RESUMEN EJECUTIVO.

CONTENIDO

I. DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE Y DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL 8

I.1 Datos generales del Proyecto 8

I.1.1 Nombre del Proyecto 8

I.1.2 Ubicación del proyecto 8

II. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS O ACTIVIDADES Y, EN SU CASO, DE LOS PROGRAMAS O PLANES PARCIALES DE DESARROLLO 10

II.1 Información general del proyecto, plan o programa 10

II.1.1 Naturaleza del proyecto, plan o programa 10

II.1.3 Ubicación física y dimensiones del proyecto 11

II.1.3.1 Ubicación física del proyecto 11

II.2 Características particulares del proyecto, plan o programa 18

II.2.1 Programa de trabajo 18

II.2.2 Descripción de las obras y actividades 20

III. VINCULACIÓN CON LOS INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN Y ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES 41

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR) Y SEÑALAMIENTO DE TENDENCIAS DEL DESARROLLO Y DETERIORO DE LA REGIÓN. 42

IV.1 Delimitación y justificación del Sistema Ambiental Regional (SAR) y Área de influencia (AI) donde pretende establecerse el proyecto. 42

IV.1.1 Delimitación y justificación del Sistema Ambiental Regional (SAR) 42

IV.2. Caracterización y análisis retrospectivo de la calidad ambiental del SAR 43

IV.2.1. Medio abiótico 43

IV.2.1.1 Clima 43

IV.2.1.1.1 Caracterización climática del SAR 43

IV.2.1.1.2 Análisis retrospectivo del periodo de 1961-2019 (Basado en la estación 28111) 45

IV.2.1.1.3 Tendencias de Desarrollo y Deterioro Asociadas al Clima en el SAR . 46

IV.2.1.2 Fisiografía 47

IV.2.1.2.1 Caracterización Fisiográfica del SAR 47

IV.2.1.2.2 Tendencias de Desarrollo y Deterioro Asociadas a la Fisiografía 48

IV.2.1.3 Geomorfología y geología 49
IV.2.1.3.1 Caracterización Geomorfológica y Geológica del SAR 49
IV.2.1.3.2 Tendencias de Desarrollo y Deterioro Asociadas a la Geomorfología y Geología 50
IV.2.1.4 Edafología 51
IV.2.1.4.1 Caracterización edafológica del SAR 51
IV.2.1.4.2 Tendencias de desarrollo y deterioro del suelo en el SAR 52
IV.2.1.4.3 Condición del suelo en el predio y previsión de efectos del Proyecto. 54
IV.2.1.5 Hidrología 54
IV.2.1.5.1 Hidrología superficial 54
IV.2.1.6 Cambio Climático 65
IV.2.2 Medio biótico 67
IV.2.2.1 Uso de suelo y vegetación terrestre en SAR 67
IV.2.2.1.1 Tendencias de desarrollo y deterioro de la vegetación en el SAR 83
IV.2.2.2 Uso de suelo y vegetación terrestre en el Área del proyecto 86
V. IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES, ACUMULATIVOS Y RESIDUALES DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL. 90
V.1 Identificación de impactos 92
V.2 Caracterización de los impactos 93
V.2.1 Caracterización de impactos en la Etapa de Preparación del Sitio 93
V.2.2 Caracterización de impactos en la etapa de construcción 97
V.2.3 Caracterización de impactos en la etapa de operación y mantenimiento 100
V.3 Valoración de los impactos 106
V.3.1 Resultados 110
V.3.1.1 Preparación del Sitio 110
V.3.1.2 Construcción 116
VI. ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES, ACUMULATIVOS Y RESIDUALES DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL 122
VI.1 Descripción de las medidas de mitigación, prevención y compensación por etapa del proyecto e impacto ambiental 125

VI.1.1 Etapa de Preparación del Sitio 125
VI.1.2 Etapa de Construcción 128
VI.1.3 Etapa de Operación y Mantenimiento 132
VII. PRONÓSTICOS AMBIENTALES Y, EN SU CASO, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS 135
VII.1 Descripción y análisis del escenario sin proyecto 136
VII.2. Descripción y análisis del escenario con proyecto 138
VII.3. Descripción y análisis del escenario considerando las medidas de mitigación 141
VIII. IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS Y ELEMENTOS TÉCNICOS QUE SUSTENTAN LOS RESULTADOS DE LA MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL 144
VIII.1 Presentación de la información 144
VIII.1.1 Cartografía 145
VIII.1.2 Fotografías 145
VIII.1.3 Videos 145
VIII.1.4 Otros anexos 146
VIII.2 Glosario de términos 146
VIII.3 Bibliografía 149

FIGURAS

Figura 1. Plano topográfico de la Parcela 3. 13
Figura 2. Plano topográfico de la Parcela 6. 14
Figura 3. Plano topográfico de la Parcela 7. 14
Figura 4. Plano topográfico de la Parcela 8. 15
Figura 5. Representación gráfica de la ubicación de las superficies del proyecto. 17
Figura 6. Área que se solicita para cambio de uso de suelo en materia de impacto ambiental. 18
Figura 7. Representación gráfica de la caseta tipo. 21
Figura 8. Representación gráfica de la cimentación. 22
Figura 9. Representación gráfica de la nave industrial. 22
Figura 10. Perfil Monten Tipo "C". 22
Figura 11. Planta Paquete FAST® 28
Figura 12. Diagrama de Tratamiento. 29
Figura 13. Soporte Plástico del Módulo FAST® 31
Figura 14. Esquema conceptual para la definición del SAR considerando procesos ecológicos, hidrológicos y socioambientales relevantes. (Fuente: Guía para la Elaboración de la Manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad Regional, SEMARNAT, 2019). 43
Figura 15. Representación gráfica del tipo de clima en el SAR y AI. 44
Figura 16. Normales mensuales de temperatura (máx., min., media) y precipitación (SMN 28111). 45
Figura 17. Fisiografía del SAR – Ubicación del proyecto en la Llanura Costera del Golfo Norte. 48
Figura 18. Unidades geológicas del SAR y columna estratigráfica regional correspondiente al SAR. 50
Figura 19. Mapa edafológico del SAR, AI y localización del Proyecto. 52
Figura 20. Regiones Hidrológicas en el sistema ambiental. Carta Hidrológicas de Aguas Superficiales 1:250,000 Tampico F14 -3 -6. 56
Figura 21. Uso de Suelo y Vegetación tomado de la Serie VII de INEGI, Escala 1:250 000 del SAR. 69

Figura 22. a) *Leucaena leucocephala*; b) *Chloris barbata*; c) *Acacia farnisiana* y d) *Neptunia plena*. 88

Figura 23. e) *Heliotropium curassavicum*; f) *Nicotiana glauca*; g) *Cordia dentata*; h) *Acacia cornígera*; i) *Prosopis leavigata*; j) *Phragmites australis*; k) *Neltuma laevigata*; l) *Casuarina cunninghamiana*; m) *Parkinsonia aculeata*; y n) *Hamelia patens*. 89

TABLAS

Tabla 1. Cuadro de construcción de la Parcela 3. 9

Tabla 2. Cuadro de construcción de la Parcela 6. 9

Tabla 3. Cuadro de construcción de la Parcela 7. 9

Tabla 4. Cuadro de construcción de la Parcela 8. 9

Tabla 5. Cuadro de construcción de la Parcela 3. 12

Tabla 6. Cuadro de construcción de la Parcela 6. 12

Tabla 7. Cuadro de construcción de la Parcela 7. 13

Tabla 8. Cuadro de construcción de la Parcela 8. 13

Tabla 9. Resumen de las superficies por cada una de las obras y actividades que contempla el proyecto. 16

Tabla 10. Programa de Trabajo. 19

Tabla 11. Dimensiones del tipo de naves A y B. 21

Tabla 12. Calidad esperada en el agua afluente a la PTAR. 30

Tabla 13. Tipos de suelo y descripción general en el SAR. Fuente: Datos vectoriales INEGI Serie II. 51

Tabla 14. Desglose de los Usos de Suelo y Vegetación Serie VII de INEGI. 67

Tabla 15. Resumen de las tendencias de desarrollo y deterioro dentro del SAR. 86

Tabla 16. Impactos ambientales identificados en la Etapa de Preparación del Sitio. 95

Tabla 17. Impactos ambientales identificados en la Etapa de Construcción. 98

Tabla 18. Impactos ambientales identificados en la Etapa de Operación y Mantenimiento. 101

Tabla 19. Impactos ambientales identificados en la Etapa de Operación y Mantenimiento. 104

Tabla 20. Valoración cuantitativa para los impactos ambientales potenciales que pueden desarrollarse por el proyecto. 106

Tabla 21. Matriz de valoración cuantitativa para la etapa de Preparación del sitio. 110

Tabla 22. Matriz de valoración cuantitativa para la etapa de construcción. 116

Tabla 23. Medidas de mitigación, prevención y compensación para la etapa de preparación del sitio. 125

Tabla 24. Medidas de mitigación, prevención y compensación para la etapa de construcción. 128

Tabla 25. Medidas de mitigación, prevención y compensación para la etapa de operación y mantenimiento. 132

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

I.1 Datos generales del Proyecto

I.1.1 Nombre del Proyecto

"Proyecto Integral de Naves Industriales y Planta Desaladora ESEASA"

I.1.2 Ubicación del proyecto

El *"PROYECTO INTEGRAL DE NAVES INDUSTRIALES Y PLANTA DESALADORA ESEASA"* se localiza dentro de las instalaciones del **Patio Anáhuac** de ESEASA OFFSHORE, S.A. de C.V., un complejo industrial con ubicación estratégica en la **margen derecha del río Pánuco**, aproximadamente **14 km aguas arriba de su desembocadura en el Golfo de México**. Esta posición privilegiada convierte al predio en un nodo logístico natural que articula eficientemente las operaciones fluviales del Pánuco con la actividad marítima del corredor Tampico–Ciudad Madero, otorgando ventajas competitivas para la movilización, almacenamiento y transferencia de equipos y materiales vinculados al sector energético, portuario e industrial.

El Patio Anáhuac se ubica en **Carretera Federal 20 de noviembre km 18.7**, dentro del *Ejido Congregación Anáhuac*, municipio de Pueblo Viejo, Veracruz (C.P. 92035). Su localización garantiza una conectividad robusta tanto terrestre como fluvial: al norte inmediato, a tan solo **315 metros**, se encuentran instalaciones portuarias de ASIPONA y parte del tejido urbano conurbado de Tampico; al este, la Congregación Anáhuac se sitúa a **2.5 km**, formando parte de un corredor semiurbano que mantiene una interacción funcional con las actividades industriales de la ribera. La localidad más cercana es precisamente la Congregación Anáhuac, a **3.5 km del centro municipal**, lo que evidencia que el proyecto se inserta en un territorio ya transformado por actividades portuarias, industriales y de servicios, minimizando la presencia de ecosistemas sensibles dentro del área de intervención.

Las obras y actividades contempladas por el proyecto se desarrollarán específicamente en las **parcelas 3, 6, 7 y 8 del Patio Anáhuac**, las cuales presentan superficies de **93,719.00 m²**, **93,362.00 m²**, **93,033.00 m²** y **93,121.00 m²**, respectivamente. Estas parcelas forman parte de un polígono industrial previamente habilitado, con infraestructura existente, accesos controlados, seguridad perimetral y superficies niveladas —condiciones que favorecen la operación ordenada del proyecto y reducen significativamente los requerimientos de preparación del sitio.

Aunque la suma de las superficies de las parcelas asciende a **373,235.00 m²**, el conjunto de obras, edificaciones, patios de maniobra, plantas y almacenes que integran el proyecto ocupará un **desplante total de 317,993.62m²**, distribuido dentro de dichas parcelas conforme a criterios de funcionalidad operativa, logística y seguridad industrial. Esta distinción entre la superficie total del predio y el área efectiva de construcción permite mantener franjas de circulación, zonas de amortiguamiento y áreas de operación complementarias plenamente compatibles con la dinámica del Patio Anáhuac.

En síntesis, la ubicación del proyecto dentro del Patio Anáhuac representa un **entorno idóneo para actividades industriales y logísticas**, al estar inserto en un nodo regional consolidado, con conectividad fluvial y terrestre eficiente, infraestructura operativa existente y ausencia de elementos ambientales críticos en las áreas de obra. Esta localización asegura la viabilidad técnica, operativa y ambiental del proyecto, así como su compatibilidad con el desarrollo regional asociado al sistema portuario del Pánuco.

Tabla 1. Cuadro de construcción de la Parcela 3.

LADOS	RUMBOS	DISTANCIAS (m)	V.	(Y)	(X)
A – B	N 15°53'50" E	738.97	A°	2,456,874.407	613,965.367
B – C	N 73°10'06" W	123.26	B°	2,457,585.116	614,167.780
C – D	S 16°31'07" W	734.11	C°	2,457,620.806	614,049.804
D – A	S 71°05'15" E	131.39	D°	2,456,916.992	613,841.075
SUPERFICIE = 93,719.00 m² / 9-37-19.00 Has.					

Tabla 2. Cuadro de construcción de la Parcela 6.

LADOS	RUMBOS	DISTANCIAS (m)	V.	(Y)	(X)
A – B	N 14°53'05.89" E	757.61	A°	2,456,750.286	614,327.634
B – C	N 74°10'54.59" W	123.95	B°	2,457,482.471	614,522.247
C – D	S 14°51'44.38" W	750.92	C°	2,457,516.257	614,402.996
D – A	S 71°05'15.21" E	123.94	D°	2,456,790.457	614,210.386
SUPERFICIE = 93,362.00 m² / 9-33-62.00 Has.					

Tabla 3. Cuadro de construcción de la Parcela 7.

LADOS	RUMBOS	DISTANCIAS (m)	V.	(Y)	(X)
A – B	N 14°59'39.59" E	764.16	A°	2,456,710.796	614,442.892
B – C	N 74°10'53.46" W	123.01	B°	2,457,448.940	614,640.599
C – D	S 14°53'05.89" W	757.61	C°	2,457,482.471	614,522.247
D – A	S 71°05'15.63" E	121.84	D°	2,456,750.286	614,327.634
SUPERFICIE = 93,033.00 m² / 9-30-33.00 Has.					

Tabla 4. Cuadro de construcción de la Parcela 8.

LADOS	RUMBOS	DISTANCIAS (m)	V.	(Y)	(X)
A – B	N 14°59'14.86" E	770.73	A°	2,456,671.359	614,557.992
B – C	N 74°10'55.68" W	121.31	B°	2,457,415.875	614,757.310
C – D	S 14°59'39.59" W	764.16	C°	2,457,448.940	614,640.599
D – A	S 71°05'12.74" E	121.67	D°	2,456,710.796	614,442.892
SUPERFICIE = 93,121.00 m² / 9-31-21.00 Has.					

II. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS O ACTIVIDADES Y, EN SU CASO, DE LOS PROGRAMAS O PLANES PARCIALES DE DESARROLLO

II.1 Información general del proyecto, plan o programa

II.1.1 Naturaleza del proyecto, plan o programa

El *"PROYECTO INTEGRAL DE NAVES INDUSTRIALES Y PLANTA DESALADORA ESEASA"* constituye una intervención de carácter industrial, logístico y de servicios especializados diseñada para fortalecer la capacidad operativa del Patio Anáhuac, propiedad de **ESEASA OFFSHORE, S.A. DE C.V.**, empresa vinculada al sector energético, marítimo y de infraestructura costera. El proyecto se desarrollará dentro de un predio ubicado en la margen derecha del río Pánuco, en el municipio de Pueblo Viejo, Veracruz, zona estratégica donde confluyen actividades portuarias, energéticas y metalmecánicas que conforman uno de los corredores industriales más relevantes del Golfo de México.

La naturaleza del proyecto responde a la evolución operativa de ESEASA, empresa cuya actividad principal es la **fabricación y mantenimiento de embarcaciones,** la **construcción de estructuras marinas,** la **reparación de maquinaria pesada**, así como el **arrendamiento de áreas industriales para almacenamiento, resguardo, mantenimiento y manejo de equipos utilizados en operaciones costeras y offshore**. El Patio Anáhuac ha funcionado históricamente como un complejo de apoyo para actividades portuarias, astilleros y empresas del sector energético; por lo tanto, la expansión y consolidación de su infraestructura es coherente con el desarrollo industrial de la región y con las sinergias productivas de los municipios de Pueblo Viejo, Pánuco, Tampico y Ciudad Madero.

El proyecto contempla el aprovechamiento y adecuación de espacios vacantes dentro del predio, donde se construirán 39 componentes industriales, entre los que destacan naves industriales, patios de maniobras, talleres especializados, sistemas de bombeo, áreas de almacenamiento de tuberías y estructuras, así como almacenes de residuos peligrosos, casetas de control, áreas administrativas y vialidades internas. En conjunto, estas obras abarcan una superficie total de 317,993.62 m², distribuidas en las parcelas 3, 6, 7 y 8 del Patio Anáhuac, cuya infraestructura se integrará a las operaciones logísticas existentes bajo un esquema de seguridad industrial, eficiencia operativa y compatibilidad ambiental.

Entre los componentes de mayor relevancia se encuentra la **construcción de 18 bodegas industriales**. Estas naves estarán conformadas por estructuras metálicas tipo marco rígido, cubiertas con lámina galvanizada y diseñadas para resistir condiciones climáticas del litoral del Golfo. Su función será alojar actividades de fabricación, ensamble, mantenimiento y resguardo de equipos especializados. Cada bodega contará con su **patio de maniobras a cielo abierto**, construido en **concreto armado**, lo que permitirá el ingreso y operación segura de grúas, montacargas y equipo pesado.

Otro componente central del proyecto es la **Planta Desalinizadora**, la fuente de abastecimiento será el **río Pánuco**. El proyecto también incluye la instalación de una **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)**, cuyo objetivo será garantizar que todas las descargas generadas en el interior del complejo cumplan con la normativa aplicable antes de ser vertidas. Esto asegura que las operaciones industriales se desarrollen bajo un enfoque de sustentabilidad hídrica y protección ambiental, especialmente por la cercanía con el sistema estuarino del Pánuco.

De manera complementaria, el proyecto contempla un **punto de bombeo de combustible**, un **sistema de bombeo centrífugo, estacionamientos, vialidades internas, almacenes generales y de químicos, talleres de sandblast y pintura, casetas de acceso y control, patios de plumas y grúas**, así como **áreas industriales en renta** diseñadas para atender la demanda creciente de empresas vinculadas a operaciones marítimas y portuarias.

Finalmente, el proyecto requiere la **autorización de Cambio de Uso de Suelo en Áreas Forestales** para una superficie total de **108,263.68 m²** de **vegetación secundaria de selva baja caducifolia** ubicada principalmente en las parcelas 7 y 8. La remoción de esta vegetación se realizará de manera regulada, implementando medidas de mitigación, compensación y restauración ambiental conforme a la Ley.

En conjunto, la naturaleza del proyecto responde a una estrategia integral de fortalecimiento industrial y logístico, orientada a consolidar al Patio Anáhuac como un nodo operativo de alta capacidad dentro del corredor energético y portuario del Golfo de México.

II.1.3 Ubicación física y dimensiones del proyecto

II.1.3.1 Ubicación física del proyecto

El *"PROYECTO INTEGRAL DE NAVES INDUSTRIALES Y PLANTA DESALADORA ESEASA"* se localiza dentro de las instalaciones del **Patio Anáhuac** de ESEASA OFFSHORE, S.A. de C.V., un complejo industrial con ubicación estratégica en la **margen derecha del río Pánuco**, aproximadamente **14 km aguas arriba de su desembocadura en el Golfo de México**. Esta posición privilegiada convierte al predio en un nodo logístico natural que articula eficientemente las operaciones fluviales del Pánuco con la actividad marítima del corredor Tampico–Ciudad Madero, otorgando ventajas competitivas para la movilización, almacenamiento y transferencia de equipos y materiales vinculados al sector energético, portuario e industrial.

El Patio Anáhuac se ubica en **Carretera Federal 20 de noviembre km 18.7**, dentro del *Ejido Congregación Anáhuac*, municipio de Pueblo Viejo, Veracruz (C.P. 92035). Su localización garantiza una conectividad robusta tanto terrestre como fluvial: al norte inmediato, a tan solo **315 metros**, se encuentran instalaciones portuarias de ASIPONA y

parte del tejido urbano conurbado de Tampico; al este, la Congregación Anáhuac se sitúa a **2.5 km**, formando parte de un corredor semiurbano que mantiene una interacción funcional con las actividades industriales de la ribera. La localidad más cercana es precisamente la Congregación Anáhuac, a **3.5 km del centro municipal**, lo que evidencia que el proyecto se inserta en un territorio ya transformado por actividades portuarias, industriales y de servicios, minimizando la presencia de ecosistemas sensibles dentro del área de intervención.

Las obras y actividades contempladas por el proyecto se desarrollarán específicamente en las **parcelas 3, 6, 7 y 8 del Patio Anáhuac**, las cuales presentan superficies de **93,719.00 m²**, **93,362.00 m²**, **93,033.00 m²** y **93,121.00 m²**, respectivamente. Estas parcelas forman parte de un polígono industrial previamente habilitado, con infraestructura existente, accesos controlados, seguridad perimetral y superficies niveladas —condiciones que favorecen la operación ordenada del proyecto y reducen significativamente los requerimientos de preparación del sitio.

Aunque la suma de las superficies de las parcelas asciende a **373,235.00 m²**, el conjunto de obras, edificaciones, patios de maniobra, plantas y almacenes que integran el proyecto ocupará un **desplante total de 317,993.62 m²**, distribuido dentro de dichas parcelas conforme a criterios de funcionalidad operativa, logística y seguridad industrial. Esta distinción entre la superficie total del predio y el área efectiva de construcción permite mantener franjas de circulación, zonas de amortiguamiento y áreas de operación complementarias plenamente compatibles con la dinámica del Patio Anáhuac.

En síntesis, la ubicación del proyecto dentro del Patio Anáhuac representa un **entorno idóneo para actividades industriales y logísticas**, al estar inserto en un nodo regional consolidado, con conectividad fluvial y terrestre eficiente, infraestructura operativa existente y ausencia de elementos ambientales críticos en las áreas de obra. Esta localización asegura la viabilidad técnica, operativa y ambiental del proyecto, así como su compatibilidad con el desarrollo regional asociado al sistema portuario del Pánuco.

Tabla 5. Cuadro de construcción de la Parcela 3.

LADOS	RUMBOS	DISTANCIAS (m)	V.	(Y)	(X)
A – B	N 15°53'50'' E	738.97	A°	2,456,874.407	613,965.367
B – C	N 73°10'06'' W	123.26	B°	2,457,585.116	614,167.780
C – D	S 16°31'07'' W	734.11	C°	2,457,620.806	614,049.804
D – A	S 71°05'15'' E	131.39	D°	2,456,916.992	613,841.075
SUPERFICIE = 93,719.00 m² / 9-37-19.00 Has.					

Tabla 6. Cuadro de construcción de la Parcela 6.

LADOS	RUMBOS	DISTANCIAS (m)	V.	(Y)	(X)
A – B	N 14°53'05.89'' E	757.61	A°	2,456,750.286	614,327.634
B – C	N 74°10'54.59'' W	123.95	B°	2,457,482.471	614,522.247
C – D	S 14°51'44.38'' W	750.92	C°	2,457,516.257	614,402.996
D – A	S 71°05'15.21'' E	123.94	D°	2,456,790.457	614,210.386

SUPERFICIE = 93,362.00 m² / 9-33-62.00 Has.

Tabla 7. Cuadro de construcción de la Parcela 7.

LADOS	RUMBOS	DISTANCIAS (m)	V.	(Y)	(X)
A – B	N 14°59'39.59" E	764.16	A°	2,456,710.796	614,442.892
B – C	N 74°10'53.46" W	123.01	B°	2,457,448.940	614,640.599
C – D	S 14°53'05.89" W	757.61	C°	2,457,482.471	614,522.247
D – A	S 71°05'15.63" E	121.84	D°	2,456,750.286	614,327.634
SUPERFICIE = 93,033.00 m² / 9-30-33.00 Has.					

Tabla 8. Cuadro de construcción de la Parcela 8.

LADOS	RUMBOS	DISTANCIAS (m)	V.	(Y)	(X)
A – B	N 14°59'14.86" E	770.73	A°	2,456,671.359	614,557.992
B – C	N 74°10'55.68" W	121.31	B°	2,457,415.875	614,757.310
C – D	S 14°59'39.59" W	764.16	C°	2,457,448.940	614,640.599
D – A	S 71°05'12.74" E	121.67	D°	2,456,710.796	614,442.892
SUPERFICIE = 93,121.00 m² / 9-31-21.00 Has.					

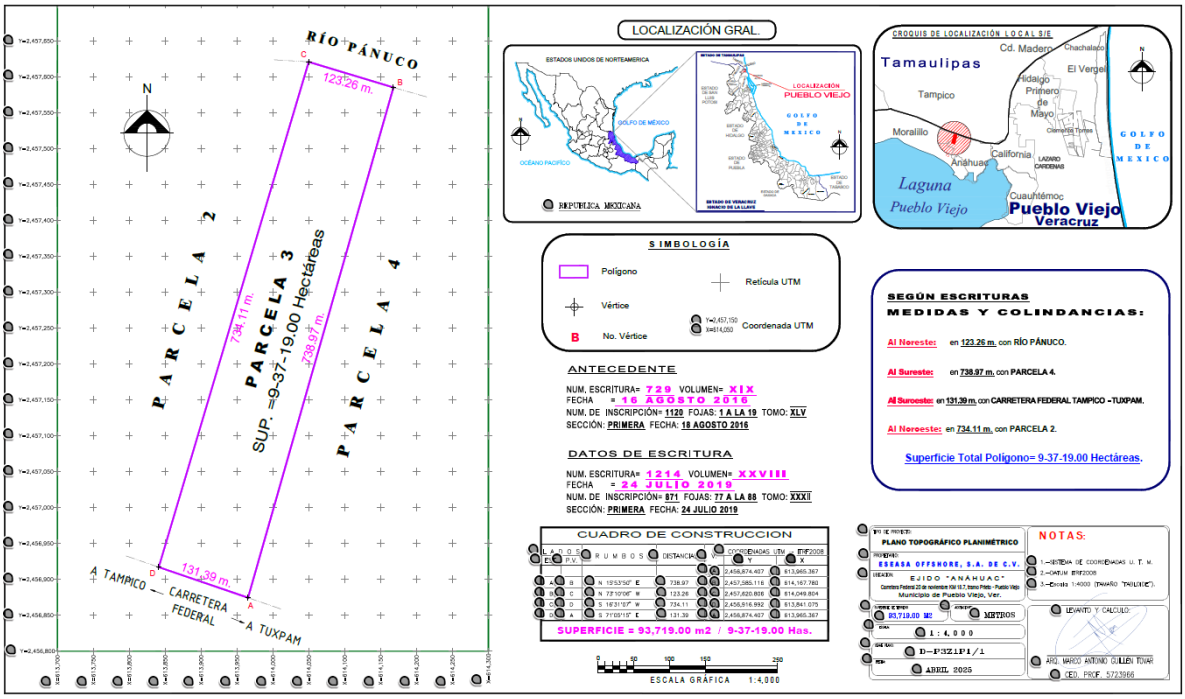


Figura 1. Plano topográfico de la Parcela 3.

