica forestal (PSTF-RFN) y brigada de campo	§III, Tabla 1
Equipo de medición	Sonómetro para ruido perimetral, verificación de opacidad de la maquinaria, receptor GPS y equipo de dasometría (cinta, forcípula) para el monitoreo forestal	P-2, P-5, C1, M1

Recurso	Descripción	Vinculado a
Documentación de control	Bitácora foliada, formatos L.4–L.6 y comprobantes de los manifiestos de residuos (Anexo K)	§VI, §VII
Cartografía y georreferencia	Planos del proyecto y del predio de compensación, con coordenadas UTM Zona 13 Norte · WGS84	§III, Anexos C y D
Insumos de reposición	Planta de vivero para reposición forestal y materiales para la reparación de las obras de conservación	M1, C1, M3

Fuente: elaboración propia con base en las medidas y los medios de verificación del Capítulo IV (§IV.5).

Vinculación. El inventario de recursos demuestra que el programa es **implementable**, no aspiracional: cada indicador del cuadro de supervisión tiene detrás el medio material que permite medirlo —el sonómetro para el ruido, la opacimetría para la maquinaria, la dasometría para la reforestación— y cada medida correctiva, el insumo que permite ejecutarla —la planta de vivero para la reposición, el material para reparar las obras— . Al ligar cada recurso con la medida que sirve, se evita el riesgo de comprometer una vigilancia que luego no pueda ejecutarse por falta de medios.

XII. Vigencia y cierre del programa

El programa entra en vigor con la autorización del proyecto y permanece vigente durante las tres etapas —preparación del sitio, construcción y operación— y hasta el término del horizonte de seguimiento, **no menor de siete años**, en las medidas de restablecimiento de la cubierta forestal.

El programa **cierra** cuando las medidas de compensación alcanzan de forma sostenida su meta —supervivencia del rescate y de la reforestación **≥ 80 %**, cobertura de la reforestación **≥ 85 %** al año 7, obras íntegras y azolve controlado— y así se acredita en el último informe anual, que la autoridad evalúa. Mientras alguna meta no se alcance, la vigilancia y la reposición continúan más allá del séptimo año. El cierre del seguimiento de compensación **no exime** al promovente del cumplimiento permanente de las buenas prácticas de operación —manejo de residuos, control de ruido y de emisiones—, que rigen mientras el patio de contenedores se encuentre en operación.

Vinculación. La regla de cierre ata el fin del programa a un resultado ambiental verificable y no a un simple vencimiento de calendario: el seguimiento no termina porque "pasaron siete años", sino porque las metas de compensación se cumplieron y se demostraron. Esta condición protege el objetivo del programa —el restablecimiento efectivo de la cubierta y la función ambiental— y evita que un cierre prematuro deje sin verificar una compensación aún no lograda.

XIII. Bibliografía y remisiones

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), artículo 28, y su Reglamento en materia de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA).

- NOM-080-SEMARNAT-1994 y NOM-081-SEMARNAT-1994 (límites de ruido); NOM-041-SEMARNAT y NOM-045-SEMARNAT (emisiones vehiculares), citadas por las metas de las medidas P-2 y P-5.

- Los indicadores, líneas base, metas, frecuencias y umbrales de este programa provienen de los **parámetros de verificación del Capítulo IV (§IV.5, Tabla IV.16)** y se detallan, en su método de cálculo, en los programas de rescate de flora (**Anexo A**), de fauna (**Anexo B**), de reforestación (**Anexo C**), de obras de conservación de suelo y agua (**Anexo D**) y de manejo integral de residuos (**Anexo K**); este programa remite a ellos y no los reproduce.

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

MODALIDAD PARTICULAR

ANEXO M.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Patio de Contenedores y Maniobra Express Port

Contenido

Contenido 2

I. Legislación (leyes, reglamentos, Normas Oficiales Mexicanas y ordenamientos) 3

II. Literatura científica y técnica 5

III. Fuentes oficiales, bases de datos y cartografía 7

I. Legislación (leyes, reglamentos, Normas Oficiales Mexicanas y ordenamientos)

Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe [Acuerdo de Escazú]. (2018, 4 de marzo, Escazú, Costa Rica; decreto promulgatorio publicado en México el 22 de abril de 2021). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Comisión Nacional de los Salarios Mínimos [CONASAMI]. (2025, 9 de diciembre). Resolución del Consejo de Representantes que fija los salarios mínimos generales y profesionales vigentes a partir del 1 de enero de 2026. *Diario Oficial de la Federación*. México.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM]. (1917, 5 de febrero; última reforma 2 de junio de 2026). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres [CITES]. (1973, 3 de marzo, Washington, D.C.; adhesión de México el 2 de julio de 1991, decreto promulgatorio DOF 6 de marzo de 1992). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Gobierno del Estado de Colima. (2025, 10 de junio). Acuerdo y documento que contiene el Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Manzanillo, Colima [PMOTDU]. *Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Colima*, edición extraordinaria núm. 59, suplemento núm. 1. https://periodicooficial.col.gob.mx/p/10062025/portada.htm

Ley de Aguas Nacionales [LAN]. (1992, 1 de diciembre; última reforma 11 de diciembre de 2025). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Ley Federal de Responsabilidad Ambiental [LFRA]. (2013, 7 de junio; última reforma 14 de noviembre de 2025). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano [LGAHOTDU]. (2016, 28 de noviembre; última reforma 1 de abril de 2024). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Ley General de Cambio Climático [LGCC]. (2012, 6 de junio; última reforma 1 de abril de 2024). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable [LGDFS]. (2018, 5 de junio; última reforma 1 de abril de 2024). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Ley General de Economía Circular [LGEC]. (2026, 19 de enero). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Ley General de Vida Silvestre [LGVS]. (2000, 3 de julio; última reforma 16 de julio de 2025). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [LGEEPA]. (1988, 28 de enero; última reforma 19 de enero de 2026). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [LGPGIR]. (2003, 8 de octubre; última reforma 19 de enero de 2026). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. (2022, 11 de marzo). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. (1998, 3 de junio). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua—Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. (2015, 27 de marzo). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental—Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5. (2021, 27 de octubre). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2015, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible. (2015, 10 de junio). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-045-SEMARNAT-2017, Protección ambiental—Vehículos en circulación que usan diésel como combustible—Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición. (2018, 8 de marzo). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. (2006, 23 de junio). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental—Especies nativas de México de flora y fauna silvestres—Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio—Lista de especies en riesgo. (2010, 30 de diciembre). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-080-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación, y su método de medición. (1995, 13 de enero). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición. (1995, 13 de enero). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. (2004, 20 de octubre). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación. (2013, 10 de septiembre). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo. (2013, 1 de febrero). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio [POEGT]. (2012, 7 de septiembre). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas [RLOPSRM]. (2010, 28 de julio; última reforma 24 de febrero de 2023). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental [REIA]. (2000, 30 de mayo; última reforma 31 de octubre de 2014). *Diario Oficial de la Federación*. México.

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [RLGPGIR]. (2006, 30 de noviembre; última reforma 31 de octubre de 2014). *Diario Oficial de la Federación*. México.

II. Literatura científica y técnica

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., y Loa, E. (Coords.). (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Bagnold, R. A. (1966). *An approach to the sediment transport problem from general physics* (U.S. Geological Survey Professional Paper 422-I). U.S. Government Printing Office. https://doi.org/10.3133/pp422I

Bagnouls, F., y Gaussen, H. (1957). Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie, 66*(355), 193–220.

Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography, 19*(1), 134–143. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x

Berger, W. H., y Parker, F. L. (1970). Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments. *Science, 168*(3937), 1345–1347. https://doi.org/10.1126/science.168.3937.1345

Brillouin, L. (1956). *Science and information theory*. Academic Press.

Canter, L. W. (1998). *Environmental impact assessment* (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Chao, A. (1987). Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics, 43*(4), 783–791. https://doi.org/10.2307/2531532

Clench, H. K. (1979). How to make regional lists of butterflies: Some thoughts. *Journal of the Lepidopterists' Society, 33*(4), 216–231.

Conesa Fernández-Vítora, V. (1997). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (3.ª ed.). Mundi-Prensa.