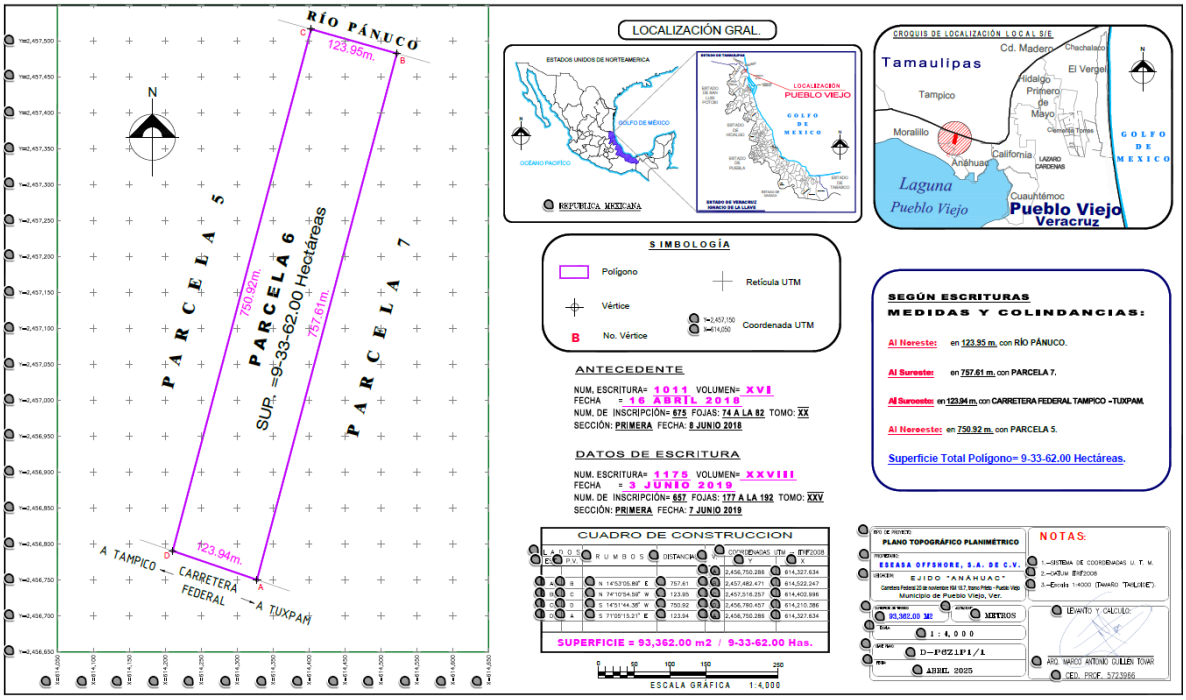


Figura 2. Plano topográfico de la Parcela 6.

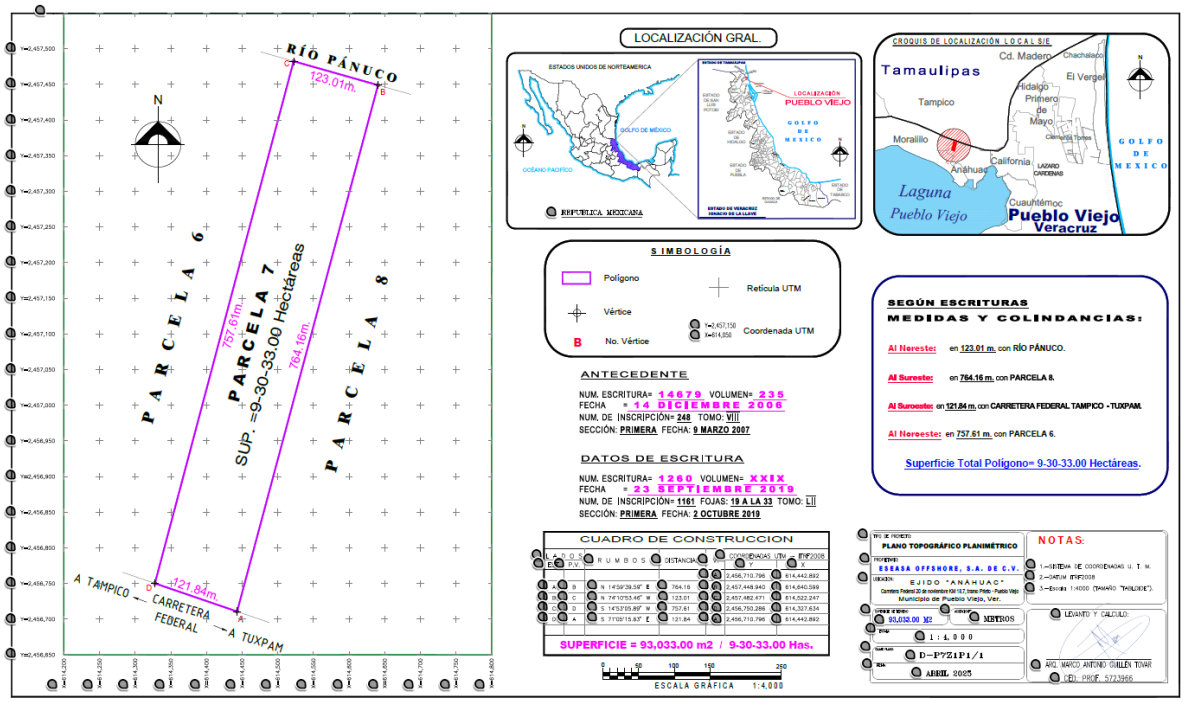


Figura 3. Plano topográfico de la Parcela 7.

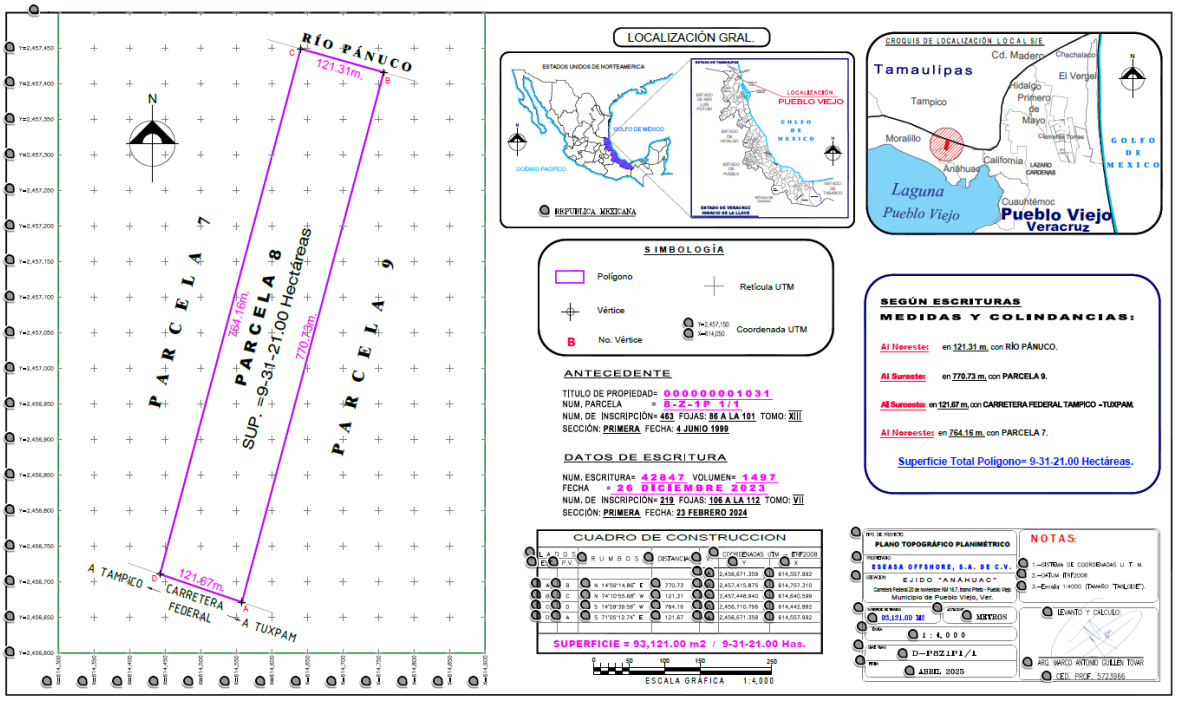


Figura 4. Plano topográfico de la Parcela 8.

II.1.3.2 Dimensiones del proyecto

Como se mencionó previamente las obras y actividades se desarrollarán específicamente en **las parcelas 3, 6, 7 y 8 del Patio Anáhuac**, las cuales cuentan con superficies de **93,719.00 m², 93,362.00 m², 93,033.00 m²** y **93,121.00 m²**, respectivamente. Estas parcelas conforman el **Área del Proyecto**, donde se llevarán a cabo las actividades de construcción, instalación, operación y mantenimiento de la infraestructura industrial. La superficie total de estas parcelas asciende a **373,235.00 m²,** sin embargo, **el área de desplante de las obras y actividades del proyecto —correspondientes a las 39 edificaciones e instalaciones— representa una superficie construida y operativa acumulada de 317, 993.62m²,** que se distribuye espacialmente dentro de dichas parcelas conforme a criterios de funcionalidad industrial, logística, seguridad operativa y eficiencia en el manejo de materiales y equipos.

El conjunto de obras contempla una amplia gama de **bodegas industriales de gran capacidad**, con superficies que van desde 1,396.08 m² hasta 18,676.82 m²; **almacenes especializados de estructuras, tuberías, químicos y residuos peligrosos**; áreas técnicas como el **taller de sandblast y pintura, patio de plumas y grúas, patio de maniobras** y múltiples zonas de almacenamiento destinadas a operaciones de soporte portuario. Asimismo, se integran instalaciones estratégicas como la **Planta Desalinizadora,** la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR),** el **Punto de Bombeo de Combustible**, **casetas de control, estacionamientos, vialidades internas** y **villas para**

personal. Cada una de estas obras contribuye a conformar un complejo industrial integral y completamente articulado, diseñado para optimizar las operaciones marítimas y terrestres vinculadas al sector energético y a la industria offshore.

Es relevante señalar que **una porción del Área del Proyecto —correspondiente a 108,263.68 m²— presenta vegetación secundaria de selva baja caducifolia**, por lo que el promovente somete a evaluación la **solicitud de Cambio de Uso de Suelo en Áreas Forestales en materia de impacto ambiental** cumplimiento estricto de la legislación vigente. Estas superficies serán sujetas al procedimiento correspondiente y a la implementación de medidas ambientales de prevención, mitigación, compensación y restauración, con el propósito de asegurar un desarrollo ordenado, responsable y plenamente compatible con la normativa ambiental.

Tabla 9. Resumen de las superficies por cada una de las obras y actividades que contempla el proyecto.

No.	CONCEPTO PROYECTO	ÁREA m²
1	Caseta	33.01
2	Almacén de Residuos Peligrosos	448.66
3	Bodega Industrial	7,738.77
4	Bodega Industrial	5,491.19
5	Bodega Industrial	5,965.36
6	Bodega Industrial	3,981.64
7	Bodega Industrial	2,607.20
8	Bodega Industrial	1,396.08
9	Bodega Industrial	1,500.79
10	Bodega Industrial	1,932.80
11	Planta desalinizadora	758.95
12	Punto de Bombeo combustible	8,508.43
13	Bodega Industrial	4,767.45
15	Caseta	22.80
16	Estacionamiento	2,896.35
17	Villas	909.81
18	Almacén	89.67
19	PTAR	335.99
20	Patio de plumas y grúas	13,172.51
21	Almacén General	13,628.32
22	Taller de Sandblast y pintura	1,058.15
23	Almacén de estructuras y tuberías	7,745.09
24	Almacén de estructuras y tuberías	4,993.83
25	Almacén de estructuras y tuberías	16,010.82
26	Almacén de químicos	2,583.66
27	Bomba Centrífuga	4,853.45

No.	CONCEPTO PROYECTO	ÁREA m²
28	Patio de maniobras	2,119.61
30	Almacén de Residuos Peligrosos	488.94
31	Bodega Industrial	15,535.38
32	Bodega Industrial	15,581.72
33	Área en Renta	15,591.54
34	Bodega Industrial	18,676.82
35	Bodega Industrial	18,328.12
36	Bodega Industrial	13,440.55
37	Bodega Industrial	13,826.90
38	Bodega Industrial	13,824.81
39	Bodega Industrial	13,822.72
40	Bodega Industrial	13,820.54
41	Vialidades	49505.19
	T O T A L	**317,993.62**

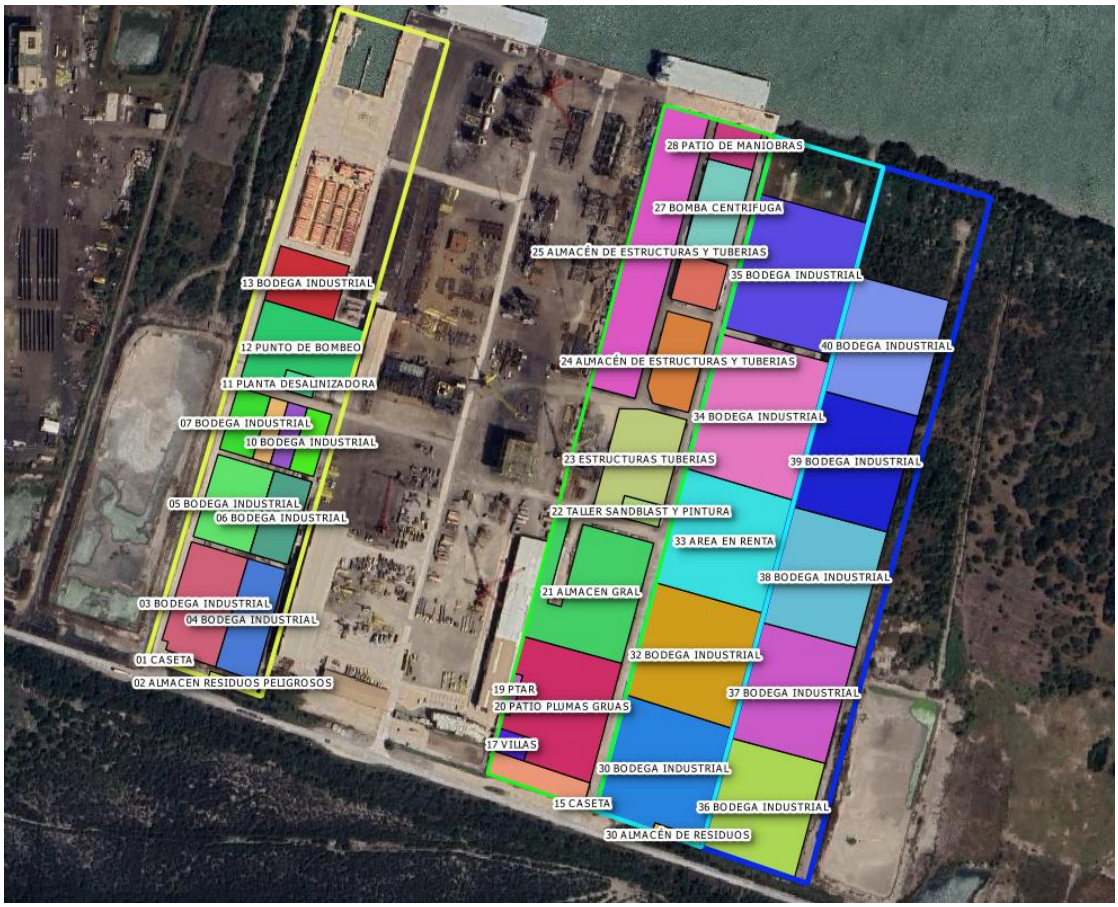


Figura 5. Representación gráfica de la ubicación de las superficies del proyecto.

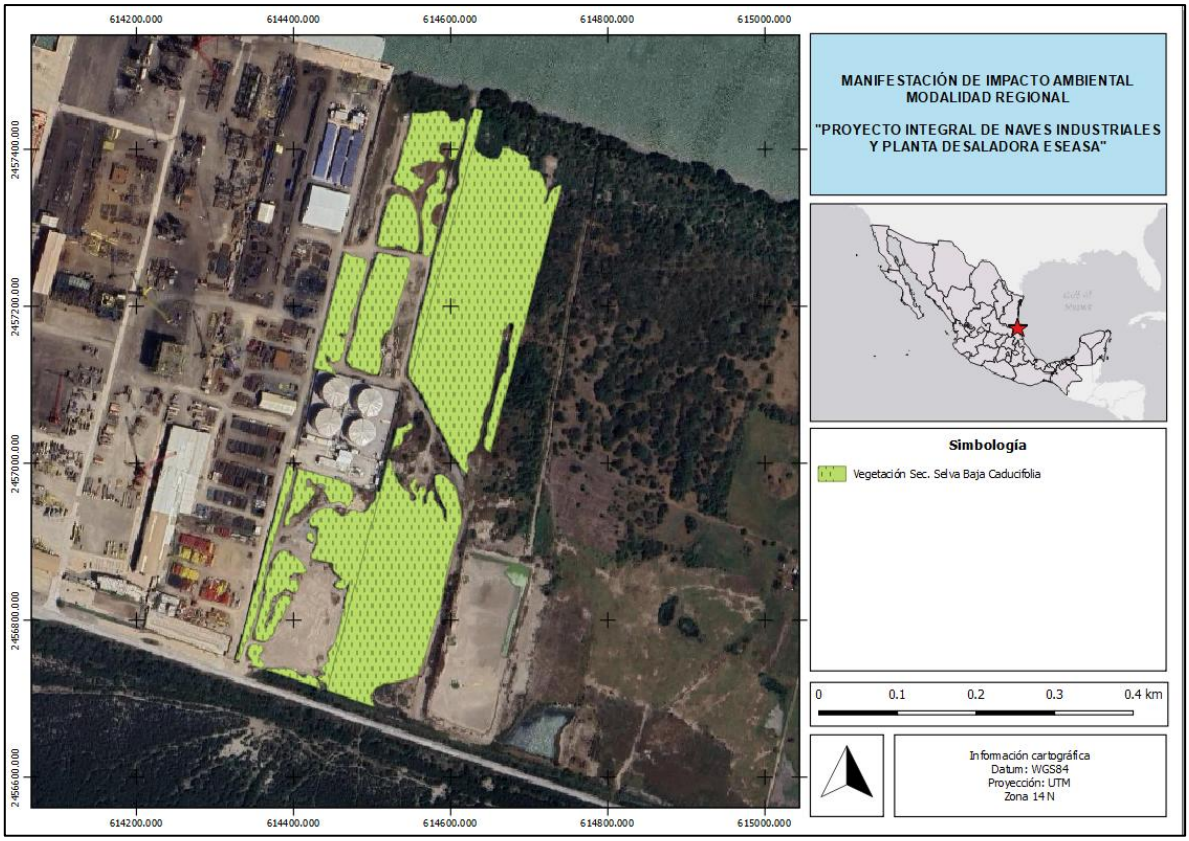


Figura 6. Área que se solicita para cambio de uso de suelo en materia de impacto ambiental.

II.2 Características particulares del proyecto, plan o programa

II.2.1 Programa de trabajo

La ejecución del *"PROYECTO INTEGRAL DE NAVES INDUSTRIALES Y PLANTA DESALADORA ESEASA"* se ha programado para desarrollarse a lo largo de **24 meses**, considerando la magnitud de las obras industriales, la secuencia constructiva requerida para la instalación de naves, talleres, vialidades, patios de maniobras, así como la construcción de la **planta desalinizadora** y la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)**.

De manera previa al inicio de obras, se contempla la gestión administrativa y ambiental del proyecto, incluyendo el cambio de uso de suelo en áreas forestales en materia de ambiental y posteriormente en materia forestal para una superficie de **108,263.68 m²** de vegetación secundaria de selva baja subcaducifolia localizada en las parcelas 7 y 8. La duración total de actividades se desglosa en ocho trimestres, lo cual permite una programación ordenada que integra:

- preparación del sitio y limpieza,

- construcción gradual de naves industriales, bodegas y almacenes,
- montaje de equipos mecánicos, eléctricos y de proceso,
- construcción y puesta en marcha de patios industriales,
- instalación y pruebas de operación de la planta desalinizadora y de la PTAR,
- urbanización final, vialidades y servicios exteriores.

Tabla 10. Programa de Trabajo.

Fase / Actividad	M1–M3	M4–M6	M7–M9	M10–M12	M13–M15	M16–M18	M19–M21	M22–M24
0. Trámites y autorizaciones								
1. Preparación del sitio y obras preliminares (incluye desmonte y despalme)								
2. Trazo, nivelación y limpieza autorizada								
3. Excavaciones y cimentaciones (todas las edificaciones)								
4. Estructuras (bodegas industriales, talleres, almacenes, casetas, villas)								
5. Muros, losas, firmes y obras civiles								
6. Cubiertas, fachadas y cerramientos								
7. Instalaciones generales (eléctrica, hidráulica, mecánica, contra incendio)								
8. Acabados, pintura, pisos, señalización interior								
9. Planta desalinizadora (obra civil, montaje, instrumentación, pruebas)								
10. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (obra civil, equipos, pruebas)								
11. Punto de bombeo de combustible y manifold								

Fase / Actividad	M1–M3	M4–M6	M7–M9	M10–M12	M13–M15	M16–M18	M19–M21	M22–M24
12. Bomba centrífuga e interconexiones operativas								
13. Vialidades internas, accesos y urbanización exterior								
14. Patios de maniobras, patios de plumas y grúas								
15. Áreas en renta y plataformas industriales								
16. Señalización, servicios exteriores y protección civil								
17. Pruebas generales de operación								
18. Puesta en marcha integral del proyecto								

Una vez concluidas las etapas de construcción y montaje, ***la operación de las obras y actividades tendrán un carácter continuo e indefinido***, con un horizonte de vida útil superior a ***30 años***, siempre que se ejecuten los programas de mantenimiento preventivo y correctivo establecidos por el promovente.

II.2.2 Descripción de las obras y actividades

Caseta de control de acceso. (1 y 15)

Se prevé una edificación de forma rectangular adyacente a la entrada del predio y que tiene por objeto regular el control de acceso, tanto peatonal como vehicular. El espacio se prevé de 3.50 metros de ancho por 6.30 metros de largo y 3.20 metros de alto. Estará construida sobre una plataforma de concreto reforzada con acero, con un grosor de 15 centímetros. La edificación está dividida en dos: área de vigilancia y sanitario.

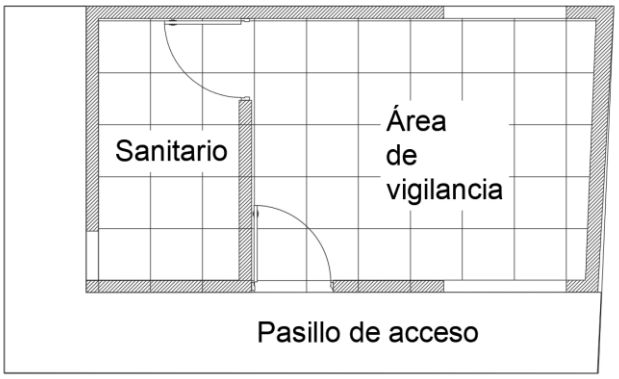


Figura 7. Representación gráfica de la caseta tipo.

Bodega Industrial (3,4,5,6,7,8,9,10,13,31,32,34,35,36,37,38,39,40)

Debido a la necesidad de generar espacios de trabajo, mantenimiento y resguardo para las actividades de construcción, instalación, operación, mantenimiento de maquinaría y refacciones, es necesario la implementación de naves industriales en donde se puedan llevar dichas actividades de manera segura, delimitada y a resguardo de la intemperie, así como espacio de maniobras o patios.

Las naves industriales serán estructuras metálicas de forma rectangular a base de marcos rígidos fabricados a base de secciones de acero tipo "I". Habrá dos tipos de naves, las Tipo A con una longitud de 50.00 metros por 18.00 metros de ancho, generando un área 900 m². Habrá 4 espacios con este tipo de Nave Tipo A siendo estos los espacios 7, 8, 9 y 10, sumando una parea total de 3,600.00 m² Esta estructura tendrá 2 ejes en el sentido longitudinal y 6 ejes en el sentido transversal con una distancia equidistante, generando un sistema de 12 columnas. Las naves Tipo B contarán con una longitud de 70.00 metros por 30.00 metros de ancho, generando un área de 1,200 m². Habrá 14 espacios con este tipo de Nave Tipo B siendo estos los espacios 3, 4, 5, 6, 13, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 42 sumando una parea total de 29,400.00 m².

Tabla 11. Dimensiones del tipo de naves A y B.

NAVE	Dimensiones (m)	Área por Nave	No. de Naves	Área total
TIPO A	18.00 X 50.00	900.00	4	3,600.00
TIPO B	30.00 X 70.00	1,200.00	14	29,400.00

Estas naves contarán con una cimentación superficial a base de zapatas de cimentación aisladas cuadradas de 1.50 X 1.50 metros, con una profundidad de 1.20 metros bajo en nivel de terreno. La base de la zapata estará hecha a base de varias # 4 @ 25 centímetros, en ambos sentidos, con un grosor de 20 centímetros. El dado de la cimentación será de 65 por 65 cm., conformado por 12 varillas del # 8, y 3 estribos del # 4 @ 20 centímetros. El

dado tendrá 8 anclas para sujeción de una placa base metálica en la parte superior. El dado tendrá una extensión de 1.20 metros de altura por encima del nivel de piso terminado.

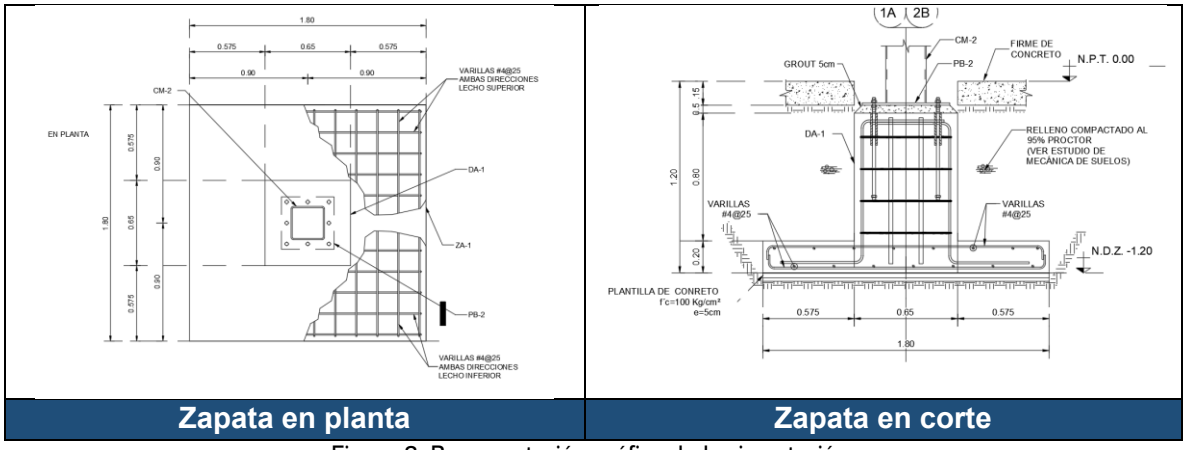


Figura 8. Representación gráfica de la cimentación.


Figura 9. Representación gráfica de la nave industrial.

La estructura superior será a base de armaduras de ángulos estructurales en el sentido trasversal. En el sentido longitudinal se colocarán perfiles de acero estructural tipo Monten tipo "C" y cubierto con lámina galvanizada.


Figura 10. Perfil Monten Tipo "C".

Patio de maniobras: La parte del patio de maniobras será una plancha de concreto con un refuerzo de acero con varilla del #4 @ 25 centímetros, con un espesor de 30 centímetros con concreto estructural con una resistencia de F'c=450 Kg/cm².

De manera particular, **la Bodega Industrial 6 incluirá un área especializada para inspección, limpieza y preparación integral de tuberías**, conocida como *patio de lavado*, cuyo diseño obedece a estándares operativos del sector y a criterios ambientales que aseguran su funcionamiento sin impactos adversos en el entorno.

Este patio contará con una zona cubierta destinada a proteger las actividades de las condiciones ambientales, asegurando que la inspección visual de tuberías y conectores se realice bajo iluminación adecuada para revisar diámetro interior y exterior, roscas, uniones y posibles imperfecciones. Asimismo, dispondrá de capacidad técnica para cargar y descargar tuberías desde ambos extremos de los racks de inspección, y para realizar la rotación completa de las mismas durante el proceso de lavado a presión.

La infraestructura permitirá ejecutar **procedimientos operativos específicos**, que incluyen:

- Retiro, limpieza y secado de protectores de roscas.
- Limpieza y secado de conectores.
- Inspección visual detallada desde ambos extremos para la detección de daños o defectos.
- Conteo, marcado y registro de tuberías para control operativo.
- Aplicación de compuesto de funcionamiento o almacenamiento en conectores, según el destino del equipo.

El proceso de **lavado y limpieza** se realizará mediante equipos de presión diseñados para garantizar la remoción de sedimentos, aceites o compuestos residuales. Posteriormente, las tuberías podrán someterse a secado por soplado desde ambos extremos, lo que asegura que queden en condiciones óptimas para su uso, transporte o almacenamiento.

Manejo ambiental del patio de lavado: Toda el agua residual generada en las operaciones de lavado será gestionada exclusivamente por **prestadores de servicios autorizados**, en estricto cumplimiento de la normativa ambiental aplicable. Esto significa que no se efectuarán descargas en el sitio ni hacia cuerpos de agua, suelo o sistema pluvial, garantizando el cumplimiento de la normatividad vigente y evitando cualquier riesgo de contaminación.

Asimismo, la instalación del patio de lavado dentro de la Bodega 6 se realizará en un área sin vegetación nativa ni fauna silvestre, por lo que no se generan afectaciones ambientales

directas. La implementación de medidas de manejo y control permitirá asegurar que las actividades se desarrollen de manera responsable y con un enfoque preventivo.

Almacén de residuos peligrosos y de manejo especial (2 y 30)

La obra correspondiente al **Almacén Temporal de Residuos Peligrosos y de Manejo Especial (RME)** forma parte de la infraestructura requerida para el adecuado almacenamiento, segregación y manejo seguro de los residuos generados en las actividades operativas, de mantenimiento, servicios portuarios y fabricación dentro del Patio Anáhuac de ESEASA Offshore, S.A. de C.V.

Su diseño atiende estrictamente la **NOM-052-SEMARNAT-2005, NOM-087-SEMARNAT-2002, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR),** así como los principios de contención, impermeabilización y control de derrames que garantizan la **no liberación de contaminantes al suelo, aire o agua**.

1. Características constructivas del almacén (obra civil)

El almacén se compone de una **nave cerrada**, con dimensiones aproximadas de **150 m²** (30 m × 5 m), construida con materiales resistentes a la corrosión y compatibles con el almacenamiento de sustancias peligrosas:

Muros

- Muros de **mampostería (block 15 × 20 × 40 cm)** con mortero cemento-arena.
- Altura máxima: **5.0 m**.
- Incluye **castillos y cadena de cerramiento** conforme al cálculo estructural.
- Acabado interior apto para lavado y desinfección.

Cubierta

- Techumbre de **lámina galvanizada** con viguería metálica.
- Pendiente adecuada para conducción pluvial fuera del área de almacenamiento.

Pisos

- **Firme de concreto armado 250 kg/cm²,** con:
- Malla electrosoldada **66–66–2.5**.
- Acabado liso semipulido.
- **Pendiente hacia la zona de contención** (fosa de captación).

Divisiones internas

- El almacén se encuentra **seccionado internamente**, permitiendo alojar residuos incompatibles según sus códigos de peligrosidad (C, R, E, T, etc.).

Iluminación y ventilación

- **Iluminación natural** mediante tragaluces y ventilas.
- **Ventilación natural cruzada**, suficiente para evitar acumulación de vapores.

Condición

- Instalación **totalmente techada** (cubierta).
- Área **dividida**, evitando mezclas entre residuos incompatibles.

2. Sistema de contención y control de derrames

El diseño incorpora elementos que **evitan la liberación de residuos al ambiente**, alineado con criterios de ingeniería preventiva:

Fosa de captación

- Ubicada en la parte frontal interior del almacén.
- Dimensiones operativas: **0.40 m de ancho × 0.40 m de profundidad**, longitud acorde al diseño.
- **Capacidad de 0.512 m³** para captación de líquidos.
- Construida en **concreto armado 250 kg/cm².**
- Recubierta con **rejilla metálica** para permitir tránsito seguro.
- Conducción por gravedad hacia la fosa con **pendiente del 0.36%.**

Aislamiento del exterior

- **No existen conexiones hacia drenajes exteriores,** evitando descargas no controladas.
- Sin válvulas de expansión o aberturas que permitan salida de líquidos.

Contención primaria

- Los residuos se almacenan **en su envase original**, debidamente cerrado, etiquetado y en contenedores secundarios según tipo:
- Tambos metálicos, super sacos, contenedores plásticos, garrafas o contenedores metálicos de 28 m³.

Control de emisiones al aire

- El almacén opera como área **cerrada pero ventilada naturalmente**.
- No se generan emisiones a la atmósfera, ya que los residuos no se manipulan ni transfieren dentro del área.
- Las cajas de recortes y contenedores se mantienen sellados.

Seguridad contra incendios

- Se instalan **extintores de 9 kg**, tipo ABC, distribuidos conforme al código aplicable.
- Salidas de emergencia libres y accesibles.

3. Compatibilidad ambiental y estructural

El almacén fue diseñado para:

- Evitar filtraciones al suelo gracias a su piso reforzado.
- Mantener ordenada la separación de residuos peligrosos y de manejo especial.
- Garantizar seguridad para el personal y el ambiente.
- Minimizar riesgos en caso de derrames, fugas o incendios.

Este diseño es totalmente compatible con la **operación del Patio Anáhuac**, ya que los residuos se concentran temporalmente para ser enviados a **gestores autorizados**, evitando su dispersión en las áreas operativas. Se adjunta un **Anexo** que contiene la lista de los residuos que se almacenaran temporalmente.

Estacionamientos, patio de plumas y grúas, almacén de estructuras y tuberías y patio de maniobras (16,20,23,24,25, y 28)

Por el tipo de actividad, estos espacios son sitios a cielo abierto y todo lo que requiere es una plancha de concreto reforzado con varillas de acero. Serán lugares delimitados por una cerca de malla ciclónica con accesos controlados.

Punto de bombeo de combustible (12)

El proyecto contempla la **instalación de un punto de bombeo de combustible**, cuyo propósito es **únicamente transferir combustible desde los autotanques del proveedor autorizado hacia las embarcaciones que operan en las dársenas del Patio Anáhuac de ESEASA Offshore.** Es importante precisar que **este punto de bombeo no constituye una estación de servicio ni una gasolinera,** ya que **no habrá almacenamiento permanente, temporal ni transitorio de combustibles en el sitio.**

La operación se realizará mediante un **manifold de conexión** especialmente diseñado para recibir a los vehículos del proveedor de combustible (autorizado conforme a la normatividad aplicable y con permisos vigentes). Dichos vehículos ingresarán al área designada y, a través de un sistema de acoplamiento seguro:

1. **Se conectarán directamente al manifold**,
2. **Se activará el bombeo hacia la tubería confinada**, y
3. **El combustible será transferido directamente a las embarcaciones** que se encuentren en turno, siguiendo un procedimiento de carga controlada.

Este proceso implica una **operación en carrusel**, en la cual solo se atiende una embarcación a la vez, garantizando orden, trazabilidad y seguridad operativa.

Ausencia de riesgos asociados al almacenamiento: Al no existir tanques, depósitos, cisternas ni ningún tipo de infraestructura destinada a **guardar combustible**, los riesgos inherentes al almacenamiento —tales como derrames prolongados, infiltraciones, vapores acumulados o incendios por volumen retenido— **no están presentes en este proyecto**.

La infraestructura consiste únicamente en:

- **Tubería de conducción** diseñada para transferencia inmediata.
- **Manifold metálico** protegido y con puntos de acople estandarizados.
- **Accesorios de seguridad** (válvulas check, conexiones herméticas, sistema de puesta a tierra del autotanque).
- **Superficie nivelada y compactada,** facilitando la maniobrabilidad de los vehículos del proveedor.

Control y seguridad operativa

El sistema cumple las siguientes condiciones que minimizan los riesgos:

- **Todo el combustible permanece dentro del autotanque del proveedor**, hasta el momento exacto de su transferencia a las embarcaciones.
- **No hay acumulación ni almacenamiento previo**, por lo que el combustible permanece únicamente el tiempo requerido para su trasiego.
- **Los autotanques cuentan con permisos, bitácoras y medidas de seguridad propias**, conforme a la regulación aplicable.
- **La operación se realiza en zona abierta y ventilada**, evitando acumulación de vapores.
- **El personal operativo del proveedor ejecuta la maniobra**, reduciendo riesgos por manipulación inapropiada.

Dado que **no existe almacenamiento** y la actividad se limita a la **transferencia directa, controlada y segura**, el punto de bombeo **no se clasifica como estación de servicio, gasolinera, planta de combustibles o instalación de riesgo mayor**, sino como una **infraestructura auxiliar de trasiego puntual**, con riesgos muy bajos y completamente manejables.

Villas -Área de oficinas y estancia de clientes- (17)

Derivado de las diferentes actividades de los servicios offshore y la atención a clientes se construirá un área de villas, las cuales contarán con sala de reunión, área de Gimnasio, Cuartos de, diseñado para hospedar personal que requiera estar pendiente cerca de las actividades que se requieren. En esta sección también contará con un área para cocina, donde se preparan los alimentos para el personal que tiene autorizado el comedor. Por fuera de esta cocina será instalado un tanque de gas con capacidad de 500 litros.

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR (19)

La empresa instalará una Planta de tratamiento de agua residuales de la marca Biomicrobics Inc., modelo MicroFAST 9.0 con una capacidad media de 9,000 GPD (34 m3/d). Este sistema está instalado dentro de un tanque prefabricado de acero al carbón A36, ¼ espesor divido en las siguientes secciones: Tanque de sedimentación, cribado, tanque de tratamiento con tecnología FAST® y desinfección.

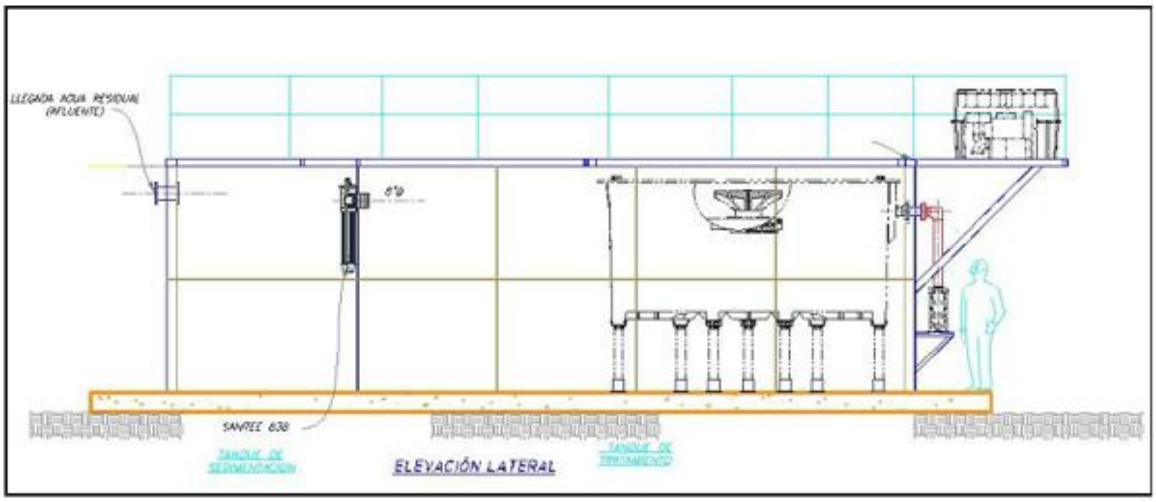


Figura 11. Planta Paquete FAST®

El sistema utilizará bacterias naturales (Biomasa) para tratar las aguas residuales y dispersarlas en el medio ambiente. Este proceso continuo proporcionará a la biomasa alimento (residuos) y aire en un entorno adecuado. Las bacterias muertas y los residuos no biodegradables se depositan y acumulan en el fondo del tanque para su eliminación periódica.

El conjunto FAST constará de dos componentes: el módulo de tratamiento y el soplador. El soplador suministrará aire al sistema a través del tubo de suministro de aire. El tubo de suministro de aire y el tubo de aspiración crean una corriente de aire que mezcla el oxígeno y los residuos en todo el medio del depósito. Las bacterias, ayudadas por el aire del puente aéreo, crece en el medio y digieren los residuos. Por último, un tubo de ventilación expulsará los vapores creados por el proceso.

Descripción del proceso

Pretratamiento: Cárcamo de recepción (bombeo de agua residual)

El proceso comienza con la llegada del agua afluente (agua residual de origen sanitario y de cocina) a un cárcamo de recepción, construido en concreto con capacidad de 6 m3, cuyo objetivo es de mantener un volumen de agua suficiente para alimentar a la PTAR.

En este registro son separados los sólidos, basuras y objetos presentes que puedan dañar la instalación de la PTAR o los equipos, una vez que alcanza el registro nivel de operación, con sensores de nivel en él, el agua es bombeada a la siguiente etapa de tratamiento.

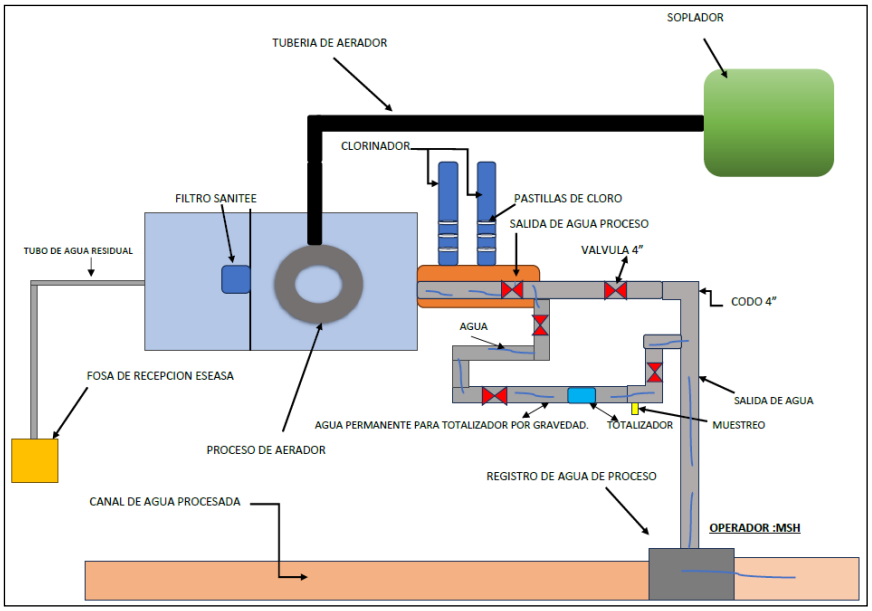


Figura 12. Diagrama de Tratamiento.

Tratamiento primario

Tanque de sedimentación: El objetivo de esta etapa es eliminar una porción de los sólidos suspendidos. Para ello, el agua queda retenida durante 1 a 2 horas en la cámara de sedimentación primaria con capacidad de 30 m^3, en la tabla 1, se identifican las características mínimas del agua de ingreso a esta etapa.

Tabla 12. Calidad esperada en el agua afluente a la PTAR.

PARAMETRO	UNIDADES	CONCENTRACIÓN
pH	Unidades pH	7-8
Temperatura	°C	20 a 30
Grasas y Aceites	mg/L	13
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	200
Carbono Orgánico Total	mg/L	97
Nitrógeno Total	mg/L	180
Fósforo Total	mg/L	13
Escherichia Coli	NPM/100 ml	1100
Enterococos Fecales	NPM/100 ml	1100

En plantas de tratamiento de aguas residuales, también es posible añadir sustancias químicas durante este proceso, como coagulantes y floculantes, para mejorar la sedimentación de los sólidos y eliminar fósforo. En determinados casos se suelen emplear sustancias básicas o ácidas para neutralizar el pH del agua. Si se requiere añadir sustancias químicas es importante consultar con el proveedor de servicio.

Cribado

El agua pre-tratada en el tanque de sedimentación pasa a través de un equipo de cribado de limpieza manual fabricado en polietileno alta densidad llamado SaniTEE®. Este equipo de muy bajo mantenimiento permite eliminar sólidos que no fueron destruidos en el pretratamiento. El equipo se instala al paso del tanque de sedimentación al tanque séptico, donde se aloja el sistema Modular FAST®.

Tratamiento secundario

Tanque de tratamiento modulo fast®

Debido a la amplia variedad de organismos en la alimentación de aguas residuales, es posible la formación de una variedad de organismos denominada biomasa, lodo activado o cultivo mixto. Varios procesos biológicos y operaciones físicas tienen lugar en la zona de tratamiento secundario o zona del sistema FAST®: El oxígeno y los alimentos más la circulación del fluido, permiten que las células bacterianas se desarrollen y se adhieran a los medios fijos. En el proceso, una colonia de bacterias descompone los residuos biodegradables en bióxido de carbono y agua. El proceso ocurre de manera continua siempre y cuando la biomasa se le suministre alimento (residuos de entrada) y oxigeno (aire) en un medio ambiente adecuado.

Los lechos fijos donde se desarrollan las bacterias tienen una forma tipo panal de abejas o laberinto y son el corazón del proceso (soporte plástico), los lechos fijos son módulos de polipropileno de alta densidad no degradables e inertes al proceso y están suspendidos en el interior del tanque séptico. La biomasa o lodo activado, se fija de manera natural al módulo formando y madurando una gran colonia de bacterias que fomentan la trasformación de la materia orgánica (medida como DBO5) y de nutrientes, con la ventaja de que cuando la carga orgánica disminuye, las bacterias realizan una selección natural permitiendo tener organismos fuertes y maduros agresivos a nuevas cargas orgánicas (Descargas Residuales Intermitentes).

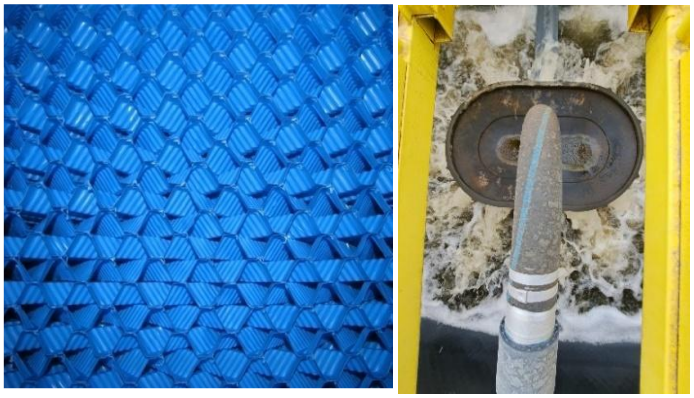


Figura 13. Soporte Plástico del Módulo FAST®

En el centro del lecho fijo se aloja el sistema de inyección de aire (Air Lift) el cual logra con la ayuda de aire elevación por vació del agua residual.

Se incluye un tramo de tubo acero inoxidable por módulo, que sirve de inyección de aire, con un niple roscado NPT en el extremo donde se conectará una manguera de caucho que servirá como junta de amortiguamiento.

El módulo opera con un soplador tipo regenerativo, este soplador está completamente ensamblado, con filtro de entrada de aire y viene montado sobre una cubierta de polipropileno que evita su corrosión por el medio ambiente.

Importante. A medida que sedimentos no biodegradados se acumulen, estos se desprenden de los medios y se acumulan en el fondo del tanque y entonces, cuando la cantidad de residuos no degradados y bacterias muertas pudiera obstruir la entrada del agua residual al módulo, deberá ser purgado o retirado el residuo acumulado. Considerar por lo menos una vez al año.

Cloración

El efluente del reactor pasará por un dispensador de tabletas de cloro (cloro concentrado estabilizado) véase figura 4. el objetivo de la adición de cloro consiste en evitar el desarrollo bacteriano en el tanque de agua producto, en caso de que su permanencia en éste sea

prolongada. el efluente del sistema se verterá en una cisterna para su posterior uso y/o al canal de agua procesada.

Medición del agua tratada

El agua tratada queda registrada a través de un medidor de caudal (caudalímetro), ubicado posterior al efluente del sistema de cloración véase figura 4. Se deberá llevar el registro de lectura del agua procesada en el formato **F-N4-IO-MIC-001-01** (lecturas agua procesada PTAR).



Figura. Dispensador de Cloro y Medidor de Caudal

Calidad del agua tratada: El agua tratada de esta planta cumplirá con los límites establecidos en las normas ambientales mexicanas que son de cumplimiento obligatorio.

Almacén General (21)

Se ubicará dentro de nave estructural el almacén general de materiales de ESEASA OFFSHORE, donde ingresará lo que no puede estar a la intemperie y cuenta con un área abierta para almacenamiento de placas, tuberías, y materiales de gran dimensión.

Taller de Sandblast y pintura (22)

El sandblast se realizará con abrasivo que se recolecta y se dispone como residuo de manejo especial, de acuerdo a su CRETI. En el caso de los residuos y materiales impregnados con pintura, estos se recolectarán, se identificarán, se contienen en recipientes apropiados, se almacenan en los almacenes temporales de residuos peligrosos y a través de empresas autorizadas, se recolectan y transportan a destino final.

El sandblast, también conocido como arenado o chorreado abrasivo, es una técnica que utiliza aire comprimido para lanzar partículas abrasivas (como arena, óxido de aluminio, etc.) a alta velocidad sobre una superficie. Su principal propósito es limpiar, desoxidar o preparar superficies metálicas u otras para después aplicar un recubrimiento, pintura u otro

tratamiento. También se usa para dar acabados o remover pintura y graffiti de otras superficies como madera, piedra o concreto

Almacén de químicos (26)

Secciones de arriendo que serán para clientes schlumberger, donde se le rentará el espacio, renta de Frac tank, renta de área operativa y de almacén para sustancias químicas.

Bomba centrífuga (27)

La planta de fluidos contará con Presas de Mezcla con capacidad total de 480 m³ debidamente techadas con estructura metálica y lámina, equipadas con un set de agitadores mecánicos y eléctricos, embudos para mezclado de materiales.

Se generará aproximadamente 48,708.4 kwh por mes de electricidad por medio de generadores a base de diésel. La instalación eléctrica de la planta de fluidos está diseñada por sectores y es independiente del resto de la instalación; contará con un cuarto de control de máquinas, con tableros sectorizados por recipientes, motores del sistema de bombeo y agitación, iluminación y equipos auxiliares. Cuenta con protecciones contra descargas atmosféricas, y corte rápido sectorizado por incremento térmico de carga. Los tableros de control y transformador principal se encuentran protegidos bajo la política de distribución segura descrita anteriormente.