Curtis, J. T., y McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology, 32*(3), 476–496. https://doi.org/10.2307/1931725

De Martonne, E. (1926). Aréisme et indice d'aridité. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 181*, 1395–1398.

Desmet, P. J. J., y Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation, 51*(5), 427–433.

FAO-PNUMA-UNESCO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Figueroa Sandoval, B., Amante Orozco, A., Cortés Torres, H. G., Pimentel, J., Osuna, E. S., Rodríguez, J. M., y Morales, J. F. (1991). *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos / Colegio de Postgraduados.

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)* (5.ª ed.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Gómez Orea, D. (2002). *Evaluación de impacto ambiental* (2.ª ed.). Mundi-Prensa.

Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology, 54*(2), 427–432. https://doi.org/10.2307/1934352

Hutcheson, K. (1970). A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *Journal of Theoretical Biology, 29*(1), 151–154. https://doi.org/10.1016/0022-5193(70)90124-4

Jaeger, K. L., Sutfin, N. A., Tooth, S., Michaelides, K., y Singer, M. (2017). Geomorphology and sediment regimes of intermittent rivers and ephemeral streams. En T. Datry, N. Bonada y A. J. Boulton (Eds.), *Intermittent rivers and ephemeral streams: Ecology and management* (pp. 21–49). Academic Press.

Jordán, A., Zavala, L. M., y Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena, 81*(1), 77–85. https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.007 [En el Anexo C figura como «López, M. V., 2010»: probable confusión de autor; el perito verifica el documento original y corrige el in-text a «(Jordán et al., 2010)» si procede]

Koleff, P. (2005). Conceptos y medidas de la diversidad beta. En G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff y A. Melic (Eds.), *Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma* (pp. 19–40). CONABIO, Sociedad Entomológica Aragonesa y Diversitas México-CONACYT.

Lande, R. (1996). Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos, 76*(1), 5–13. https://doi.org/10.2307/3545743

Lang, R. (1920). *Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., y Balsley, J. R. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact* (U.S. Geological Survey Circular 645). U.S. Government Printing Office.

Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *General Systems, 3*, 36–71.

McCool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K., y Meyer, L. D. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE, 30*(5), 1387–1396.

McIntosh, R. P. (1967). An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. *Ecology, 48*(3), 392–404. https://doi.org/10.2307/1932674

Menhinick, E. F. (1964). A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology, 45*(4), 859–861. https://doi.org/10.2307/1934933

Meyer-Peter, E., y Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. En *Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research* (pp. 39–64). IAHR.

Montes-León, M. A. L., Uribe-Alcántara, E. M., y García-Celis, E. (2011). Mapa nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua, 2*(1), 5–17.

Montgomery, D. R., y Buffington, J. M. (1997). Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *GSA Bulletin, 109*(5), 596–611.

Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (M&T–Manuales y Tesis SEA, Vol. 1). CYTED, ORCYT-UNESCO y Sociedad Entomológica Aragonesa.

Muñoz-Pedreros, A. (2004). La evaluación del paisaje: Una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural, 77*(1), 139–156.

Oliver, J. E. (1980). Monthly precipitation distribution: A comparative index. *The Professional Geographer, 32*(3), 300–309.

Pielou, E. C. (1969). *An introduction to mathematical ecology*. Wiley-Interscience.

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., y Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (Agriculture Handbook No. 703). U.S. Department of Agriculture.

Saxton, K. E., y Rawls, W. J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America Journal, 70*(5), 1569–1578. https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117

Shannon, C. E., y Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press.

Shields, A. (1936). *Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung* (Mitteilungen der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Heft 26). Preußische Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau.

Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature, 163*(4148), 688. https://doi.org/10.1038/163688a0

Solari, F. A., y Cazorla, L. (2009). Valoración de la calidad y fragilidad visual del paisaje. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación, (30)*, 213–226. https://doi.org/10.18682/cdc.vi30.1519

Sutfin, N. A., Shaw, J. R., Wohl, E. E., y Cooper, D. J. (2014). A geomorphic classification of ephemeral channels in a mountainous, arid region, southwestern Arizona, USA. *Geomorphology, 221*, 164–175.