Área en renta (33)

En esta área Arrendada a ERGON se realizará la construcción de una planta de almacenamiento, distribución de materiales.

Planta Desalinizadora (11)

El proyecto motivo de la presente Manifestación de Impacto Ambiental, consiste en Planta Desalinizadora para tratamiento de agua con una capacidad de producción diaria de 500 m^3 proceso de ultrafiltración para toma abierta y membranas de ósmosis inversa involucra lo siguiente: Un módulo de ósmosis inversa con una capacidad total de 500 m3/día junto con todos sus componentes que operará aprovechando el agua salobre del Río Pánuco y el mismo como cuerpo receptor del agua de rechazo.

La planta desalinizadora es un paquete que integra todos los elementos de procesamiento del agua del río, que se instalará sobre la placa de concreto y sus soportes y se instalara el arreglo de tuberías desde el río hasta conectar todas las partes relacionadas, como el tanque de recepción de agua del río, los sistemas de ultrafiltración, el paquete de ósmosis inversa y el tanque de almacenamiento del agua permeada, así como todo el sistema eléctrico correspondiente, a continuación se describen los equipos más importantes y sus características.

Descripción de la planta:

La planta posee las siguientes características:

1. **Tanque de recepción agua cruda del Río:** capacidad 50 m^3
   Control del nivel del tanque, Monitoreo continuo del Nivel de Agua en Tanques.
2. **Control de Nivel de Tanques de agua cruda Marca**: Endress Hauser o equivalente
   Puerto de comunicación: 4-20 mA no aislado Tipo: Transmisor de nivel por radar
3. **Monitor de turbidez en línea (NTU)**, Este módulo de monitoreo de turbidez utiliza un sensor altamente específico para medir la concentración en el agua. Este sistema le permitirá monitorear los niveles mínimos y máximos de NTU en el agua.
   Rango: 0 a 1.000 NTU, con Pantalla LCD
   Producción: 4-20 mA no aislado Marca: Monte rosa
   Modelo: Serie Clarity II Tipo: Sistema de doble sonda Solicitud: Filtración previa/filtrado
4. **Bomba de alimentación UF**: Esta bomba se utiliza para aumentar la presión del agua desde un tanque de agua de succión positiva y entregarla al pretratamiento a la presión y el volumen requeridos.

   - Potencia (HP/kW) 20.0 (14.9)
   - Caudal (USGPM/m3/h) 216.2 (49.1)
   - Presión (PSI/BAR) 55.0 (3.8)
   - Marca de las bombas Ampco
   - Modelo de bomba: Serie ZCH
   - Motor: Totalmente cerrado y refrigerado por ventilador
   - Extremo de fluido de la bomba: Bronce de níquel y aluminio
   - Controlador del motor: Variador de frecuencia (VFD) para control de velocidad, Esto permitirá operar a diferentes velocidades para obtener caudales y presiones de servicio precisos, además, eliminará cualquier golpe de ariete en la tubería que pueda causar ruidos fuertes y daños a la estructura y las tuberías. Marca VFD: Siemens o equivalente

5. **Bomba de retrolavado de Ultrafiltración (UF)**
   Esta bomba se utiliza para aumentar la presión del agua desde un tanque de agua de succión positiva y entregarla al pretratamiento a la presión y el volumen requeridos.

   - Potencia (HP/kW) 20.0 (14.9)
   - Caudal (USGPM/m3/h) 288.5 (65.5)
   - Presión (PSI/BAR) 35.0 (2.4)
   - Marca de la bomba Ampco

- Modelo de bomba: Serie ZCH
- Motor: Totalmente cerrado y refrigerado por ventilador
- Extremo de fluido de la bomba: Bronce de níquel y aluminio
- Controlador del motor: Variador de frecuencia (VFD) para control de velocidad

6. Filtro en línea: Esta unidad reduce las partículas suspendidas hasta 150 micras.

7. Paquete de dosificación de productos químicos de retrolavado ultrafiltración. Con bomba de inyección dosificadora permitirá inyectar diferentes productos químicos en las diferentes etapas del proceso Marca: Prominente, Modelo: Serie Sigma o BETA B, Extremo de fluido: sustancias químicas a dosificar: Ácido cítrico, hidróxido de sodio (NAOH), hipoclorito de sodio (NaOCL)

    - Línea de succión rígida en PVC/Kit de instalación en PVDF
    - Tanque químico de 52 galones (200 litros) de polietileno de alta densidad (HDPE) con flotadores individuales de bajo nivel.

8. **Sistema de ultrafiltración (UF)**
   Parámetros de diseño:

    - Recuperación del diseño 94.4 %
    - Flujo de diseño (GFD/LMH) 29.8 (50.6)
    - Caudal de alimentación (USGPM/m3/h) 216.2 (49.1)
    - Caudal de filtrado (USGPM/m3/h) 204.0 (46.3)
    - Temperatura del agua (°F/°C) 77 (25)
    - Presión de alimentación (PSI/BAR) 20-30 (1,4-3,1)
    - Elementos de ultrafiltración

    Este sistema de ultrafiltración utiliza membranas de fibra hueca de gran diámetro patentadas. Marca: Toray, Modelo: HFUG-2020AN, Presión de funcionamiento:15-50 PSI Revestimiento de recipientes: PVC de grado alimenticio, Elementos totales:12 módulos por tren.

9. **Medidores de flujo de agua filtrada y de agua de retrolavado**

    El caudalímetro leerá y enviará la señal a través de la entrada analógica del PLC. La lectura se mostrará en la pantalla táctil. Marca: +GF+ Sello Modelo: Serie 3-2551 / 3-2537

10. **Tuberías y válvulas para agua**

- Las tuberías de agua y válvulas se suministrarán en material rígido y flexible.
- Material: Tubos flexibles de PVC SCH 80 y polietileno

Tuberías y válvulas para aire

- Las tuberías de aire y las válvulas se suministrarán en material rígido y flexible.
- Material: Tubos flexibles de PVC SCH 80 y polietileno

11. **Tanque de almacenamiento de agua Filtrada**

- Tanque de agua filtrada Capacidad de 26,400 galones / 100 cm.
  Marca: Endress Hauser o equivalente.

12. **Recipiente a presión de ósmosis inversa**

Las carcasas de los recipientes a presión de ósmosis inversa de servicio pesado están construidas en fibra de vidrio.

- Cantidad:5 por tren
- Marca: Protec-Arisawa o equivalente
- Modelo: 1000 PSI / Puerto multilateral

13. **Elementos de membrana de ósmosis inversa**

- Las membranas de ósmosis inversa utilizadas en esta aplicación son del tipo membrana compuesta de película delgada, (TFC), es una membrana espiral compuesta de película delgada (TFC).
- Número de etapas:1 Membranas totales:35 por tren
- Marca: Dupont (Filmtec)/ Hydranautics/ Membranas LG
- Modelo: Serie SW30-XLE 400 / SW400R / CW5MAX

14. **Caja eléctrica principal**

- Panel de control del motor y el panel de control de bajo voltaje
- La planta incluirá todos los contactores, arrancadores, arrancadores magnéticos, relés de sobrecarga, bloques de terminales, relés, disyuntores y luces indicadoras necesarios. Todos estos componentes cuentan con la certificación UL.

15. **Válvula de mariposa de agua salada**

    Esta válvula permitirá controlar la presión de salmuera en la descarga de la unidad de recuperación de energía. Material: PVC SCH 80

16. **Válvula actuadora de agua cruda**

    Esta válvula se cerrará y abrirá en cada arranque y apagado de la planta. Marca: Bray o equivalente
    Válvula: Actuador neumático de doble efecto Partes mojadas: Recubierto de nailon Componentes eléctricos

17. **Unidad de limpieza in situ (CIP) para membranas**

    Este kit de limpieza en su lugar (CIP) permitirá al operador limpiar la membrana con toda la solución correcta para mantener las membranas en condiciones óptimas y extender la longevidad.

    - Potencia (HP/kW) 15.0 (11.2)
    - Caudal de CIP UF (USGPM/m3/h) 190.1 (43.2)
    - Caudal de CIP por ósmosis inversa (USGPM/m3/h) 200.0 (45.5)
    - Presión (PSI/BAR) (UF/RO) 45,0 (3,1) /55,0 (3,8)
    - Tanque:1050 galones
    - Material del tanque: PEAD
    - Medidor de flujo: en línea
    - Material: acrílico
    - Marca de la bomba: SPCO Modelo de bomba
    - VMC 45-2-2 Bomba: Extremo de fluido de acero inoxidable 304 Panel de control eléctrico: NEMA 12 Recipiente de filtro: Cartucho de 5 micras Patinar: Marco de acero inoxidable Tubería: PVC SCH 80 Flotar: Nivel bajo Manómetro:0-100 PSI

18. **Sistema de lavado fresco con membrana**

    El sistema Fresh Flush permitirá que el sistema enjuague automáticamente la membrana con agua permeada en cada apagado para mantener las membranas en condiciones óptimas y extender su longevidad.

19. **Puertos para muestreo de agua producto**

    Estos puertos deben ser instalados en cada vaso de presión de ósmosis inversa permitiendo el muestreo para la evaluación de calidad del agua producto

20. **Control lógico programable (PLC)**

El equipo cuenta con un sistema PLC de última generación para monitorear y controlar con precisión todas las diferentes E/S de la planta de ósmosis inversa.
Marca: Siemens
Modelo: Simatic S7-1200

21. **Pantalla**

El equipo cuenta con una pantalla para visualizar las diferentes funciones de la planta de ósmosis inversa. El funcionamiento de la planta se controla mediante la HMI para garantizar un funcionamiento fluido en campo. La unidad contará con una alarma visual y sonora cuando no esté funcionando en las condiciones adecuadas.

Marca: Siemens
Modelo: Pantalla táctil a color KTP700 Pantalla de lecturas

Descripción del Proceso

Planta de ósmosis inversa

La planta de tratamiento para desalinización del agua salobre del Río Pánuco por ósmosis inversa, tendrá una capacidad total de producción de 500 m^3/día, y estará dividida en sub procesos los cuales son los siguientes:

1. Sistema de bombeo de agua cruda
2. Sistema de ultrafiltración
3. Sistema de Pretratamiento
4. Sistema de Ósmosis inversa
5. Sistema de Acondicionamiento
6. Sistema de barridos automáticos CIP

A continuación, se detallará cada parte del proceso con sus respectivas implicaciones:

1. **Sistema de bombeo de agua cruda:** Es el proceso por el cual el agua es obtenida mediante bombeo del agua del Río Pánuco y será enviada por medio de una red de tuberías instaladas en el predio hacia un tanque de almacenamiento con capacidad

de 13 m^3, el volumen de agua de aprovechamiento requerido es de 46.1 m^3/hr. Por día seria 1106.4 m^3.

2. **Sistema de Ultrafiltración:** Del tanque de recepción que contiene el agua del río, es enviada por bombeo al sistema de ultrafiltración. Se fuerza el líquido a través de una membrana semipermeable y los sólidos en suspensión y los solutos de alto peso molecular quedan en un lado de la membrana. El agua y los solutos de bajo peso molecular se filtran al otro lado. El diseño de recuperación es de 94.4%, del volumen requerido de alimentación 49.1 m^3/hr, se obtendrá un volumen de agua filtrada de 46.3 m^3, este sistema de ultrafiltración está montado sobre un bastidor de acero inoxidable 304 de alta resistencia, utiliza membranas de fibra hueca de gran diámetro patentadas, Marca: Toray, Modelo: HFUG-2020AN. para eliminar sólidos suspendidos, bacterias, virus y patógenos del agua de alimentación. Las bombas envían el agua tratada a través de poros microscópicos, que actúan como una barrera física que solo permite que los filtrados pasen a través de ellos.

3. **Sistema de Pretratamiento:** Previo a alimentar a la sección de ósmosis inversa, se realiza un pretratamiento al agua filtrada, para aumentar la eficiencia y la vida útil de los sistemas de ósmosis inversa y nanofiltración (OI/NF), hay que realizar un tratamiento previo (o pretratamiento) eficaz del agua de alimentación. La selección del pretratamiento adecuado aumentará al máximo la eficiencia y la vida útil de la membrana al minimizar los siguientes factores:
    - Ensuciamiento
    - Incrustación
    - Degradación de las membranas

    También sirve para optimizar los siguientes factores:

    - Caudal de producto
    - Calidad del producto (rechazo de la sal)
    - Conversión del sistema
    - Costes operativos y de mantenimiento

    El ensuciamiento consiste en la acumulación de materia procedente del agua de alimentación en la superficie activa de la membrana o en el espaciador de alimentación hasta el punto de provocar problemas de operación. El término ensuciamiento hace referencia a la acumulación de todo tipo de capas en la superficie de la membrana y del espaciador de alimentación, como la incrustación de sales. El ensuciamiento coloidal se refiere, al atrapamiento de partículas o material coloidal, como flóculos de hierro o sedimentos. El ensuciamiento biológico consiste en el crecimiento de una biopelícula por microorganismos y el ensuciamiento orgánico es la adsorción de compuestos orgánicos, como las

sustancias húmicas y el aceite, en la superficie de la membrana. La incrustación de sales hace referencia a la precipitación y al depósito de sales insolubles, tales como el carbonato de calcio, el sulfato de bario, el sulfato de calcio, el sulfato de estroncio y el fluoruro de calcio.

Previo al envió de agua filtrada al tren de ósmosis inversa, es necesario realizar la mayor cantidad de filtración de solidos suspendidos y contaminantes externos a fin de proteger el banco de membranas. Por lo cual se integra un sistema de pre-tratamiento del agua fot ultrafiltración antes de llegar a la etapa de la ósmosis. También como pretratamiento se realizará un acondicionamiento previo del agua por medio de una dosificación de un producto antiincrustante a fin de aminorar el riesgo de incrustaciones para este proyecto.

El antiincrustante será dosificado por bombeo por medio de un equipo de inyección de tipo diafragma, este ayudará a aminorar las deposiciones en las membranas, este químico se inyectará antes de los filtros pulidores de cartuchos para aprovechar la agitación dentro de los mismos a fin de hacer un mezclado homogéneo con el agua.

Cada filtro de cartucho tendrá una retención de hasta 5 micra de granulometría
Sistema de ósmosis inversa
El agua que ya fue pretratada y filtrada es enviada por bombeo al tren de ósmosis inversa, en este proceso se obtiene agua de menor salinidad a partir del agua de mayor salinidad, justamente lo inverso que, en ósmosis natural, pero de manera forzada al aplicar una presión en el lado de mayor concentración que revierte el sentido del flujo natural del agua. La presión que detiene dicho flujo, representada por la diferencia de alturas de los recipientes, se le llama presión osmótica.

La membrana osmótica teóricamente es semipermeable al agua, es decir, es permeable al paso de agua pura e impermeable al paso de material iónico, material suspendido, componentes orgánicos y microorganismos. Sin embargo, en la práctica, siempre se da un mínimo paso de sales (< 2%) y de microbiológicos (<< 1 %).

En el proceso de ósmosis inversa se generan dos corrientes de agua:

- El permeado o agua producto (agua tratada) libre de contaminantes, como sales disueltas (iones), coloides, bacterias, materia orgánica, etc.
- El rechazo ó concentrado en sustancias contaminantes que no atraviesan la membrana.

La presión requerida por la bomba del equipo de ósmosis para conseguir el caudal de permeado establecido, surge como la suma de:

a) Presión osmótica.
b) Contrapresión a través de la membrana.
c) Perdidas por fricción para circular por el circuito hasta el lugar de destino.
d) Presión en el punto de descarga.

Por otra parte, la presión osmótica depende de la diferencia entre las concentraciones de las sales disueltas (TDS) en el agua de alimentación y la correspondiente al permeado, aproximadamente 1 psi por cada 100 TDS de diferencia. La temperatura también juega como factor importante porque afecta la viscosidad del agua y la porosidad de las membranas, incidiendo en las pérdidas de carga por fricción. Una merma de 1 ºC requiere un incremento de presión de 3 % aproximadamente.

4. **Sistema de Acondicionamiento:** Integra un paquete de dosificación química que incluye La bomba de inyección dosificadora que permitirá inyectar diferentes productos químicos en el agua de alimentación o agua de permeado (producto) de la planta de tratamiento de agua.

5. **Sistema de barridos automáticos CIP:** Cuenta con unidad de limpieza in situ (CIP) para membranas, este SKID CIP permitirá al operador limpiar la membrana con toda la solución correcta para mantener las membranas en condiciones óptimas y extender la longevidad.

III. VINCULACIÓN CON LOS INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN Y ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES

- Ordenamientos jurídicos aplicables
- Constitución política de los estados unidos mexicanos
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico en Materia de Impacto Ambiental
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
- Ley General de Cambio Climático
- Programas de Ordenamiento Ecológico
- Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT)

- Plan de Ordenamiento Ecológico del Golfo de México y Mar Caribe
- Decretos y programas de conservación y manejo de las áreas naturales protegidas
- Áreas Naturales Protegidas Federales
- Áreas Naturales Protegidas Estatales
- Normas Oficiales Mexicanas
- Plan Municipal de Desarrollo 2022–2025 de Pueblo Viejo, Veracruz
- Otros instrumentos
- Regiones Terrestres Prioritarias (RTP)
- Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP)
- Regiones Marinas Prioritarias (RMP)

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR) Y SEÑALAMIENTO DE TENDENCIAS DEL DESARROLLO Y DETERIORO DE LA REGIÓN.

IV.1 Delimitación y justificación del Sistema Ambiental Regional (SAR) y Área de influencia (AI) donde pretende establecerse el proyecto.

IV.1.1 Delimitación y justificación del Sistema Ambiental Regional (SAR)

La delimitación del **Sistema Ambiental Regional (SAR)** se realizó conforme a los lineamientos establecidos en la *Guía para la Elaboración de la Manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad Regional* (SEMARNAT, 2019), con fundamento en el principio de **proporcionalidad**, que establece que el área de estudio debe corresponder a la **escala geográfica de los procesos ambientales** que pueden ser modificados por el proyecto, así como a la **probabilidad y magnitud de sus impactos directos, indirectos, sinérgicos y acumulativos.**

El SAR se definió a partir de la identificación de los **procesos ecosistémicos relevantes** con los cuales el proyecto mantiene relación funcional, destacando la **conectividad hidrológica del sistema estuarino-lagunar del Bajo Río Pánuco**, la **interfaz urbano-ambiental** que caracteriza la región de Tampico–Ciudad Madero–Pueblo Viejo–Pánuco, la presencia de **humedales costeros** (principalmente manglar y tular), la **dinámica de corrientes y mezcla estuarina** y los patrones de ocupación del territorio. Estos elementos constituyen el ámbito espacial indispensable para comprender las condiciones actuales y la posible manifestación de impactos ambientales derivados del proyecto.

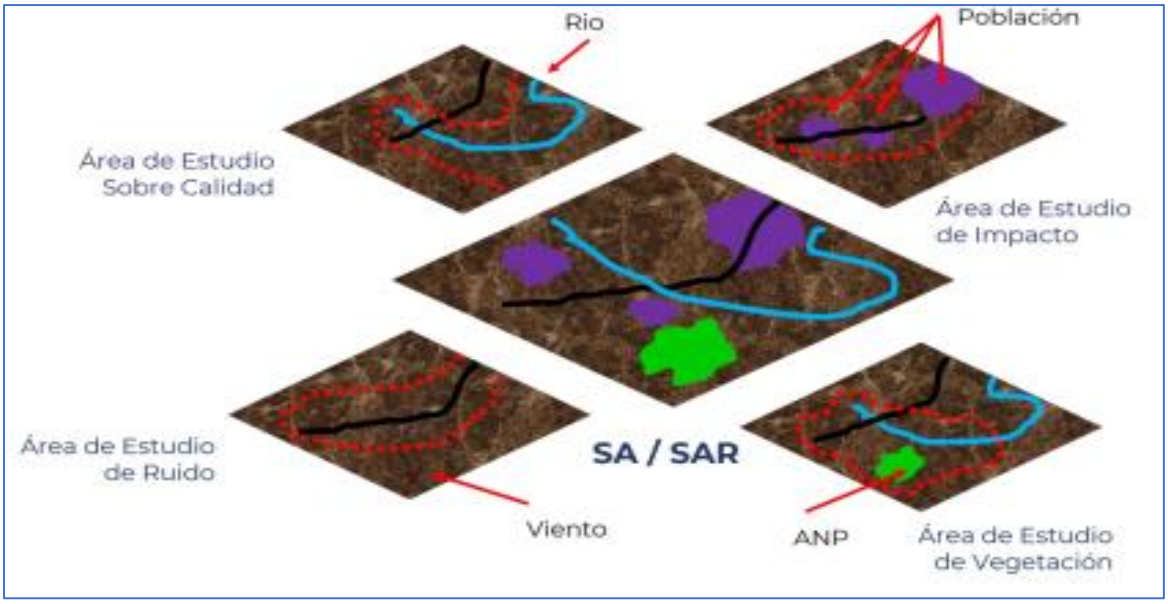


Figura 14. Esquema conceptual para la definición del SAR considerando procesos ecológicos, hidrológicos y socioambientales relevantes. (Fuente: Guía para la Elaboración de la Manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad Regional, SEMARNAT, 2019).

IV.2. Caracterización y análisis retrospectivo de la calidad ambiental del SAR

La presente sección tiene por objeto caracterizar de manera integral los elementos abióticos y bióticos que conforman el Sistema Ambiental Regional (SAR), así como analizar su estado ambiental histórico y actual. Para ello, se describen las condiciones físicas, biológicas y de interacción ecológica que prevalecen en el ámbito regional, identificando los factores naturales y antrópicos que han influido en su evolución.

Asimismo, se incorpora un análisis retrospectivo que permite reconocer las tendencias de desarrollo, transformación y deterioro ambiental del SAR y del Área de Influencia (AI), con el fin de comprender los procesos que han modificado la calidad del entorno y establecer una línea base ambiental sólida que sustente la evaluación de impactos del proyecto.

IV.2.1. Medio abiótico

IV.2.1.1 Clima

IV.2.1.1.1 Caracterización climática del SAR

El Sistema Ambiental Regional (SAR) y Área de Influencia (AI) se ubican en la planicie costera del Golfo de México, dentro del subtipo climático **Aw1** de la clasificación de Köppen modificada por García: ***cálido subhúmedo con lluvias en verano e invierno muy seco*** (precipitación invernal <5% del total anual). El régimen climático está modulado por: (i) **ondas y ciclones tropicales** durante junio–noviembre, (ii) **eventos de "norte"** entre

octubre y marzo que generan vientos fuertes, descenso térmico y lluvias estratiformes, y (iii) el **sistema de brisas mar–tierra**, relevante para la ventilación local.

Como referencia instrumental se emplea la **estación climatológica SMN 28111 – Tampico** (22.2386°N; –97.8789°O; 3 m s.n.m.), representativa del entorno costero–estuarino del SAR. Sus **normales climáticas** reportan:

- **Temperatura media anual: ~25.3 °C**
- **Temperatura máxima media anual: ~29.2 °C**
- **Temperatura mínima media anual: ~21.4 °C**
- **Precipitación total anual: ~1,158.9 mm**
- **Días con lluvia: ~88 días/año**

La **estacionalidad** es marcada: el **máximo de precipitación** ocurre en **verano–otoño** (picos habituales en **septiembre–octubre**), y el **mínimo** durante **invierno** (enero–marzo). Este patrón controla procesos clave del SAR: recarga superficial, salinidad del sistema estuarino–lagunar y productividad de **manglares y tulares**.

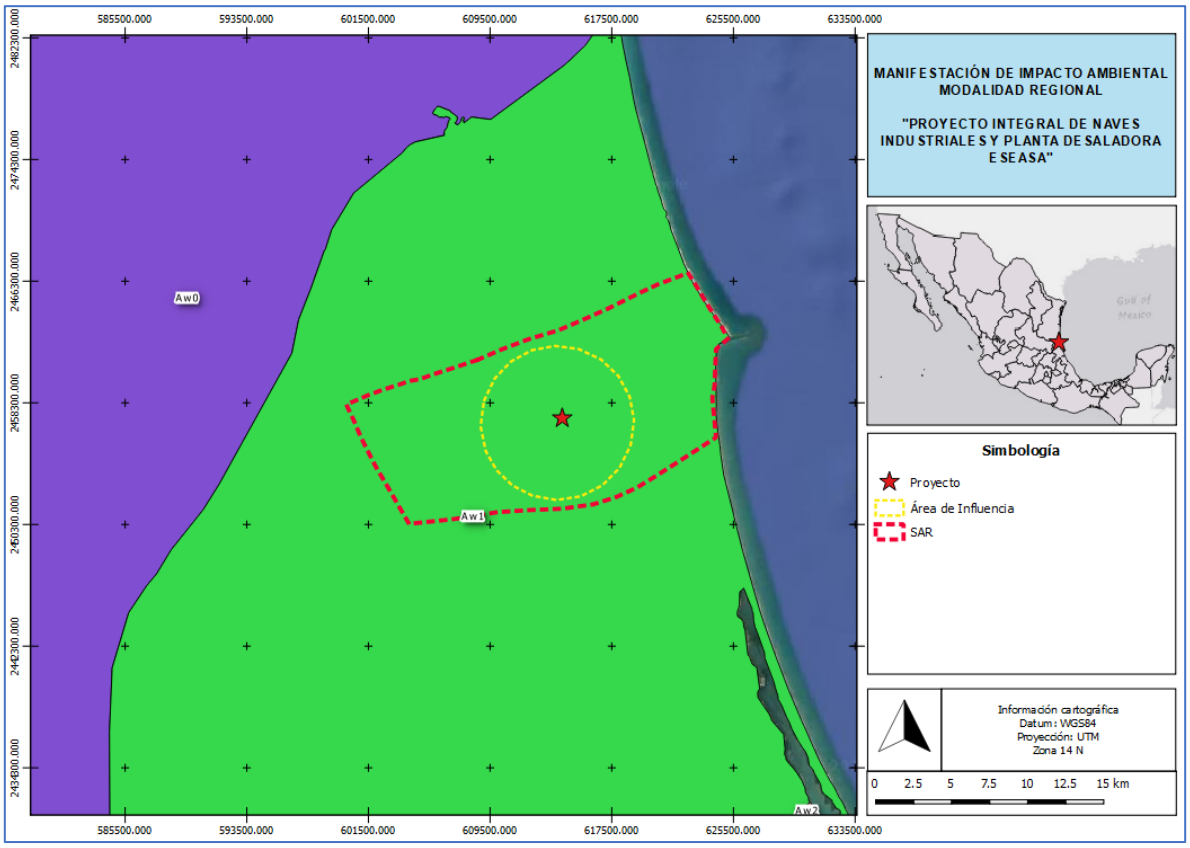


Figura 15. Representación gráfica del tipo de clima en el SAR y AI.

NORMAL CLIMATOLÓGICA 1991-2020
EMISIÓN : 31/10/2025

DATOS DISPONIBLES EN LA BASE DE DATOS A: OCTOBER DE 2025;
CON LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LAS UNIDADES ADMINISTRATIVAS

ESTACIÓN : 28111
NOMBRE : TAMPICO
ESTADO : TAMAULIPAS
MUNICIPIO : TAMPICO
SITUACIÓN : SUSPENDIDA
CVE-OMM :
LATITUD : 22.23861111 °
LONGITUD : -97.87888889 °
ALTITUD : 3 msnm

TEMPERATURA MÁXIMA

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NORMAL	23.4	25.2	27.3	29.7	31.7	32.8	32.6	33.2	32.2	30.5	27.4	24.6	29.2
MÁXIMA MENSUAL	26	27.5	29.4	31.3	32.9	33.9	34.4	34.7	33.8	32.3	29.8	26.7	
AÑO DE MÁXIMA	2009	2008	1991	2012	2008	2003	2009	2015	2005	2015	2004	2012	
MÁXIMA DIARIA	33	35.5	43	41	43.5	38.5	38.7	38	39	37	37.5	34.1	
FECHA MÁX DIARIA	23/2010	11/1995	23/2013	27/2011	05/1999	16/1991	30/2019	28/2014	12/2012	20/2006	05/2004	01/2018	
AÑOS CON DATOS	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	

TEMPERATURA MÍNIMA

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NORMAL	15.2	16.7	19.1	21.9	24.5	25.7	25.4	25.5	24.6	22.7	19	16.5	21.4
MÍNIMA MENSUAL	11.6	13.6	16.4	20.1	22.2	24.2	24	23.1	23.3	21.1	16	14.3	
AÑO DE MÍNIMA	2014	2010	2010	1997	2014	1993	2019	2019	1991	1999	2014	2003	
MÍNIMA DIARIA	5	1.5	3	12.5	16	20	18.8	19.5	2	11.5	8.2	4.5	
FECHA MÍN DIARIA	08/2010	12/2018	20/2011	14/1997	02/2004	25/1997	04/2019	26/2001	25/2010	31/1993	15/2018	14/1997	
AÑOS CON DATOS	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	

TEMPERATURA MEDIA

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NORMAL	19.3	20.9	23.2	25.8	28.1	29.2	29	29.3	28.4	26.6	23.2	20.6	25.3
AÑOS CON DATOS	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	

PRECIPITACIÓN

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NORMAL	33.5	22.7	26.8	24.8	48.8	161.9	137.6	145.3	300.2	174.6	57.4	25.3	1158.9
MÁXIMA MENSUAL	212.8	85.8	139.6	100.3	183.2	558.5	527.6	363.2	747.7	391.4	239.3	71.3	
AÑO DE MÁXIMA	1994	2010	2015	2016	2004	1993	2010	1994	2008	1992	2002	2006	
MÁXIMA DIARIA	100.5	40	85	66.5	180.8	142.5	194.5	140	370.5	151	137.5	40.6	
FECHA MÁX DIARIA	22/1994	10/2008	13/2000	18/2016	28/2008	19/2016	04/2008	08/2000	13/2014	10/1997	02/2016	07/2006	
AÑOS CON DATOS	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	27	

NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NORMAL	6.4	4.4	3.9	3.3	3.8	8.7	9.7	10.1	14.6	10.5	7.2	5.4	88
AÑOS CON DATOS	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	27	

Figura 16. Normales mensuales de temperatura (máx., min., media) y precipitación (SMN 28111).

IV.2.1.1.2 Análisis retrospectivo del periodo de 1961-2019 (Basado en la estación 28111)

a) Variabilidad pluviométrica y ocurrencia de eventos extremos (desarrollo hidro climático): La serie histórica de la estación 28111 (1961–2019) evidencia **alta variabilidad interanual** y **años extremadamente húmedos** asociados a ciclones/ondas tropicales. Se registran acumulados anuales notoriamente altos en **2008 (~2,036 mm), 1993 (~1,632 mm), 1981 (~1,549 mm)** y **2005 (~1,419 mm)**, con picos mensuales concentrados en **septiembre–octubre** (por ejemplo, **septiembre de 2008 ~748 mm**). Asimismo, se documentan **años secos** (p. ej., **2018 ~481 mm, 1996 ~700 mm, 2006 ~761 mm**), con **rachas secas** prolongadas en transición primaveral.

Implicaciones para el SAR: *incremento de* ***picos de escurrimiento y turbidez*** *hacia el estuario en años húmedos;* ***aumento de salinidad y estrés de humedales*** *en años secos.*

b) Señales térmicas consistentes con calentamiento regional (deterioro térmico-urbano): A partir de las últimas décadas se observa mayor frecuencia de **meses cálidos** en verano (medias mensuales ≥28–29 °C) y **noches tropicales** más recurrentes, patrón congruente con el **calentamiento regional** y con el **efecto de isla de calor urbano-industrial** asociado a impermeabilización, pérdida de vegetación y aumento de superficies termo radiantes.

Implicaciones: *incremento de* ***estrés térmico*** *en población y ecosistemas; reducción de la* ***recuperación térmica nocturna****; mayor demanda energética para climatización.*

c) Factores de presión antrópica que amplifican los efectos climáticos: Rellenos e infraestructura portuaria/industrial, aumento de superficies impermeables y de **carga térmica**; reducción de infiltración y evapotranspiración.

Expansión urbana: sustitución de suelos vegetados; pérdida de **amortiguamiento microclimático.**

Ocupación de planicies de inundación: mayor exposición a encharcamientos ante **eventos extremos** de lluvia.

Nota ambiental relevante: *El proyecto* ***no intervendrá*** *ni* ***afectará*** *unidades de* ***manglar o vegetación de humedal****. Su diseño considera medidas para* ***no contribuir*** *al fenómeno de* ***isla de calor*** *y para* ***gestionar escurrimientos*** *conforme a eventos de precipitación intensa*.

IV.2.1.1.3 Tendencias de Desarrollo y Deterioro Asociadas al Clima en el SAR

Durante las últimas tres décadas, el SAR ha experimentado procesos de transformación territorial derivados del crecimiento urbano-industrial, expansión de infraestructura logística y portuaria, y mayor impermeabilización del suelo. Estos cambios han generado **modificaciones microclimáticas** locales, entre las que destacan:

- Incremento en superficies construidas e impermeables, que **favorece el almacenamiento de calor** y altera el balance energético superficial.
- Reducción progresiva de cobertura vegetal natural en zonas cercanas a centros urbanos e industriales, lo que disminuye la regulación térmica local y la capacidad de infiltración.
- Mayor exposición a eventos meteorológicos extremos, como lluvias intensas asociadas a ciclones, que provocan inundaciones temporales cuando la infraestructura pluvial resulta insuficiente.

Es importante señalar que estas tendencias ***no están asociadas directamente al proyecto***, sino a procesos regionales previos de urbanización e industrialización.

Con base en estas condiciones, **el proyecto se inserta en un territorio ya modificado climáticamente**, por lo que su desarrollo no representa un factor determinante para agravar dichas tendencias, especialmente al considerar que:

- Se ubicará dentro de una zona con vocación industrial y con infraestructura existente.

- No contempla desmontes significativos de vegetación natural ni afectación a áreas con función climática reguladora.
- Su operación no implica emisiones térmicas o atmosféricas que alteren de manera sensible el régimen climático local.

En consecuencia, se considera que **el proyecto no incidirá negativamente en las dinámicas climáticas regionales**, y su correcta implementación permitirá mantener las condiciones actuales sin contribuir al deterioro identificado en el SAR.

IV.2.1.2 Fisiografía

IV.2.1.2.1 Caracterización Fisiográfica del SAR

El Sistema Ambiental Regional (SAR) y Área de Influencia (AI) se localiza dentro de la **Provincia Fisiográfica Llanura Costera del Golfo Norte**, la cual se caracteriza por un relieve predominantemente plano a suavemente ondulado, con pendientes mínimas que favorecen la acumulación y el escurrimiento superficial hacia los cuerpos de agua costeros y estuarinos.

El SAR se encuentra sobre terrenos **de baja altitud**, con elevaciones que oscilan aproximadamente entre los **2 y 25 metros sobre el nivel del mar**, propios de ambientes costeros recientes de origen marino-continental. Las geoformas predominantes corresponden a:

- **Llanuras aluviales y de inundación** asociadas a la dinámica del Río Pánuco y sus ramales.
- **Superficies de depósitos fluvio-lagunares y estuarinos**, con presencia de sedimentos finos, limos y arcillas.
- **Zonas planas costeras** sujetas a variaciones del nivel freático y procesos periódicos de saturación e inundación en época de lluvias.

Este contexto fisiográfico ha favorecido el desarrollo de ecosistemas de humedal, vegetación hidrófila y áreas aptas para actividades portuarias, industriales, agropecuarias y de servicios, dada la disponibilidad de terrenos amplios, planos y con acceso estratégico a cuerpos de agua y vías de transporte.

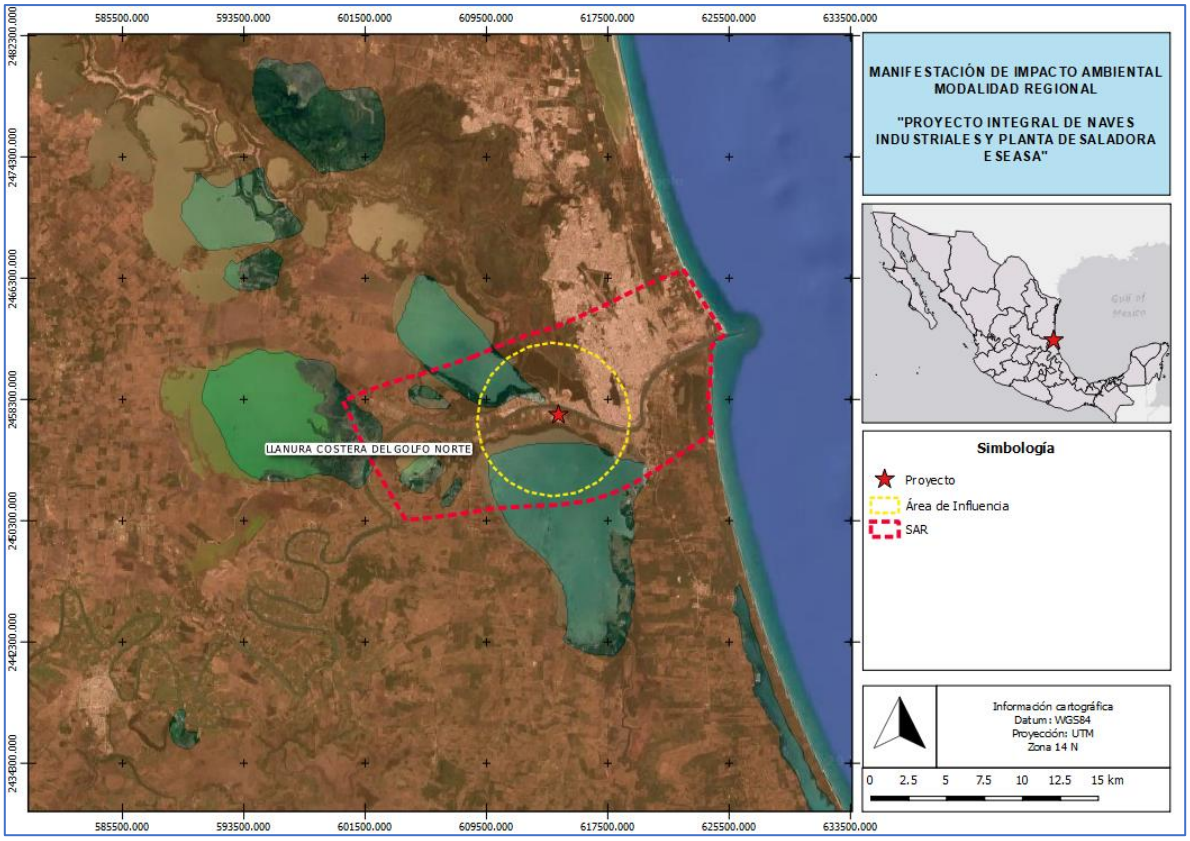


Figura 17. Fisiografía del SAR – Ubicación del proyecto en la Llanura Costera del Golfo Norte.

IV.2.1.2.2 Tendencias de Desarrollo y Deterioro Asociadas a la Fisiografía

Durante las últimas tres décadas, el territorio que conforma el SAR ha experimentado transformaciones derivadas del crecimiento urbano-industrial y del desarrollo portuario, lo que ha generado modificaciones sobre la integridad y funcionalidad fisiográfica natural del entorno. Entre las principales tendencias se identifican:

- **Ajustes y nivelaciones del relieve natural** para habilitar superficies industriales, logísticas, carreteras y usos urbanos.
- **Rellenos y modificaciones del terreno** en antiguas zonas de humedal o áreas bajas para infraestructura, lo que reduce la capacidad natural de amortiguamiento ante inundaciones.
- **Incremento en superficies impermeabilizadas**, que altera el comportamiento de escurrimiento superficial y disminuye la infiltración.

Cabe señalar que estas tendencias obedecen a un proceso regional de ocupación del territorio y **no son atribuibles al proyecto propuesto**, el cual se insertará en un área ya transformada con vocación industrial y servicios logísticos.

El proyecto **no contempla alteraciones significativas al relieve natural**, debido a que:

- Se desarrollará sobre un predio previamente modificado y con uso industrial existente.
- Las obras requerirán únicamente adecuaciones superficiales menores propias del acondicionamiento del sitio.
- No se proyecta afectación a geoformas naturales con función hidrológica o ambiental crítica.

En consecuencia, se estima que el proyecto **no generará deterioro fisiográfico adicional** dentro del SAR y se mantendrá congruente con la morfología regional ya consolidada.

IV.2.1.3 Geomorfología y geología

IV.2.1.3.1 Caracterización Geomorfológica y Geológica del SAR

El Sistema Ambiental Regional se ubica dentro de la **Provincia Fisiográfica Llanura Costera del Golfo Norte**, la cual se caracteriza por superficies extensas de relieve plano a suavemente ondulado, formadas por procesos de acumulación fluvio-marina a lo largo del Cuaternario. La geomorfología predominante corresponde a **llanuras costeras y aluviales** con pendientes suaves y altitudes generalmente inferiores a los **25 m s.n.m.,** condiciones que permiten el flujo natural de escurrimientos hacia cuerpos estuarinos y el litoral del Golfo de México.

El sustrato geológico regional está conformado principalmente por **depósitos cuaternarios de origen aluvial, lacustre y marino**, constituidos por arenas, limos y arcillas de consolidación reciente. Estas unidades geológicas conforman terrenos de baja a media compactación, característicos de ambientes de transición tierra-mar, asociados a la dinámica sedimentaria del Río Pánuco y sus derivaciones.

La región no presenta rasgos de geodinámica interna activa de relevancia —como fallas geológicas mayores o actividad sísmica significativa— por lo que el comportamiento estructural del sustrato se considera **estable a escala regional**. Estas condiciones han favorecido la instalación gradual de infraestructura urbana, portuaria e industrial durante las últimas décadas.

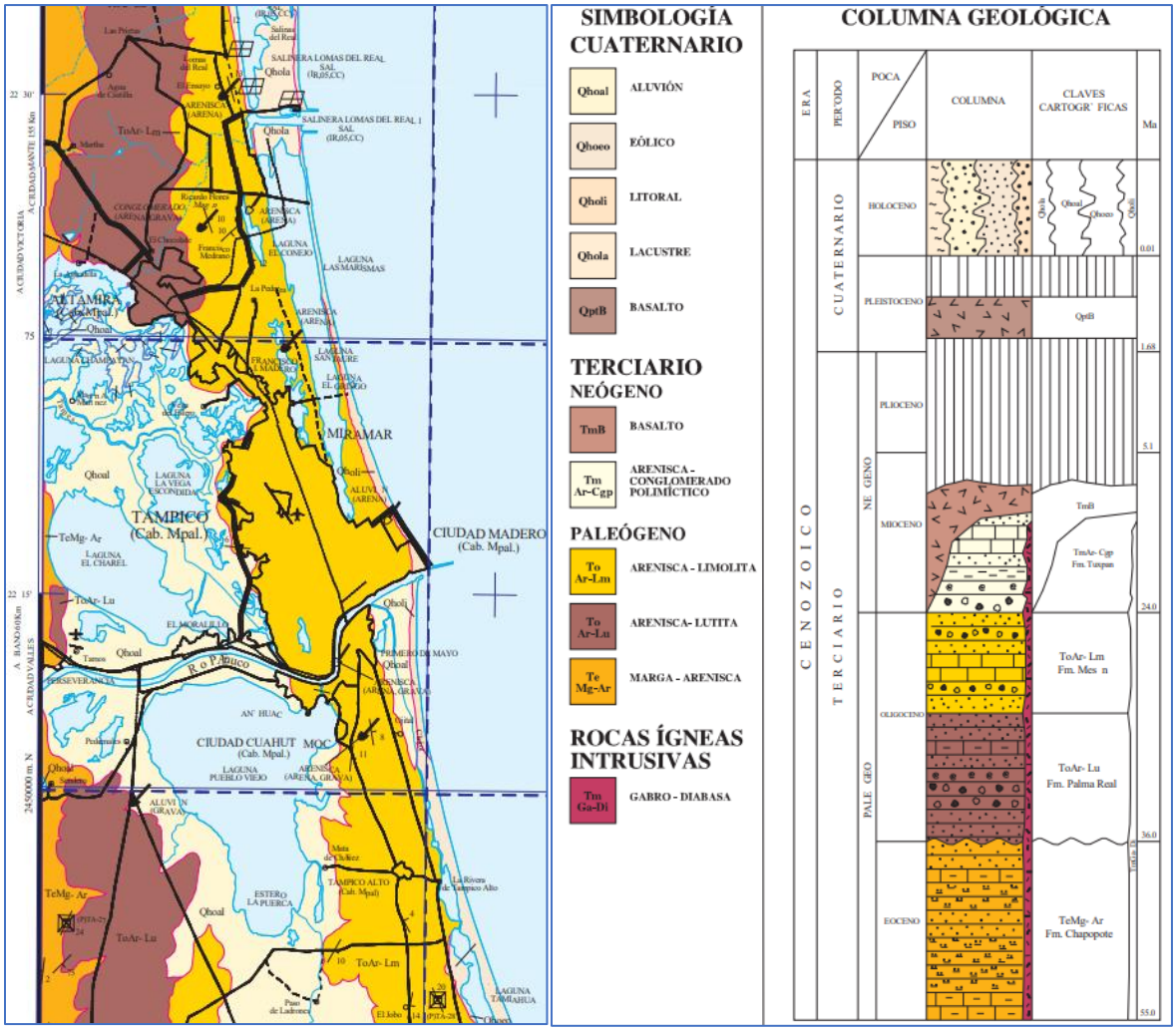


Figura 18. Unidades geológicas del SAR y columna estratigráfica regional correspondiente al SAR.

IV.2.1.3.2 Tendencias de Desarrollo y Deterioro Asociadas a la Geomorfología y Geología

Durante los últimos 30 años, el desarrollo urbano-industrial y portuario en la región ha generado modificaciones al entorno geomorfológico original, principalmente mediante:

- **Rellenos y nivelaciones** de microdepresiones y áreas bajas para habilitación de infraestructura y plataformas.

- **Modificación del relieve superficial** a través de cortes y cambios en la topografía natural para vialidades, áreas de servicios y uso industrial.
- **Incremento de superficies impermeabilizadas**, sustituyendo suelos naturales y reduciendo la infiltración local.

Estas transformaciones son resultado del proceso de consolidación territorial, crecimiento económico y vocación industrial-portuaria de la región, por lo que responden a una **tendencia regional previa al proyecto.**

En este contexto, el proyecto se inserta en un predio con **alteraciones previas derivadas de actividades industriales existentes**, por lo que **no se anticipan afectaciones geomorfológicas o geológicas adicionales de carácter significativo**. Las adecuaciones previstas se limitan al acondicionamiento superficial del sitio y no implican alteración de estructuras geológicas regionales ni modificación sustancial del relieve natural del SAR.

IV.2.1.4 Edafología

IV.2.1.4.1 Caracterización edafológica del SAR

El Sistema Ambiental Regional (SAR) se localiza en la **Llanura Costera del Golfo Norte**, sobre depósitos **cuaternarios** aluviales, estuarinos y marino-continentales, resultado de procesos de sedimentación asociados al **río Pánuco**, eventos de inundación fluvio-lagunar, y aportes marinos vinculados a variaciones del nivel del mar. La **planicie de muy baja pendiente** y el **nivel freático somero** condicionan el desarrollo de suelos hidromorfos y con propiedades físico-químicas particulares. A escala regional, se identifican los siguientes grupos de suelos:

Tabla 13. Tipos de suelo y descripción general en el SAR. Fuente: Datos vectoriales INEGI Serie II.

Tipo de Suelo	Distribución en el SAR	Propiedades Relevantes
Vertisol	Zona del proyecto y franja central del SAR	Arcilloso (>35% arcilla), CIC alta, pH 7–8, drenaje imperfecto, microrelieve gilgai, expansión-contracción estacional
Arenosol	Porciones costeras y bordes de paleodunas	Textura arenosa, alta infiltración, baja retención de nutrientes
Regosol	Zonas de relleno reciente y sedimentos jóvenes	Bajo desarrollo pedogenético, susceptibilidad a erosión eólica
Gleysol	Depresiones y bordes lagunares	Hidromorfos, saturación periódica o permanente, condiciones reductoras
Solonchak	Sectores costeros y humedales	Salinidad elevada, limitada aptitud para cobertura arbórea
Leptosol	Pequeñas elevaciones o lomeríos residuales	Suelos someros, pedregosos, baja disponibilidad hídrica
Cuerpos de agua	Complejo lagunar y canales	Influencia sobre la hidrodinámica y humedad edáfica

Importancia ambiental del suelo en el SAR:

- Regula el **almacenamiento e infiltración de agua**, función clave frente a escurrimientos del río y eventos de lluvia intensa.
- Actúa como **buffer bioquímico**, especialmente el **Vertisol**, por su alta capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- Sostiene **vegetación de humedal** (manglar, tular) en zonas hidromorfas, contribuyendo al ciclo de carbono y a la calidad del agua.
- Representa el **soporte físico** para infraestructura portuaria, carretera y urbana existente.

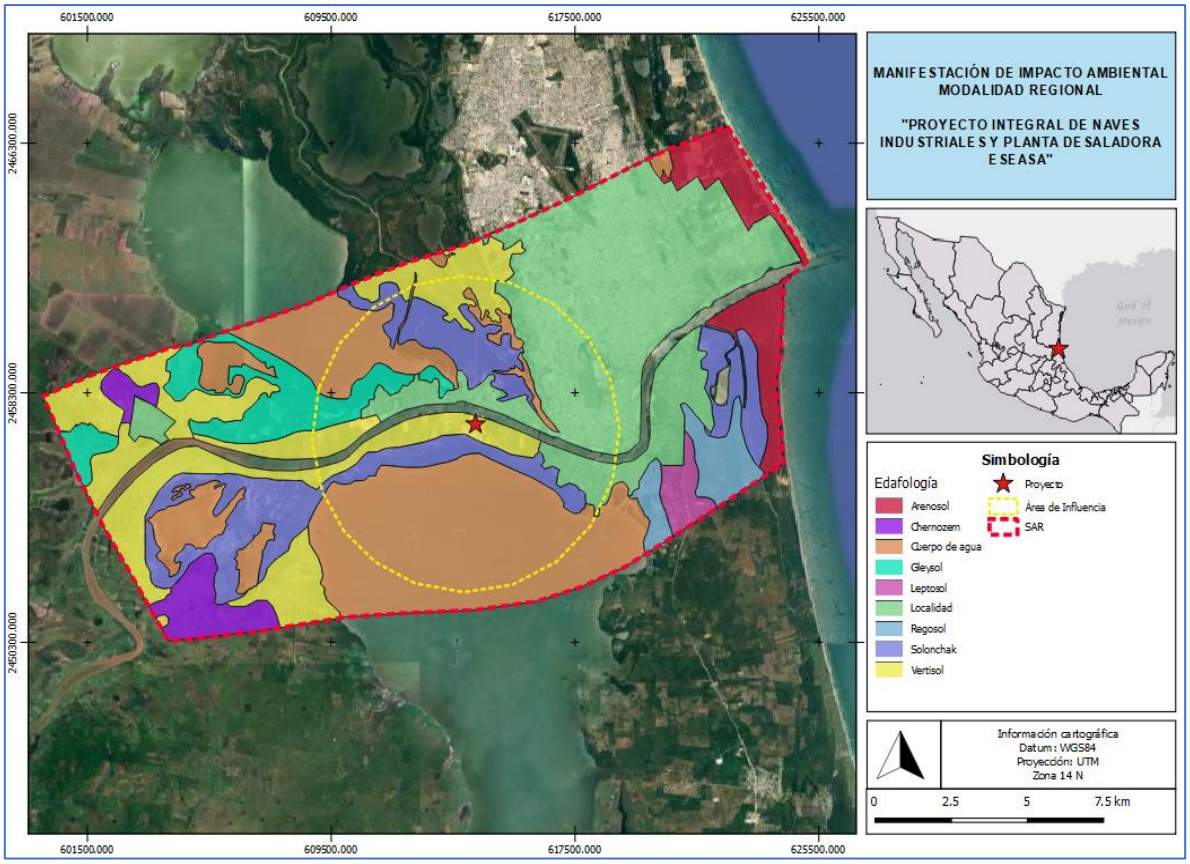


Figura 19. Mapa edafológico del SAR, AI y localización del Proyecto.