Sørensen, T. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Biologiske Skrifter, 5*(4), 1–34.

van Donkelaar, A., Hammer, M. S., Bindle, L., Brauer, M., Brook, J. R., Garay, M. J., Hsu, N. C., Kalashnikova, O. V., Kahn, R. A., Lee, C., Levy, R. C., Lyapustin, A., Sayer, A. M., y Martin, R. V. (2021). Monthly global estimates of fine particulate matter and their uncertainty. *Environmental Science & Technology, 55*(22), 15287–15300. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05309

Van Lynden, G. W. J., y Oldeman, L. R. (1997). *Assessment of the status of human-induced soil degradation in South and Southeast Asia (ASSOD)*. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), PNUMA y FAO.

Wischmeier, W. H., y Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning* (Agriculture Handbook No. 537). U.S. Department of Agriculture.

III. Fuentes oficiales, bases de datos y cartografía

Agencia Espacial Europea [ESA], Programa Copernicus. (s. f.). *Sentinel-5P / TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument)* [Plataforma satelital de observación de la Tierra]. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-5p

Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED]. (s. f.). *Atlas Nacional de Riesgos* [Plataforma de consulta]. https://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/

Comisión Federal de Electricidad [CFE]. (s. f.). *Regionalización sísmica de la República Mexicana* [Recurso institucional]. Comisión Federal de Electricidad.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (s. f.). *Servicio Meteorológico Nacional: Normales climatológicas* [Conjunto de datos]. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado

Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2007). *Protección, restauración y conservación de suelos forestales: Manual de obras y prácticas*. Comisión Nacional Forestal.

Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (s. f.). *Comisión Nacional Forestal* [Sitio institucional]. https://www.conafor.gob.mx/

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2016). *Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad* [Conjunto de datos geoespaciales]. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (s. f.). *Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad* [Plataforma de datos]. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL]. (2020). *Medición de la pobreza 2018-2020* [Informe]. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza_2020.aspx

Consejo Nacional de Población [CONAPO]. (2020). *Índices de marginación 2020* [Conjunto de datos]. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372

Global Biodiversity Information Facility [GBIF]. (s. f.). *GBIF: Infraestructura mundial de información en biodiversidad* [Plataforma de datos]. https://www.gbif.org/

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., y Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment, 202*, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

Grupo TRAGSA-TRAGSATEC. (1994). *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación / Mundi-Prensa.

Grupo TRAGSA. (1998). *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión* (2.ª ed.). Ministerio de Medio Ambiente / Mundi-Prensa.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (2013). *Índice de riesgo de deforestación (INE-IRDEF-2.0.1)* [Conjunto de datos geoespaciales]. http://www2.inecc.gob.mx/dgipea/serv_amb_riesgo_def.html

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (s. f.). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático* [Sitio institucional]. https://www.gob.mx/inecc

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2018). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México: SCIAN 2018*. INEGI.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), datos a noviembre de 2020* [Conjunto de datos]. https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (s. f.). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)* [Plataforma de consulta]. https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (s. f.). *Recursos cartográficos y estadísticos consultados (Continuo de Elevaciones Mexicano, Red Hidrográfica, cartas de uso del suelo y vegetación Serie VII, edafología y climas)* [Conjuntos de datos]. https://www.inegi.org.mx/

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe, Eds.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). *Base referencial mundial del recurso suelo* (Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

NASA Socioeconomic Data and Applications Center [SEDAC] y Atmospheric Composition Analysis Group [ACAG]. (s. f.). *Global Annual PM2.5 Grids from MODIS, MISR and SeaWiFS Aerosol Optical Depth* [Conjunto de datos]. https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/aqdh

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] y Colegio de Postgraduados. (2002). *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002*. SEMARNAT-Colegio de Postgraduados.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2017). *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Colima 2017-2021 (ProAire)* [Informe]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/300697/8_ProAire.Colima.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (s. f.). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales* [Sitio institucional]. https://www.gob.mx/semarnat

Servicio Geológico Mexicano [SGM]. (s. f.). *Cartas geológico-mineras* [Conjunto de datos]. https://www.sgm.gob.mx/