IV.2.1.4.2 Tendencias de desarrollo y deterioro del suelo en el SAR

El análisis histórico vía fotointerpretación (1993–2024), series de INEGI y antecedentes municipales evidencia que la **dinámica de uso de suelo** ha transformado gradualmente el recurso edáfico, principalmente por el crecimiento **urbano-industrial y portuario.**

Tendencias de deterioro observadas:

1. **Compactación severa e impermeabilización**

- Incremento de superficies con concreto/asfalto y rellenos urbanos/industriales.
- Reducción de la infiltración, mayor **escurrimiento superficial** y susceptibilidad a anegamientos en zonas bajas.

2. **Modificación del perfil edáfico por rellenos**

- Uso de materiales heterogéneos para nivelación y ganancia de superficie útil.
- **Mezcla y pérdida del horizonte A** y disminución de la fertilidad natural del suelo.

3. **Alteración del régimen hídrico del suelo**

- Canalizaciones, bordos y desecación de humedales han modificado zonas de Gleysol y Solonchak.
- Procesos locales tanto de **hidromorfía** (saturación prolongada) como de **desecación** de áreas antes inundables.

4. **Salinización y sodificación**

- Más evidente hacia la franja costera; asociada a evaporación, intrusión salina superficial y drenaje deficiente.
- Impacta capacidad productiva y limita revegetación.

5. **Pasivos edáficos puntuales por hidrocarburos**

- No generalizados, pero presentes en zonas con actividades petroleras, marítimas e industriales históricas.
- De carácter localizado y remediable.

Tendencias positivas / de conservación:

- En bordes de sistemas lagunares, persisten microparches con **función de humedal**, donde el suelo conserva características hidromorfas que sustentan manglar y tular.
- Programas locales de infraestructura hidráulica han reducido erosión y arrastre de sedimentos en algunos sectores.

IV.2.1.4.3 Condición del suelo en el predio y previsión de efectos del Proyecto

El predio se asienta principalmente sobre **Vertisol**, ya **modificado por actividades industriales previas** (nivelaciones, tránsito de maquinaria, áreas compactadas). Esto implica:

- **Baja natural de infiltración** y propensión a **retener humedad**, con expansión-contracción estacional.
- **Ausencia de suelos naturales conservados** o perfiles prístinos; el sitio ya presenta **perturbación edáfica moderada** y escaso valor edafológico natural.

a) Alcances y efectos previstos del Proyecto:

- Las adecuaciones serán **controladas y confinadas al interior del predio**.
- No se prevén **movimientos de tierra masivos** que comprometan funciones edáficas regionales.
- Se priorizará **reúso del suelo útil** en áreas verdes internas para mantener su función físico-química.
- Dada la condición pre-alterada y considerando el manejo propuesto**, no se inducirá deterioro edafológico significativo** a escala del SAR ni se modificará la tendencia regional existente.

b) Medidas de manejo propuestas (enfoque preventivo):

- Control y minimización de **compactación adicional**, con confinamiento de rutas para maquinaria.
- **Acopio temporal** de capa superficial aprovechable en montículos protegidos y posterior reincorporación.
- Implementación de **drenaje superficial eficiente** para evitar encharcamientos prolongados sobre Vertisol expuesto.
- Protocolo para **atención de contingencias** y manejo adecuado de residuos y sustancias, a fin de evitar infiltración puntual.

Con este manejo, el proyecto **no representa un riesgo de deterioro adicional del recurso suelo** y mantiene la funcionalidad del Vertisol en el área intervenida.

IV.2.1.5 Hidrología

IV.2.1.5.1 Hidrología superficial

El Sistema Ambiental Regional (SAR) se localiza dentro de una zona hidrológicamente estratégica para el litoral norte del Golfo de México, donde convergen sistemas fluviales, estuarinos y lagunares que conforman una unidad ambiental compleja y altamente

funcional. La configuración hidrológica de la región determina los patrones de escurrimiento superficial, la dinámica de mezcla dulce–salobre–marina, los procesos de renovación hídrica, la calidad del agua y la productividad biológica que sustenta diversos servicios ecosistémicos y actividades humanas. El sistema hidrológico regional está dominado por la interacción del Río Pánuco, el Río Tamesí y el sistema lagunar Laguna de Pueblo Viejo, los cuales forman la porción terminal de la Región Hidrológica RH26 "Pánuco". Esta zona constituye uno de los complejos estuarinos–lagunares más relevantes del país por su extensión, funcionalidad ecológica, conectividad y grado de presión antropogénica. El SAR se encuentra influido por tres subcuencas cuyos procesos hidrológicos interactúan directa o indirectamente sobre el entorno del proyecto: RH26Aa – Río Pánuco, RH26Ba – Río Tamesí y RH26Ac – Laguna de Pueblo Viejo. Si bien estas subcuencas poseen una extensión territorial amplia que rebasa el alcance operativo de un instrumento como el presente, se consideraron los sectores con conectividad hidrológica efectiva hacia el sitio del proyecto, con el propósito de evaluar el funcionamiento del sistema, los flujos superficiales relevantes y su relación con la desembocadura al Golfo. Esta integración acotada permite abordar la evaluación desde una perspectiva sistémica, sin incurrir en un sobredimensionamiento que no aportaría precisión técnica al análisis ambiental.

IV.2.1.5.1.1 Sistema Hidrológico

El **Río Pánuco** constituye el eje hidrológico dominante del SAR y el principal colector de los escurrimientos provenientes de la cuenca alta y media que drenan hacia el Golfo de México. A su paso por el área de estudio, el Pánuco presenta un régimen perenne y un comportamiento hidrodinámico altamente influenciado por la estacionalidad climática y el régimen mareal. Durante la temporada de lluvias, sus niveles y caudales incrementan de forma significativa, mientras que en la época seca se reduce el aporte continental y se intensifica la influencia marina de carácter retrógrado. Esta dualidad confiere al río un comportamiento transicional que favorece procesos de mezcla de agua dulce y salobre, condición inherente a los sistemas estuarinos.

El **Río Tamesí**, como afluente de importancia regional, aporta escurrimientos que contribuyen al balance hídrico del Pánuco, actuando como un regulador de niveles y un conector hidráulico hacia zonas bajas y lagunares. En el tramo vinculado al SAR, el Tamesí permite la dispersión lateral de flujos hacia humedales adyacentes, drenes y canales naturales, especialmente durante el periodo de lluvias. Su aporte es fundamental para mantener el gradiente de agua dulce necesario en el sistema lagunar–estuarino, contribuyendo a la estabilidad ecológica y al control del avance de la cuña salina.

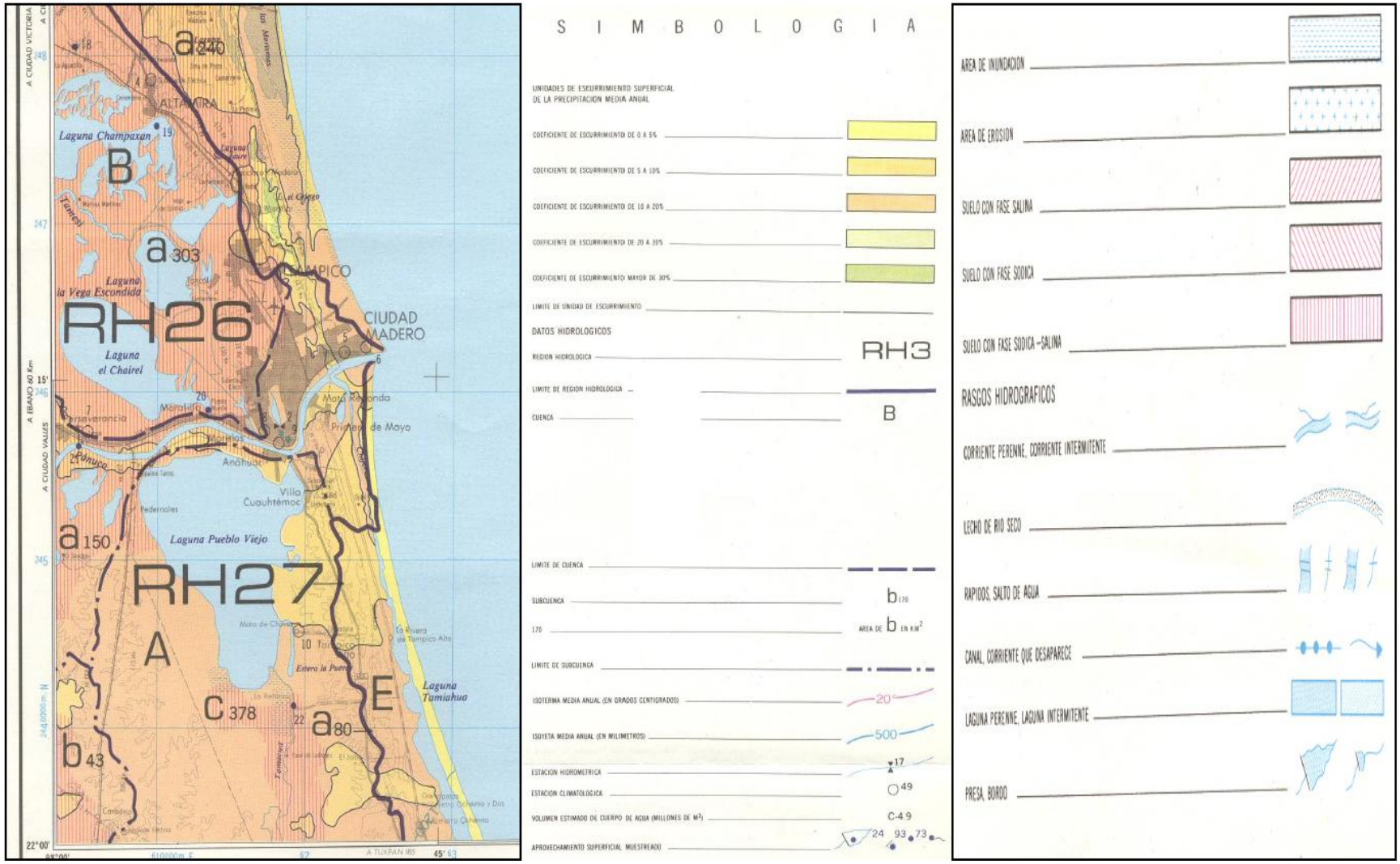


Figura 20. Regiones Hidrológicas en el sistema ambiental. Carta Hidrológicas de Aguas Superficiales 1:250,000 Tampico F14 -3 -6.

El sistema se complementa con la **Laguna de Pueblo Viejo**, cuerpo lagunar costero de carácter somero, cuya funcionalidad hidrológica está determinada por la conectividad con el Pánuco y por la interacción mareal. Esta laguna opera como un vaso regulador natural, con capacidad de laminación hídrica durante eventos de precipitación intensa y avenidas provenientes del sistema fluvial. Su localización y baja pendiente favorecen la acumulación temporal de volúmenes de agua, el asentamiento de sedimentos y el intercambio de nutrientes entre el medio continental y marino. La laguna recibe aportes pluviales, escurrimientos superficiales de microcuencas locales, drenajes urbanos e infiltraciones provenientes de suelos saturados; estos elementos influyen en su calidad hídrica, sus gradientes de salinidad y su productividad natural.

IV.2.1.5.1.2 Conectividad y Funcionamiento Hidrológico del Sistema

La conectividad hidrológica del SAR se caracteriza por un **intercambio permanente entre agua dulce, salobre y marina**, cuyo funcionamiento depende de la interacción simultánea de tres componentes: el escurrimiento continental proveniente del Pánuco y Tamesí, la influencia mareal del Golfo y los aportes pluviales directos y por escurrimiento. Bajo condiciones hidrológicas normales, el flujo superficial presenta una dirección predominante **occidente-oriente**, conduciendo los escurrimientos del interior del territorio hacia la línea de costa. Sin embargo, el comportamiento del tramo bajo del Pánuco está fuertemente influenciado por el régimen mareal, el cual genera **pulsos de intrusión marina río arriba** durante pleamares intensas, modificando temporalmente la velocidad y el sentido del flujo. Este fenómeno condiciona los procesos de mezcla, genera gradientes temporales de salinidad y determina la dinámica de renovación del sistema.

La conectividad entre los ríos y la Laguna de Pueblo Viejo ocurre mediante bordes bajos, espejos de agua, drenes y canales naturales o acondicionados que funcionan como corredores hidráulicos. En décadas recientes, la construcción de infraestructura urbana, industrial y de protección contra inundaciones ha modificado el patrón de circulación natural, restringiendo o redirigiendo flujos en ciertas zonas. Aun así, el sistema mantiene conectividad suficiente para permitir el tránsito hídrico y el intercambio de nutrientes, aunque con menor capacidad de recambio en algunos sectores lagunares.

IV.2.1.5.1.3 Dinámica Estuarina y Procesos Hidrodinámicos

El tramo terminal del Río Pánuco constituye un **sistema estuarino de transición**, donde convergen y se mezclan masas de agua de origen continental y marino. Este proceso genera una estratificación vertical y horizontal de masas de agua con diferentes concentraciones de salinidad, la cual presenta variaciones temporales asociadas principalmente a: (i) el volumen de descarga fluvial, (ii) el régimen mareal, (iii) los vientos dominantes y (iv) los aportes lagunares y pluviales. Durante la época de estiaje, la disminución del aporte dulce favorece la **intrusión salina río arriba**, incrementando la

conductividad y modificando la estructura fisicoquímica del sistema. En contraste, durante el periodo de lluvias, el aumento del escurrimiento continental genera una capa superficial de agua dulce con mayor velocidad, favoreciendo la descarga hacia el Golfo y el desplazamiento de la cuña salina hacia el litoral.

Los procesos de mezcla inducidos por el oleaje, turbulencia, interacción de corrientes opuestas y vientos locales influyen en la dispersión de sedimentos finos, nutrientes y materiales en suspensión. Esta dinámica es fundamental para mantener la productividad biológica del sistema, sostener gradientes ecológicos y asegurar el recambio hídrico que evita procesos de eutrofización en condiciones naturales. Sin embargo, modificaciones antrópicas en el borde costero y en márgenes del Pánuco han alterado localmente estos procesos, reduciendo la capacidad de renovación en algunos sectores y generando zonas de retención hídrica con tiempos de recambio más prolongados.

IV.2.1.5.1.4 Comportamiento Estacional de Escurrimientos

El régimen de lluvias propio del clima Aw1 determina un comportamiento hidrológico altamente estacional. La temporada húmeda (junio–octubre) concentra la mayor parte de la precipitación anual, lo cual incrementa los niveles y volúmenes de escurrimiento superficial. Este fenómeno se traduce en:

- Elevación del tirante del Pánuco y Tamesí
- Aumento de aportes superficiales hacia la Laguna de Pueblo Viejo
- Mayor arrastre de sedimentos, materia orgánica y nutrientes
- Incremento en la turbidez del agua
- Expansión temporal de zonas inundables en humedales asociados

Durante la época seca (noviembre–mayo), los escurrimientos se reducen significativamente, lo que conlleva:

- Mayor influencia de intrusión marina y salinización
- Disminución del intercambio lagunar
- Mayor residencia del agua en zonas de baja circulación
- Reducción de la capacidad de autodepuración hidrológica

Este comportamiento dual determina ventanas críticas para cualquier actividad que interactúe con el medio acuático, siendo la temporada húmeda más sensible a procesos de remoción y arrastre, y la seca más vulnerable a variaciones de calidad del agua y salinidad.

IV.2.1.5.1.5 Infraestructura Hidráulica y Modificaciones Antrópicas Relevantes

El sistema hidrológico regional ha sido objeto de modificaciones significativas durante las últimas décadas, derivadas del desarrollo urbano, industrial, portuario y de protección civil. Entre las principales intervenciones que han alterado el comportamiento natural se identifican:

- **Canalizaciones y rectificación del cauce** en algunos sectores del Pánuco, orientadas a facilitar la navegación, reducir riesgos de inundación y estabilizar márgenes.
- **Construcción de bordos y muros de contención** para protección de zonas urbanas e infraestructura industrial frente a avenidas e intrusión de mareas.
- **Dragado para mantenimiento de calado y navegación** en el canal principal, el cual modifica temporalmente la dinámica de sedimentos y la columna de agua.
- **Obras de drenaje pluvial y sanitario** que descargan en cuerpos conectados al sistema, alterando flujos y la calidad hídrica en microcuencas.
- **Rellenos y ganancia artificial de terrenos** en márgenes del sistema lagunar y estuarino, que han reducido áreas de inundación natural y desconectado flujos secundarios.

Estas intervenciones han generado efectos localizados sobre la circulación hidráulica, el patrón de mezcla y el recambio, disminuyendo la capacidad natural de amortiguamiento de avenidas en algunos sectores, pero incrementándola en otros mediante infraestructura estructural. El SAR mantiene, no obstante, su funcionalidad hidrológica esencial, sin presentar fracturas sistémicas que comprometan su integridad a gran escala.

IV.2.1.5.1.6 Patrones de Circulación, Recambio y Capacidad de Autodepuración

La interacción hidrodinámica entre los ríos, el sistema lagunar y el mar determina los patrones de circulación horizontal y vertical del agua, así como la eficiencia en los procesos de recambio y autodepuración natural. En condiciones climáticas y mareales típicas, el sistema presenta un patrón semi-diurno de renovación asociado al flujo y reflujo del litoral, lo que favorece el intercambio periódico de masas de agua y la dispersión de compuestos disueltos y particulados. La **Laguna de Pueblo Viejo** opera como una cuenca de mezcla lenta, con zonas de circulación restringida en sectores con aportes limitados de flujo y menor forzamiento mareal. En dichos puntos pueden presentarse tiempos de residencia mayores, que disminuyen momentáneamente la capacidad de autodepuración y pueden favorecer procesos de sedimentación y acumulación orgánica.

La eficiencia de autodepuración del sistema estuarino–lagunar depende de la magnitud del intercambio con el Pánuco y del aporte de agua dulce del Tamesí, que contribuyen a la inyección de oxígeno, al transporte de nutrientes y a la dilución de cargas. La dinámica natural de recambio se ve fortalecida durante la temporada de lluvias por el aumento de escurrimientos y debilitada durante estiaje cuando prevalecen condiciones más estables, menor mezcla y mayor estratificación. A pesar de las modificaciones antrópicas registradas

en la zona, el sistema mantiene mecanismos funcionales de renovación y dispersión, aunque con variaciones locales en el comportamiento observadas en zonas de dragado, rellenos o bordos que reducen el flujo transversal.

IV.2.1.5.1.7 Interacción del Sistema con Zonas Inundables y Humedales Asociados

El SAR presenta áreas de humedales, marismas y planicies inundables que cumplen una función primordial dentro del balance hidrológico regional. Estas zonas actúan como **esponjas naturales** al absorber excedentes hídricos durante eventos de lluvia intensa y liberarlos gradualmente conforme descienden los niveles. Si bien el predio del proyecto no se localiza sobre humedales de alta sensibilidad ecológica, el sistema regional cuenta con extensiones donde la presencia de vegetación hidrófila (particularmente en márgenes del Tamesí y áreas adyacentes a la Laguna de Pueblo Viejo) contribuye al control de escurrimientos, al ciclo de nutrientes y al amortiguamiento de contaminantes. Estas áreas se conectan temporalmente con cuerpos de agua durante eventos climáticos extremos, regulando picos de descarga.

Las intervenciones humanas han reducido en algunos sectores la superficie de humedal operativa debido a rellenos, apertura de caminos, infraestructura y modificaciones en el nivel freático; sin embargo, a escala regional aún persiste una funcionalidad hidrológica relevante de estas zonas para la estabilidad del sistema.

IV.2.1.5.1.8 Vulnerabilidad Hidrológica Natural y Condicionantes Ambientales

El sistema hidrológico regional está expuesto a eventos meteorológicos extremos asociados a tormentas tropicales y huracanes que generan aumentos súbitos en la lámina de agua, oleaje extremo y remoción de sedimentos. Estos episodios pueden ocasionar inundaciones temporales en zonas bajas, saturación de suelos, sobreelevación lagunar y presión sobre infraestructura urbana e industrial. La región se clasifica con una **vulnerabilidad media a alta ante inundaciones fluviales y estuarinas**, particularmente en sectores cercanos al cauce del Pánuco y márgenes de la laguna.

La absorción natural de estos eventos ha disminuido en algunas áreas por la reducción de superficies naturales inundables, lo cual motiva la necesidad de planificación responsable de nuevas instalaciones para mantener el equilibrio hidrológico y no incrementar riesgos. La localización propuesta para el proyecto evita áreas de conexión hidráulica crítica, humedales y zonas previstas como amortiguamiento hídrico, lo que contribuye a la compatibilidad ambiental del desarrollo con el funcionamiento del sistema.

IV.2.1.5.1.9 Análisis Retrospectivo y Tendencias de Desarrollo y Deterioro del Sistema Hidrológico Regional

El funcionamiento del sistema hidrológico del SAR ha experimentado transformaciones relevantes durante las últimas dos a tres décadas, derivadas del crecimiento urbano–industrial, la expansión de infraestructura portuaria, la ocupación de márgenes fluviales y lagunares, así como la implementación de obras hidráulicas orientadas al control de inundaciones y a la operación logística de la región. Si bien estos procesos han modificado patrones naturales de escurrimiento, conexión lateral, calidad del agua y dinámica de intercambio estuarino–lagunar, el sistema mantiene aún condiciones de funcionalidad ambiental y capacidad de respuesta hidrológica.

El análisis retrospectivo permite identificar las principales tendencias que han modelado el comportamiento hidrológico y la calidad ambiental del SAR, así como reconocer los elementos que constituyen áreas de atención para la planificación de nuevos desarrollos, con el fin de asegurar compatibilidad y evitar la intensificación de presiones existentes.

a) Transformaciones Hidrológicas Asociadas al Desarrollo Urbano e Industrial

En el entorno del SAR se ha registrado un proceso sostenido de urbanización, industrialización y consolidación de infraestructura logística y portuaria, que ha generado modificaciones en el régimen hidrológico natural. Entre los cambios más relevantes se identifican:

- ***Incremento de la superficie impermeabilizada***, asociado a la expansión de zonas industriales, carreteras, patios de maniobra, áreas portuarias y polígonos habitacionales, reduciendo la infiltración natural y elevando el volumen y velocidad del escurrimiento superficial.
- ***Canalización y rectificación de cauces secundarios***, orientadas al control de inundaciones y desalojo de escurrimientos pluviales, que han simplificado la red de drenaje y limitado la dispersión lateral del agua hacia humedales.
- ***Sustitución de drenaje natural por infraestructura pluvial***, desviando escurrimientos hacia puntos específicos de descarga en el Pánuco y en cuerpos lagunares, modificando la distribución espacial del flujo.
- ***Ganancia de terrenos al cuerpo de agua mediante rellenos***, principalmente en bordes lagunares y en zonas aledañas a canales y bordos, reduciendo áreas de amortiguamiento hidrológico y capacidad de almacenamiento temporal de agua.

Si bien estas acciones han aumentado la resiliencia urbana ante inundaciones en zonas críticas, también han reducido el funcionamiento hidrológico natural, particularmente en lo referente a la filtración, la laminación y la recarga de humedales.

b) Modificaciones Hidrológicas Asociadas a Infraestructura Hidráulica y Portuaria

El desarrollo portuario y las obras de mejoramiento hidráulico han incidido directamente en el comportamiento hidrodinámico del sistema, con impactos diferenciales:

- ***Dragados periódicos en el canal de navegación del Pánuco***, para mantener el calado y permitir la operación portuaria; estos trabajos modifican temporalmente la dinámica de sedimentos y la columna de agua, alterando la distribución de finos y la turbidez local.
- ***Construcción de muelles, espigones, protecciones y bordos***, que han reducido o desviado flujos laterales en algunos puntos del estuario, alterando zonas de intercambio y recambio.
- ***Cierres parciales y acondicionamiento de bordes lagunares***, lo que ha disminuido la conectividad hidráulica con la planicie de inundación y modificado el balance hídrico de sectores que antes actuaban como vasos reguladores.

A pesar de estas modificaciones, la hidrodinámica del Pánuco y su capacidad de intercambio con el sistema lagunar se mantiene funcional a escala regional, aunque con microzonas de menor renovación y zonas de circulación restringida que requieren un manejo cuidadoso para evitar su deterioro.

c) Cambios en la Calidad del Agua y Presiones Ambientales

En las últimas décadas, la calidad del agua en el sistema fluvio–lagunar ha sido influenciada por fuentes de presión provenientes de descargas urbanas, arrastre pluvial, actividades industriales y aportes difusos. Las tendencias observadas incluyen:

- ***Incremento de aportes de cargas orgánicas y sedimentos*** asociados al crecimiento urbano y a la descarga de drenajes pluviales sin tratamiento previo.
- ***Descargas sanitarias y pluviales no reguladas*** en microcuencas urbanas que drenan al sistema, afectando principalmente sectores de la Laguna de Pueblo Viejo con baja renovación.
- ***Aportes industriales controlados***, que si bien se encuentran sujetos a regulación, han representado históricamente una fuente de presión puntual en épocas de mayor actividad industrial.
- ***Episodios de eutrofización localizada y proliferación de vegetación acuática flotante***, especialmente en periodos de estiaje, cuando disminuye el recambio y se incrementa la concentración de nutrientes.

Es importante señalar que estos procesos no tienen relación con el proyecto propuesto; forman parte de la evolución acumulada del sistema en respuesta al desarrollo regional y las dinámicas urbanas de los municipios colindantes.

d) Erosión, Sedimentación y Dinámica de Acarreos

La combinación de escurrimientos pluviales, arrastre de sedimentos y dragados en el Pánuco ha dado lugar a variaciones en los patrones de sedimentación:

- ***Aumento del aporte de finos y sólidos en suspensión*** durante temporada de lluvias, influenciando la turbidez y el transporte de nutrientes.
- ***Sedimentación localizada en sectores de baja circulación lagunar***, que reduce la profundidad y favorece procesos de colmatación.
- ***Remoción periódica de sedimentos por dragados***, modificando la batimetría y favoreciendo temporalmente el intercambio aguas arriba–aguas abajo.

Estos procesos son naturales de un sistema estuarino en contacto con infraestructura portuaria, pero requieren monitoreo para evitar cambios que afecten corredores de flujo críticos.

e) Tendencias Generales del Sistema Hidrológico del SAR

El análisis retrospectivo permite identificar las siguientes tendencias clave:

Tendencias de Desarrollo:

- Consolidación urbana e industrial del entorno del SAR
- Aumento de infraestructura hidráulica protectora
- Mayor control de inundaciones en zonas urbanas

Tendencias de Deterioro:

- Reducción de áreas de amortiguamiento hidrológico natural
- Disminución de la conectividad lagunar en sectores intervenidos
- Mayor presión sobre la calidad del agua por descargas urbanas
- Menor recambio en zonas lacustres someras

Pese a lo anterior, el sistema conserva integridad funcional y resiliencia hidrológica a escala regional.

El análisis hidrológico del Sistema Ambiental Regional demuestra que el área donde se desarrollará el proyecto forma parte de un sistema estuarino–lagunar de importancia ambiental y estratégica, con un funcionamiento hidrológico activo y resiliente, caracterizado por la interacción fluvial del **Río Pánuco**, el aporte regulador del **Río Tamesí** y el rol de amortiguamiento y recambio hidrológico de la **Laguna de Pueblo Viejo**. Si bien el SAR ha sido objeto de transformaciones hidrológicas relevantes en las últimas décadas derivadas del crecimiento urbano, industrial y de infraestructura portuaria, el sistema mantiene su integridad funcional, su dinámica de intercambio y su capacidad de regulación hidrológica a escala regional.

El proyecto se localiza fuera de los corredores hidrológicos críticos, de humedales de alta sensibilidad y de áreas de conexión hidráulica esencial entre el Pánuco, el Tamesí y la Laguna de Pueblo Viejo. La ubicación propuesta evita zonas de tránsito de flujo superficial y de laminación natural, así como áreas que participan de manera directa en el equilibrio hidrodinámico del sistema. Esta condición es fundamental para demostrar **compatibilidad ambiental** y para asegurar que la implantación del proyecto no suponga afectación al funcionamiento hidrológico ni incremente la presión sobre el sistema.

f) Valoración Técnica del Componente Hidrológico

Del análisis derivan los siguientes elementos clave para la aprobación del proyecto:

1. **No obstrucción de flujo ni conectividad hidráulica**
   El proyecto no se emplaza sobre canales, drenes, bordos, ni cauces secundarios que participen en la conexión estuarina o lagunar, por lo que no se prevé interferencia con los procesos de escurrimiento natural.
2. **Localización fuera de áreas de amortiguamiento hidrológico natural**
   No se ocupa superficie destinada a laminación de avenidas, humedales funcionales ni zonas críticas de regulación hídrica; por tanto, no se reduce la capacidad de absorción ni de control hidrológico del sistema.
3. **Nulo desplazamiento hidráulico del sistema estuarino–lagunar**
   La magnitud, configuración y ubicación del proyecto no alteran los flujos dominantes del Pánuco ni modifican la dinámica de recambio, mezcla o salinidad en el sistema regional.
4. **No incremento de la presión hidrológica existente**
   El proyecto considera medidas de manejo responsables y de control de escurrimientos, evitando incorporar nuevas presiones al sistema y contribuyendo a mantener la estabilidad hidrológica.

g) Medidas Hidrológicas para una Operación Ambientalmente Responsable

A fin de mantener la compatibilidad del proyecto con el sistema hidrológico y reforzar su carácter ambientalmente responsable, se plantean las siguientes medidas estratégicas orientadas a garantizar estabilidad funcional, prevenir afectaciones y dar certidumbre a la autoridad:

- **Manejo y conducción de escurrimientos pluviales in situ**, mediante sistemas de captación, retención y conducción controlada, evitando la descarga directa y sin tratamiento hacia cuerpos conectados al sistema fluvio–lagunar.
- **Establecimiento de infraestructura de filtración y captura de sólidos** en puntos potenciales de aportación pluvial, para evitar el arrastre de sedimentos y contaminantes hacia áreas de infiltración o conectividad indirecta.

- **Uso de superficies permeables y vegetación nativa** en áreas externas del proyecto, favoreciendo la infiltración, reduciendo escurrimientos y manteniendo el equilibrio hidrológico local.
- **Programa de mantenimiento preventivo del sistema de drenaje** para evitar azolves, obstrucciones y descargas incidentales hacia el entorno.
- **Monitoreo periódico de escurrimientos** para verificar la adecuada operación del sistema y aplicar medidas correctivas en caso necesario.

Estas medidas no sólo aseguran el cumplimiento ambiental, sino que fortalecen el carácter preventivo del proyecto y demuestran un enfoque de responsabilidad hidrológica que favorecerá la valoración de la autoridad.

IV.2.1.5.1.10 Conclusión Técnico

El componente hidrológico del SAR mantiene funcionalidad, resiliencia y equilibrio dinámico pese a las transformaciones derivadas del desarrollo regional. La ubicación del proyecto, el entendimiento de la dinámica hidrológica y la incorporación de medidas preventivas permiten asegurar que la operación no generará efectos adversos ni comprometerá el funcionamiento del sistema estuarino–lagunar. Por el contrario, el enfoque ambiental del diseño favorece una inserción ordenada, compatible y sustentable con el entorno hidrológico existente.

El desarrollo previsto no representa un incremento significativo de presión hidrológica, no interfiere con sistemas de conectividad ni altera zonas críticas de regulación, por lo que se concluye que **el proyecto es compatible con la dinámica hidrológica del SAR**, cumpliendo con condiciones favorables para la autorización del componente.

IV.2.1.6 Cambio Climático

El Sistema Ambiental Regional (SAR) del proyecto se localiza en la porción norte del estado de Veracruz, en la zona costera-estuarina asociada a la desembocadura del río Pánuco y su interrelación con el sistema lagunar de Pueblo Viejo. Climáticamente, el SAR se enmarca en un clima **Aw1 (cálido subhúmedo con lluvias en verano)**, condición típica de la Llanura Costera del Golfo Norte.

Con base en la serie histórica 1961–2019 de la estación climatológica 28111 (CONAGUA-SMN), la **precipitación media anual** en la zona es del orden de **1,100–1,150 mm**, con marcada concentración de lluvias entre junio y octubre, mientras que la **temperatura media anual** se sitúa alrededor de **24.5–25 °C**, con veranos cálidos y una amplitud térmica anual moderada. Esta configuración climática ha favorecido históricamente el desarrollo de humedales costeros (manglar, tular) y la actividad agrícola y ganadera en los municipios circundantes.

a) Contexto estatal de vulnerabilidad climática

A escala estatal, Veracruz se reconoce como una de las entidades con **mayor vulnerabilidad** frente al cambio climático en el litoral del Golfo de México, debido a la combinación de exposición a ciclones tropicales, incremento en el nivel del mar, presencia de amplias planicies de inundación y una alta concentración de población y actividades económicas en zonas costeras y rivereñas.

El **Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC)** y la legislación estatal en la materia (Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático) documentan que una proporción importante de los 212 municipios del estado se clasifica en rangos de **vulnerabilidad alta o muy alta** ante los efectos del cambio climático, lo que ha motivado el desarrollo de programas de adaptación sectoriales y municipales. En particular, los estudios estatales de vulnerabilidad señalan que el **litoral veracruzano** —incluida la franja norte donde se ubican Pánuco y Pueblo Viejo— es especialmente sensible a:

- **Aumento del nivel medio del mar**, con escenarios de incremento de 0.60 a 1.00 m que podrían afectar municipios como **Pánuco**, mediante pérdida de superficie en planicies bajas, intrusión salina y afectación de humedales costeros.
- **Aumento en la frecuencia e intensidad de lluvias extremas** asociadas a ciclones y tormentas tropicales, con efectos en inundaciones fluviales y costeras.
- **Cambios en los patrones de precipitación estacional y en la duración de sequías** que afectan la disponibilidad de agua y la estabilidad de los sistemas agrícolas y ecosistemas de humedal.

El portal nacional de vulnerabilidad climática para Veracruz subraya precisamente la relevancia de estos fenómenos extremos (olas de calor, sequías, inundaciones y ciclones tropicales) como principales detonantes de riesgo climático para la población y la infraestructura.

b) Evidencia regional de impactos y tendencias recientes

La **cuenca baja del río Pánuco** y las localidades de Pánuco, Pueblo Viejo, Tampico y Ciudad Madero han registrado en años recientes episodios recurrentes de **crecidas y riesgo de desbordamiento**, con afectaciones en viviendas, infraestructura y actividades portuarias, lo cual se ha documentado en reportes recientes de Protección Civil y medios nacionales. Estos eventos se superponen a una larga historia de impactos de ciclones en el litoral veracruzano (por ejemplo, huracán Karl en 2010), que han producido inundaciones fluviales, pluviales y costeras de gran magnitud.

Adicionalmente, documentos como la **Agenda Municipal de Cambio Climático de Tampico Alto**, municipio vecino que comparte la misma franja costero-lagunar, reportan:

- Incremento en la ocurrencia de **inundaciones** ligadas a lluvias extremas y marejadas.
- Mayor exposición por expansión de la mancha urbana en planicies inundables y alrededores de lagunas.
- Riesgo creciente de **sequías estacionales** que afectan agricultura, ganadería y disponibilidad de agua potable.

Si bien estos análisis se elaboran para un municipio colindante, son **plenamente extrapolables al SAR** del proyecto, dado que comparten el mismo contexto fisiográfico (llanura costera, baja altitud) y la misma **unidad hidrológica regional** (subcuencas RH26Aa Pánuco, RH26Ba Tamesí y RH26Ac Laguna de Pueblo Viejo).

En el ámbito ecosistémico, el diagnóstico de los manglares del estado de Veracruz señala que estos han sufrido **pérdidas de superficie y fragmentación** durante las últimas décadas, asociadas a cambio de uso de suelo, rellenos, infraestructura costera y alteraciones hidrológicas, lo que debilita su función como barrera natural frente a tormentas, oleaje e incremento del nivel del mar. Aunque el proyecto **no contempla desmontes directos de manglar ni rellenos de humedales**, la situación de vulnerabilidad regional de estos ecosistemas es un elemento clave en la evaluación climática del SAR.

IV.2.2 Medio biótico

En el siguiente apartado, se describen los aspectos bióticos que interactúan en el **SAR** en general, particularmente en el sitio donde se pretenden desarrollar las obras y actividades del presente proyecto.

IV.2.2.1 Uso de suelo y vegetación terrestre en SAR

El Sistema Ambiental Regional (SAR) definido para el presente proyecto abarca territorios pertenecientes a los municipios de **Pueblo Viejo (Veracruz), Tampico (Tamaulipas), Ciudad Madero (Tamaulipas) y Pánuco (Veracruz)**. Este ámbito regional integra un mosaico ambiental altamente heterogéneo donde convergen **ecosistemas costeros, humedales, ambientes riparios, zonas agrícolas y extensas áreas urbanas**, resultado del crecimiento industrial, portuario y de servicios que caracteriza a la desembocadura del río Pánuco.

Con base en la **Serie VII de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI (escala 1:250 000),** se obtuvo la clasificación del SAR, cuyos valores se incorporan en la siguiente tabla:

Tabla 14. Desglose de los Usos de Suelo y Vegetación Serie VII de INEGI.

DESCRIPCIÓN	ÁREA (m^2)	ÁREA (Ha)	%
AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL	11,158,607.20	1,115.86	4.53%
ASENTAMIENTOS HUMANOS	76,880,163.13	7,688.02	31.21%
CUERPO DE AGUA	73,732,344.14	7,373.23	29.93%
MANGLAR	27,115,033.24	2,711.50	11.01%
PASTIZAL CULTIVADO	20,232,965.82	2,023.30	8.21%
SIN VEGETACIÓN APARENTE	928,039.55	92.80	0.38%
TULAR	22,036,386.83	2,203.64	8.94%
VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS	614,574.78	61.46	0.25%
VEGETACIÓN SECUNDARIA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	13,670,170.12	1,367.02	5.55%
TOTAL	**246,368,284.80**	**24,636.83**	**100%**

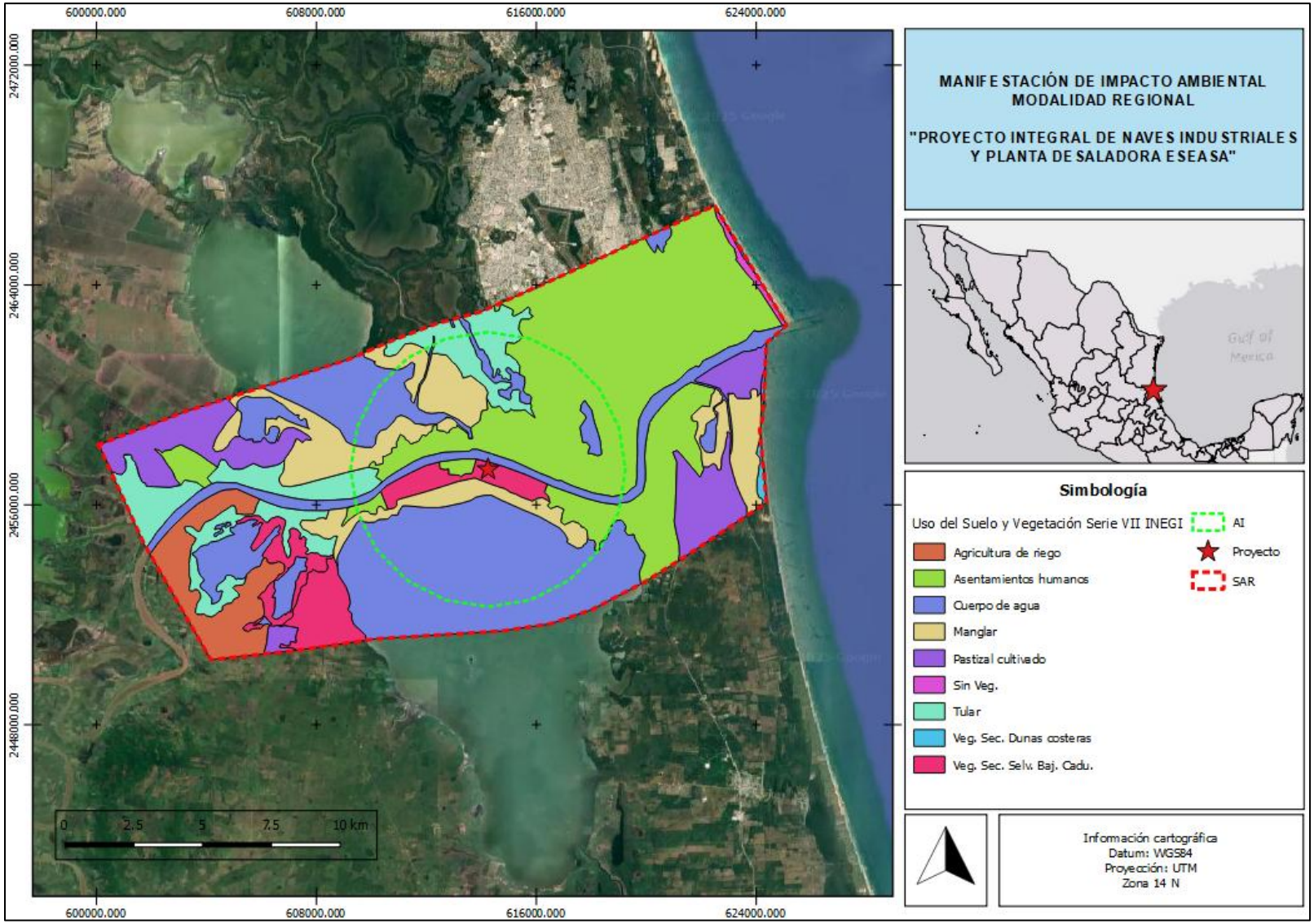


Figura 21. Uso de Suelo y Vegetación tomado de la Serie VII de INEGI, Escala 1:250 000 del SAR.

El SAR presenta una estructura ambiental dominada por tres elementos centrales:

1. **Sistemas lagunares y cuerpos de agua estuarinos** que representan casi el 30% del área total.
2. **Una matriz urbana consolidada** en Tampico, Ciudad Madero y parte de Pueblo Viejo (31.21%).
3. **Ecosistemas de humedal costero** —manglar y tular— que en conjunto representan casi **20% del SAR** y constituyen los elementos ecológicos de mayor relevancia ambiental y regulación hidrológica.

A continuación se describen con detalle los principales tipos de vegetación presentes, con énfasis en su estructura, función ecológica y distribución regional.

a) Agricultura de riego anual

La agricultura de riego anual en el SAR ocupa una proporción relativamente menor en términos de superficie (4.53%), pero representa un componente clave en la organización territorial y en la interacción entre actividades humanas y procesos naturales. Su presencia se concentra principalmente en el municipio de Pánuco y en sectores rurales de la planicie aluvial, donde confluyen condiciones de suelos fértiles, topografía prácticamente plana y disponibilidad de agua superficial derivada del propio sistema hidrológico del río Pánuco y sus afluentes.

En estas áreas se desarrollan cultivos de ciclo anual, entre los que destacan maíz, sorgo, frijol, hortalizas y, en algunos casos, forrajes intensivos, dependiendo de la demanda local y regional. La elección de cultivos suele estar asociada a factores de mercado, acceso al riego, disponibilidad de insumos y tradición productiva de los ejidos y pequeños propietarios. Estas tierras agrícolas suelen ubicarse en terrazas bajas y medias de la planicie aluvial, en suelos profundos con buena capacidad de retención de humedad, frecuentemente clasificados como Vertisoles o suelos de textura fina, que facilitan el aprovechamiento del agua de riego y de la precipitación estacional.

Desde el punto de vista ambiental, estos sistemas agrícolas constituyen una capa intermedia entre los ecosistemas naturales (humedales, vegetación secundaria) y la matriz urbana–industrial. Aunque la agricultura de riego no alcanza los niveles de diversidad biológica de un manglar o de un tular, sí mantiene una cierta permeabilidad ecológica superior al suelo completamente sellado o a superficies de relleno. Los campos agrícolas permiten, por ejemplo, cierta infiltración de agua al subsuelo, retención de sedimentos y, en los periodos entre ciclos de cultivo, el establecimiento temporal de vegetación herbácea espontánea y el uso del espacio por parte de aves, invertebrados y pequeños mamíferos generalistas.

No obstante, la agricultura de riego implica también una serie de presiones ambientales potenciales sobre el SAR. Entre las más relevantes se encuentran:

- El aporte de nutrientes y agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, plaguicidas) a través del escurrimiento superficial hacia canales de riego, drenes y, eventualmente, hacia la Laguna de Pueblo Viejo y otros cuerpos de agua conectados.
- La modificación de los patrones de drenaje superficial y subterráneo, mediante la construcción de bordos, drenes y canales que alteran el flujo natural del agua sobre la planicie aluvial.
- La posible compactación del suelo por el tránsito de maquinaria agrícola, lo que puede reducir la capacidad de infiltración en el mediano plazo si no se aplican prácticas de manejo adecuadas.

A pesar de estas presiones, muchas de las áreas agrícolas del SAR han coexistido históricamente con los humedales, funcionando como espacios de transición donde la actividad humana, aunque intensiva, no implica necesariamente la eliminación completa de funciones ecosistémicas. En varios casos, los bordes de las parcelas mantienen setos vivos, franjas de vegetación espontánea o pequeños canales con vegetación hidrófila, que aportan microhábitats y contribuyen marginalmente a la conectividad ecológica entre fragmentos de vegetación secundaria, pastizales y humedales.

En términos de dinámica territorial, la agricultura de riego en el SAR es también un indicador de la evolución en el uso del suelo: algunas áreas agrícolas han sido reconvertidas a pastizal cultivado o a usos urbanos; otras, al ser abandonadas, han iniciado procesos de sucesión secundaria, dando lugar a matorrales o vegetación secundaria de selva baja caducifolia. Esta movilidad en los usos refleja tanto cambios económicos como la presión de la expansión urbana y de la infraestructura asociada al corredor Pánuco–Tampico–Ciudad Madero.

Es importante subrayar que el proyecto no contempla la remoción ni ocupación de áreas actualmente destinadas a agricultura de riego, ni modifica los patrones de tenencia de la tierra asociados a esta actividad. El predio del proyecto se localiza dentro de una zona ya urbanizada o industrialmente transformada, lo que implica que la operación del mismo no generará un desplazamiento de la frontera agrícola, ni una conversión adicional de superficies productivas hacia usos industriales, manteniéndose la actividad agropecuaria existente en el SAR sin afectación directa.

b) Asentamientos humanos

Los asentamientos humanos representan la **cobertura dominante dentro del SAR**, reflejando un proceso de urbanización intensa y prolongada, fuertemente vinculado a la infraestructura portuaria, petroquímica y de servicios de la región metropolitana Tampico–

Ciudad Madero–Pueblo Viejo. Esta matriz urbana ha crecido desde mediados del siglo XX impulsada por actividades energéticas, comerciales y de transporte marítimo, lo que ha derivado en una ocupación intensiva del territorio, con altos niveles de fragmentación ecológica.

Esta cobertura abarca zonas habitacionales consolidadas, sectores de alta densidad urbana, áreas de comercio y servicios, infraestructura ferroviaria, vialidades primarias, plantas de proceso, patios industriales y equipamientos públicos. La concentración de actividades humanas ha modificado profundamente la estructura original del paisaje, reduciendo la presencia de vegetación natural y alterando la interacción entre aire, agua y suelo. Entre las transformaciones ambientales más relevantes destacan: el sellado del suelo por pavimentos y edificaciones, la reducción drástica de la infiltración, el incremento del escurrimiento hacia el sistema lagunar, la fragmentación de hábitats y la presión sobre la calidad del agua por descargas urbanas históricas.

La ubicación del proyecto dentro de esta matriz urbanizada resulta ambientalmente coherente, ya que se inserta en un entorno donde las funciones ecológicas primarias han sido ampliamente reemplazadas por actividades antropogénicas. Por ello, el proyecto **no implica nuevos procesos de urbanización sobre ecosistemas naturales ni aumenta la frontera de ocupación del suelo**, sino que se integra a un tejido ya consolidado, disminuyendo significativamente la posibilidad de generar impactos ambientales irreversibles.

c) Cuerpo de agua

Los cuerpos de agua constituyen cerca del 30% del Sistema Ambiental Regional (SAR), configurando el elemento estructurante más relevante de la dinámica ecológica, hidrológica y socioeconómica de la región. El SAR se integra por un complejo sistema estuarino compuesto por el **Río Pánuco**, la **Laguna de Pueblo Viejo**, el **Río Tamesí**, la **Laguna del Chairel** y una red de canales naturales e intermareales que conectan estos ambientes. Esta red hidrológica sostiene la productividad biológica, la conectividad ecológica y el funcionamiento general del sistema costero.

El Río Pánuco, que colinda directamente con el polígono industrial donde se desarrollará el proyecto, constituye el eje hidrodinámico fundamental del sistema estuarino. En su tramo bajo, donde se ubica el SAR, presenta características típicas de un estuario profundo y de corriente relativamente lenta, influido tanto por aportes fluviales continentales como por la intrusión salina del Golfo de México. Este gradiente dulce–salobre regula la biodiversidad, la calidad del agua y los procesos sedimentarios.

El río se encuentra históricamente modificado por actividades portuarias, energéticas e industriales. Su cuenca baja presenta zonas dragadas para navegación, márgenes

reforzadas y presencia de descargas urbanas históricas provenientes de la zona conurbada de Tampico–Ciudad Madero–Altamira. En ningún caso estas condiciones son inducidas por el proyecto; forman parte del contexto regional preexistente.

La cercanía física del proyecto con el río no implica afectación, ya que:

- No se realizan obras dentro del cauce ni en la zona federal marítimo-terrestre.
- No se modifican márgenes, flujos ni perfiles hidráulicos.
- No se generan descargas sin tratamiento.
- Las nuevas infraestructuras se ubican dentro de un predio ya transformado industrialmente.
- Esta condición asegura compatibilidad ambiental, aun cuando el proyecto se encuentra en proximidad inmediata al río.

La Laguna de Pueblo Viejo, ubicada al norte del SAR, es una de las unidades hidrológicas más importantes de la región. Presenta una extensión aproximada de 93.7 km² y mantiene un régimen salobre influido por el Pánuco. Su borde occidental alberga extensas planicies de **manglar y tular**, que sostienen niveles elevados de productividad primaria y funcionan como sitio de crianza para peces, moluscos y crustáceos.

Aunque ambientalmente valiosa, la laguna **no tiene relación directa con las obras del proyecto**, ni se prevén conexiones, descargas o intervenciones que la afecten.

El Río Tamesí y la Laguna del Chairel complementan la dinámica hidrológica regional. El Tamesí aporta agua dulce que contrarresta la salinidad del Pánuco, mientras que el Chairel funciona como vaso regulador para abastecimiento urbano. Juntos, ambos cuerpos de agua influyen en la estabilidad de nutrientes, salinidad y sedimentos dentro del estuario. Al igual que la Laguna de Pueblo Viejo, estos sistemas se encuentran **fuera del área de influencia directa del proyecto** y no son afectados por su operación.

El conjunto hidrológico del SAR permite:

- **Conectividad ecológica** entre humedales, ríos y lagunas.
- **Hábitat para aves acuáticas**, residentes y migratorias.
- **Reclutamiento y crianza de peces y crustáceos**, muchos de interés económico.
- **Amortiguamiento ante eventos hidrometeorológicos**, especialmente marejadas e inundaciones.
- **Mantenimiento de gradientes físico-químicos** esenciales para la vida estuarina.

Estos procesos se mantienen intactos bajo el diseño del proyecto, que **no altera dinámicas hidrológicas ni la integridad funcional del estuario**.

El tramo del Río Pánuco frente al proyecto evidencia presiones históricas provenientes de usos urbano-industriales previos, entre ellas:

- Descargas urbanas y pluviales antiguas,
- Presencia de cianofíceas indicadoras de nutrientes,
- Márgenes modificadas,
- Actividad portuaria y de transporte fluvial.

El proyecto **no incrementa estas presiones**, ya que incorpora tratamiento, regulación y monitoreo, colocándolo como una actividad **compatiblemente ambiental** dentro de un entorno ya transformado.

d) Manglar

Dentro del Sistema Ambiental Regional, el manglar aparece como uno de los componentes ecológicos más estructurantes y sensibles. Su presencia se reconoce a lo largo de los bordes inundables de la Laguna de Pueblo Viejo y en distintos sectores del estuario del río Pánuco, donde las condiciones de salinidad variable, el pulso mareal y la dinámica de sedimentación favorecen el establecimiento de complejos bosques intermareales que actúan como verdaderos estabilizadores del sistema lagunar. A pesar de que la región se encuentra sometida a intensos procesos urbanos e industriales desde hace décadas, los manglares continúan ocupando una extensión significativa que les permite mantener funciones ecológicas esenciales para la integridad del SAR.

El manglar del área se compone principalmente de asociaciones de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, cuya distribución responde a sutiles gradientes de salinidad, tipo de sustrato, frecuencia de inundación y proximidad a cuerpos de agua abiertos. En las zonas más expuestas a la dinámica fluvial y mareal se desarrollan individuos robustos de mangle rojo, con sus raíces zancudas dispuestas para resistir el movimiento constante del agua y capturar sedimentos finos, mientras que en áreas más protegidas o de mayor aportación de agua dulce predominan las comunidades de mangle negro y blanco, las cuales muestran adaptaciones diferenciales a los niveles de anoxia del suelo y a la concentración de sales en el sustrato.

La estructura de estos manglares, aunque en algunos sectores fragmentada por la expansión urbana, mantiene una capacidad funcional sorprendente. Los entramados radiculares constituyen un elemento fundamental para la estabilización de los márgenes lagunares y fluviales, pues reducen la erosión, atrapan partículas suspendidas y generan nuevas superficies de sedimentación que permiten el avance natural del ecosistema. A esta función geomorfológica se suma un papel hidrológico de enorme importancia, ya que los manglares actúan como filtros biogeoquímicos capaces de mejorar la calidad del agua al retener nutrientes, metales y sedimentos provenientes de las actividades antrópicas de la

región. Esta capacidad amortigua la presión que históricamente ha ejercido la urbanización y las descargas residuales sobre las lagunas y brazos de agua del estuario.

Desde la perspectiva ecológica, el manglar constituye la base de una extensa red de interacciones biológicas, pues ofrece refugio, áreas de alimentación y sitios de reproducción para una amplia variedad de especies. Los juveniles de peces y crustáceos encuentran en las raíces sumergidas un entorno protegido que les permite completar etapas críticas de su desarrollo, mientras que numerosas aves acuáticas utilizan estos parches para descansar, anidar o alimentarse durante sus rutas migratorias. La combinación de agua dulce del Pánuco, agua salobre de la laguna y la influencia marina crea uno de los contextos estuarinos más productivos del Golfo de México, y el manglar es la pieza que articula esta productividad.

A lo largo del tiempo, estos ecosistemas han sido sometidos a presiones significativas derivadas de la expansión urbana, las actividades industriales, la construcción de infraestructura portuaria, los rellenos irregulares y las modificaciones al régimen hidrológico. Sin embargo, la permanencia y resiliencia de las comunidades de manglar dentro del SAR demuestran que, pese a la transformación del paisaje regional, los elementos esenciales del sistema ecológico todavía se mantienen activos. La continuidad de las manchas de manglar asociadas a la Laguna de Pueblo Viejo y a los canales interiores del Pánuco constituye una pieza clave para la estabilidad ambiental del conjunto, pues estos bosques siguen regulando procesos hidrológicos, amortiguando eventos meteorológicos extremos, capturando carbono en sus suelos y manteniendo la conectividad ecológica entre humedales, lagunas y cuerpos de agua mayores.

Así, el manglar no solo representa un tipo de vegetación dentro del SAR, sino el eje que sostiene la estructura funcional del sistema estuarino. Su presencia determina la dinámica hidrológica, la calidad del agua, la productividad biológica y la capacidad de la región para enfrentar escenarios de cambio climático. Los manglares de Pueblo Viejo, Pánuco y Ciudad Madero conservan todavía una integridad suficiente para mantener estos procesos, pese a encontrarse rodeados por una matriz intensamente transformada. Su conservación y funcionamiento natural resultan indispensables para comprender —y preservar— el equilibrio ecológico del SAR.

e) Pastizal cultivado

Dentro del Sistema Ambiental Regional, el pastizal cultivado ocupa una proporción considerable del paisaje, conformando manchas continuas en zonas ligeramente elevadas o en áreas que, por su condición topográfica, quedan fuera de los pulsos de inundación más intensos que caracterizan al sistema lagunar del Pánuco–Pueblo Viejo. Se desarrolla principalmente en superficies previamente destinadas a cultivos, praderas inducidas y terrenos acondicionados para actividades pecuarias extensivas, los cuales han sido

modelados por la intervención humana durante décadas y presentan una estructura vegetal dominada por gramíneas de origen introducido, de rápido establecimiento y alta tolerancia a variaciones en humedad y salinidad.
El pastizal cultivado del SAR no corresponde a una comunidad natural, sino a un sistema vegetal antropogénico que ha reemplazado a la vegetación nativa en amplias zonas de la planicie costera. Aun así, su presencia no debe entenderse como un simple uso productivo, pues desempeña funciones ambientales relevantes dentro del mosaico territorial. La estructura herbácea, compuesta por gramíneas como *Panicum*, *Cynodon* y *Paspalum*, genera una superficie permeable que favorece la infiltración en un contexto donde el sellamiento urbano y los suelos desnudos han limitado esta capacidad. Esto permite que el pastizal funcione como un amortiguador hidrológico, capaz de reducir escurrimientos superficiales hacia las lagunas y mitigar la erosión en sectores expuestos a la acción del viento y al tránsito de ganado.

A pesar de su origen inducido, estos pastizales representan zonas de transición entre los sistemas agrícolas, los fragmentos de vegetación secundaria y los humedales del SAR, facilitando la dispersión de fauna pequeña y permitiendo la presencia de especies oportunistas que dependen de espacios abiertos para alimentarse o refugiarse temporalmente. Dentro de estas áreas pueden observarse aves granívoras y rapaces que utilizan el hábitat para la caza, así como pequeños mamíferos y reptiles que encuentran en la estructura herbácea condiciones adecuadas de temperatura y cobertura.

El papel del pastizal cultivado también se vuelve relevante en términos de conectividad ecológica. Aunque no posee el valor biológico intrínseco de los humedales, manglares o selvas bajas, sí contribuye a mantener cierta continuidad entre los componentes vegetales del SAR, especialmente en zonas donde la matriz urbana-industrial ha fragmentado significativamente el paisaje. En este sentido, los pastizales actúan como corredores funcionales de baja resistencia ecológica, permitiendo el desplazamiento estacional de fauna y reduciendo el aislamiento entre parches de vegetación más complejos.

La dinámica del pastizal está fuertemente ligada a actividades humanas. La periodicidad de pastoreo, la intensidad del uso pecuario y las prácticas de mantenimiento determinan la estructura, productividad y composición florística del sistema. En algunos sectores se observan suelos compactados por sobrepastoreo, lo que reduce la infiltración y aumenta la susceptibilidad a la erosión; en otros, la regeneración es más activa, permitiendo que el pastizal adquiera características semi-naturales y se mezcle con especies nativas herbáceas propias de la región costera.

En términos de su papel dentro del SAR, el pastizal cultivado no puede calificarse como un ecosistema de alta prioridad ambiental; sin embargo, sí representa un componente que equilibra la matriz global del territorio, pues atenúa los efectos de la urbanización y mantiene zonas con capacidad de filtración y retención hídrica. También provee un amortiguamiento

espacial entre áreas densamente transformadas y ecosistemas más sensibles, como los tulares y los remanentes de selva baja caducifolia.

La permanencia de estos pastizales dentro del SAR refleja una historia de modificaciones agrícolas y ganaderas que transformaron gran parte de la planicie costera desde mediados del siglo XX. Aun cuando su origen es antropogénico, su rol en la dinámica actual es innegable, pues contribuyen a la funcionalidad hidrológica y ecológica del paisaje y permiten que el territorio conserve una heterogeneidad estructural que sería difícil de mantener si el proceso de urbanización hubiera avanzado sin restricciones.

f) Sin vegetación aparente

Dentro del Sistema Ambiental Regional, las áreas clasificadas como "sin vegetación aparente" representan superficies donde la cobertura vegetal ha sido removida total o parcialmente debido a procesos recientes de transformación antrópica. Aunque su extensión es relativamente reducida en comparación con otros usos y coberturas del SAR, su presencia adquiere relevancia ambiental porque refleja dinámicas activas de cambio en el territorio, asociadas principalmente a actividades urbanas, industriales, portuarias o de infraestructura que han modificado de manera directa el sustrato y las condiciones ecológicas originales.

Estas zonas suelen ubicarse en espacios donde el suelo ha sido sometido a desmontes, nivelaciones, rellenos o movimientos de tierra que alteran su estructura, su capacidad de retención hídrica y sus propiedades físico-químicas. Se observan con frecuencia en polígonos destinados a obras nuevas, en etapas iniciales de urbanización, en ampliaciones industriales, en rutas de acceso o en áreas donde se han realizado excavaciones o depósitos de materiales. Algunas superficies corresponden también a terraplenes compactados, explanadas en preparación o zonas erosionadas en las que la vegetación no ha logrado restablecerse debido a condiciones de estrés físico, alta salinidad, compactación o perturbación continua.

Desde un punto de vista ecológico, la ausencia de vegetación implica una disminución notable de la capacidad del terreno para cumplir funciones básicas como la infiltración, estabilización del suelo, regulación microclimática o provisión de hábitat. Sin embargo, estas áreas no deben interpretarse únicamente como zonas degradadas; también constituyen espacios transicionales dentro del SAR, donde la dinámica de uso del territorio muestra hacia dónde se orienta la ocupación humana y cómo se reconfigura la matriz ambiental. En muchos casos, la falta de vegetación no obedece a procesos naturales, sino a la preparación del terreno para actividades productivas, infraestructura o desarrollo urbano, lo cual modifica el balance ecológico local.

El comportamiento hidrológico de estas áreas es especialmente relevante. La compactación del sustrato o la presencia de rellenos de baja permeabilidad reducen significativamente la infiltración, generando escurrimientos superficiales más rápidos y con mayor carga de sedimentos hacia los cuerpos de agua cercanos. En un SAR dominado por lagunas, humedales y zonas intermareales, estos cambios pueden influir en la turbidez, sedimentación y calidad del agua en sectores sensibles del estuario. A su vez, la falta de cobertura vegetal incrementa la vulnerabilidad del suelo frente a procesos de erosión eólica y pluvial, un aspecto particularmente significativo en zonas costeras donde la dinámica atmosférica puede ser intensa.

Aun cuando estas áreas no tienen valor ecológico intrínseco elevado, sí poseen importancia analítica dentro del contexto del SAR, ya que indican el grado de presión urbanística e industrial al que está sometida la región y la rapidez con la que el paisaje se transforma. Funcionan como indicadores del estado de la matriz ambiental dominante y permiten identificar patrones de expansión, vacíos urbanos y zonas en las que la vegetación original ha sido removida sin que se haya consolidado un uso final del suelo.

La presencia de superficies sin vegetación aparente también puede considerarse un reflejo de la transición histórica del territorio, donde la planicie costera del Pánuco ha pasado de un entorno rural-hidrológico a convertirse en un espacio fuertemente articulado por infraestructura portuaria, energética, vial y productiva. Estas áreas, al encontrarse en estados intermedios de transformación, también pueden recuperar cobertura vegetal de manera natural si las condiciones lo permiten, aunque dicho proceso es lento y depende de la disponibilidad de suelo fértil, agua, menor compactación y ausencia de perturbación continua.

En síntesis, las zonas sin vegetación aparente del SAR evidencian el pulso de transformación territorial al que está sujeta la región, mostrando tanto la huella reciente de las actividades humanas como la dinámica inherente de la planicie costera sometida a procesos de modificación constante. Aunque carecen de valor ecosistémico en sentido estricto, su análisis es indispensable para comprender el funcionamiento integral del SAR y su tendencia hacia la consolidación de usos urbanos e industriales en un entorno donde los humedales, cuerpos de agua y vegetación natural aún desempeñan funciones ecológicas esenciales.

g) Tular

Dentro del Sistema Ambiental Regional, el tular ocupa una posición ecológica fundamental al constituir uno de los humedales dulceacuícolas más extendidos y productivos del paisaje estuarino. Su distribución se reconoce principalmente en los márgenes interiores de la Laguna de Pueblo Viejo, en depresiones topográficas de inundación recurrente y en corredores hidrológicos que actúan como vasos comunicantes entre el sistema lagunar, los

canales de drenaje natural y los flujos provenientes del río Pánuco. En estas zonas, donde la lámina de agua es somera y los suelos se mantienen saturados la mayor parte del año, proliferan densos macizos de *Typha domingensis*, *Scirpus californicus* y otras ciperáceas que forman extensas comunidades herbáceas capaces de sostener procesos biogeoquímicos de gran importancia para la estabilidad del SAR.
El tular del área no es un componente aislado, sino un sistema altamente dinámico que responde de manera directa a variaciones en el nivel del agua, la disponibilidad de nutrientes, la influencia de mareas y la interacción con otros humedales como el manglar. La estructura compacta y elevada de estas plantas genera un ambiente con una marcada estratificación vertical, donde la acumulación de materia orgánica, la descomposición lenta y las condiciones anóxicas facilitan la formación de suelos turbosos que funcionan como sumideros naturales de carbono. Este almacenamiento, aunque menos visible que en sistemas arbóreos, posee un valor significativo dentro de los humedales del Golfo de México.

La función hidrológica del tular es particularmente destacada. Al encontrarse en zonas de transición entre cuerpos de agua abiertos y superficies emergidas, actúa como un filtro natural que intercepta sedimentos, metales, nutrientes y contaminantes transportados por escorrentías superficiales o aportes fluviales. Su densa biomasa ralentiza los flujos hidráulicos, permitiendo que las partículas se depositen y reduciendo así la turbidez del agua en sectores donde las descargas urbanas históricas y los procesos de erosión podrían haber afectado la calidad del estuario. Gracias a esta función, el tular contribuye directamente a la mejora del balance ecológico del sistema lagunar, manteniendo condiciones favorables para especies acuáticas y para la recuperación de oxígeno en el agua.

Desde la perspectiva biológica, estos humedales constituyen un hábitat altamente productivo que sostiene una notable diversidad de fauna. En los tulares del SAR es común observar aves acuáticas residentes y migratorias que encuentran en la vegetación densa un lugar seguro para anidar, alimentarse o resguardarse durante sus desplazamientos estacionales. Los tulares también son refugio para anfibios, reptiles y pequeños mamíferos, además de funcionar como ambientes esenciales para el desarrollo de larvas y juveniles de diversas especies de peces que utilizan estas zonas como viveros naturales debido a su baja profundidad, protección vegetal y abundante disponibilidad de alimento.

El comportamiento espacial del tular lo convierte en un indicador ecológico de alta sensibilidad frente a cambios en el régimen hidrológico. Su expansión o retracción depende directamente del nivel del agua, del grado de eutrofización, de la calidad del sustrato y de la continuidad de los flujos superficiales. En décadas recientes, la dinámica de urbanización, la instalación de infraestructura y las modificaciones hidrológicas en segmentos del Pánuco y las lagunas adyacentes han alterado el patrón de inundación estacional, generando variaciones en la extensión y densidad del tular. No obstante, la persistencia de amplias

superficies de este ecosistema en el SAR demuestra que los procesos ecológicos fundamentales aún se mantienen, y que el sistema conserva una capacidad natural de regulación y resiliencia.

Más allá de su valor ecológico directo, el tular cumple un papel de estabilización en la transición entre ecosistemas de mayor complejidad, como el manglar, y áreas donde el uso humano del territorio ha sido más intensivo. En estos límites, el tular funciona como un amortiguador biológico que reduce el impacto de los cambios bruscos en el paisaje, favorece la infiltración en suelos saturados y contribuye a mantener la continuidad ecológica en un territorio marcado por la fragmentación.

La importancia del tular dentro del SAR trasciende su apariencia simple o su carácter herbáceo. Su presencia denota la existencia de un sistema hidrológico vivo y funcional, capaz de sostener procesos ecológicos de alta productividad, de regular la calidad del agua y de brindar soporte a una biodiversidad estrechamente vinculada a los humedales. En un entorno donde convergen actividades urbanas, industriales y portuarias, el tular se mantiene como una pieza clave para el equilibrio ambiental regional, preservando funciones indispensables para la estabilidad ecológica del conjunto del estuario.

h) Vegetación de dunas costeras

Dentro del Sistema Ambiental Regional, la vegetación de dunas costeras aparece como un componente particularmente limitado en extensión, pero extraordinariamente valioso por las funciones ecológicas y geomorfológicas que desempeña. Aunque su superficie dentro del SAR es reducida, su presencia en la franja litoral —especialmente en los sectores costeros de Ciudad Madero y Playa Miramar— constituye una evidencia clara de la interacción permanente entre procesos marinos, eólicos y sedimentarios que modelan la morfología de esta porción del Golfo de México. En estos espacios, donde la arena es depositada y redistribuida continuamente por el viento y el oleaje, prosperan comunidades vegetales altamente especializadas, adaptadas a condiciones extremas de salinidad, exposición solar y movilidad constante del sustrato.

La vegetación de dunas costeras del SAR está integrada principalmente por especies como *Ipomoea pes-caprae*, *Canavalia rosea*, *Uniola paniculata* y otras herbáceas rastreras que presentan notables adaptaciones fisiológicas para sobrevivir en suelos pobres, inestables y con baja disponibilidad de nutrientes. La morfología de estas plantas, caracterizada por sistemas radiculares extendidos y profundos, hojas resistentes a la desecación y estructuras flexibles capaces de soportar el enterramiento parcial, les permite colonizar superficies arenosas recién formadas o en constante movimiento. Gracias a ello, estas especies actúan como fijadoras primarias de la arena, estabilizando los médanos y permitiendo que se desarrollen procesos sucesionales hacia estados vegetales más complejos cuando las condiciones lo permiten.

Si bien su apariencia puede resultar sencilla a primera vista, la vegetación de dunas costeras cumple un papel crucial como primera línea de defensa natural ante eventos meteorológicos extremos. Las tormentas, marejadas y vientos intensos que caracterizan la dinámica del Golfo de México encuentran en estas comunidades una barrera biofísica que disipa parte de la energía antes de que alcance áreas interiores más vulnerables. De esta manera, los cordones dunares vegetados funcionan como protección natural contra la erosión costera, la intrusión salina y la pérdida de sedimentos, contribuyendo a la estabilidad de la línea de costa y a la integridad general del sistema litoral.

Además de su relevancia geomorfológica, la vegetación de dunas costeras del SAR brinda un hábitat singular para diversas especies de fauna, en particular insectos, aves playeras y pequeños reptiles que encuentran en estos ambientes abiertos, soleados y discretamente vegetados las condiciones que requieren para reproducirse, alimentarse o desplazarse. Algunas aves migratorias utilizan estas zonas como espacios de descanso durante sus rutas estacionales, mientras que ciertos organismos adaptados a ambientes arenosos dependen de manera estricta de la cobertura vegetal dunar para completar sus ciclos de vida. Aunque no se trata de un ecosistema de alta diversidad florística, su valor radica en su especialización y en la función ecológica que desempeña en un entorno donde los procesos costeros son determinantes para la dinámica regional.

La vegetación de dunas costeras también constituye un indicador sensible del estado ambiental del litoral. Cualquier alteración en la disponibilidad de sedimentos, en los patrones de viento o en la estabilidad del sustrato —ya sea por obras de infraestructura, tránsito vehicular, urbanización o cambios en el régimen hidrodinámico— puede afectar inmediatamente su estructura y composición. Su presencia evidencia que la costa aún mantiene sectores con funcionamiento ecológico natural, pese a la presión creciente del desarrollo urbano y turístico en la región conurbada.

Si bien este tipo de vegetación no se encuentra distribuido de manera uniforme dentro del SAR, su existencia, por mínima que sea, resulta esencial para comprender la dinámica de la planicie costera y la manera en que interactúan los distintos elementos del paisaje. Su protección y reconocimiento dentro del sistema estuarino no solo responde a su valor intrínseco, sino también a su rol como amortiguador natural frente a los efectos del cambio climático, particularmente la elevación del nivel del mar y el incremento de eventos meteorológicos intensos.

En suma, la vegetación de dunas costeras, aunque restringida espacialmente, constituye un elemento clave para la estabilidad del SAR. Su presencia sostiene procesos ecológicos, geomorfológicos y climáticos que influyen directamente en la conservación de la línea de costa y en la resiliencia de todo el sistema ambiental frente a presiones antrópicas y fenómenos naturales.

i) Vegetación secundaria de selva baja caducifolia

La vegetación secundaria de selva baja caducifolia aparece como un testimonio persistente de la cobertura original que dominaba amplias zonas de la planicie costera antes de que la región fuera transformada por actividades agrícolas, ganaderas, urbanas e industriales. Aunque su representación espacial dentro del SAR es relativamente reducida, estos remanentes poseen un significado ecológico considerable, pues revelan la capacidad de regeneración natural del ecosistema y permiten reconstruir, al menos parcialmente, la estructura y composición de la vegetación primigenia en un territorio hoy altamente intervenido. Esta vegetación se distribuye principalmente en áreas ligeramente elevadas, fuera de la influencia directa de las inundaciones estacionales, en terrazas fluviales antiguas, lomeríos bajos y superficies que han quedado al margen de los procesos más intensos de urbanización. Muchos de estos parches se desarrollan en terrenos anteriormente utilizados para agricultura o pastoreo, donde la reducción o abandono de las actividades productivas ha permitido la recolonización gradual por parte de especies nativas adaptadas a condiciones estacionales de sequía, altas temperaturas y suelos con niveles variables de salinidad.

La composición florística de estos remanentes refleja la esencia de la selva baja caducifolia del Golfo Norte, caracterizada por especies como *Bursera simaruba*, *Prosopis juliflora*, *Croton* spp., *Caesalpinia*, *Tabebuia*, *Ceiba aesculifolia* y una variedad de arbustos y lianas que definen una estructura vegetativa baja, densa y notablemente heterogénea. La mayoría de estas especies presentan adaptaciones fisiológicas que les permiten soportar condiciones prolongadas sin lluvia; sus hojas suelen ser pequeñas o caducas, y sus troncos y ramas almacenan agua o presentan cortezas exfoliantes que facilitan la termorregulación. Aunque se trata de vegetación secundaria, su presencia reviste una importancia ecológica superior a la que podría suponerse por su extensión. Estos parches funcionan como áreas de refugio para fauna terrestre que requiere ambientes menos perturbados y con cobertura vegetal continua. Pequeños mamíferos, reptiles, aves insectívoras y polinizadores utilizan estas islas vegetales como puntos de alimentación, desplazamiento y protección frente a la presión urbana. Su estructura permite además la germinación y establecimiento de especies nativas que, sin estos parches, quedarían aisladas en un paisaje dominado por asentamientos humanos, pastizales inducidos y superficies sin vegetación.

El papel de la vegetación secundaria de selva baja caducifolia en términos de conectividad ecológica es especialmente relevante. En un SAR donde los ecosistemas más sensibles —como manglares, tulares y dunas costeras— se encuentran fragmentados por actividades urbanas e industriales, estos remanentes funcionan como corredores biológicos de baja resistencia, permitiendo que especies de fauna puedan transitar entre distintos hábitats sin quedar confinadas a espacios aislados. Este papel como conectores ecológicos adquiere

mayor valor ante escenarios de cambio climático, donde la movilidad de especies resulta esencial para su adaptación.

Desde una perspectiva ambiental, los parches de vegetación secundaria cumplen también funciones asociadas a la regulación microclimática y la estabilidad del suelo. La cobertura que generan reduce la erosión en superficies expuestas y contribuye a la infiltración del agua, evitando escurrimientos intensos hacia los cuerpos de agua del estuario. En zonas donde la degradación del suelo es evidente, esta vegetación constituye el primer paso hacia procesos sucesionales más complejos, siempre y cuando las condiciones ambientales y la presión humana lo permitan.
La distribución actual de esta vegetación dentro del SAR es resultado directo de procesos históricos de uso del suelo. La expansión agrícola e industrial, el crecimiento de la mancha urbana y la apertura de infraestructura vial redujeron de manera considerable la selva baja original, dejando únicamente fragmentos dispersos que lograron persistir en áreas marginales o menos aptas para el desarrollo urbano. No obstante, estos remanentes poseen una resiliencia significativa que permite observar cómo la vegetación nativa, incluso en condiciones de alta presión antrópica, conserva la capacidad de regenerarse cuando se presentan ventanas ecológicas de oportunidad.

En conjunto, la vegetación secundaria de selva baja caducifolia dentro del SAR representa un elemento clave para comprender la historia ambiental de la región, así como su potencial futuro de recuperación ecológica. Su presencia sostiene procesos biológicos esenciales, contribuye al equilibrio del paisaje y reafirma el valor de mantener estos parches remanentes como parte integral de la heterogeneidad ecológica que aún persiste en la planicie costera del Pánuco.

IV.2.2.1.1 Tendencias de desarrollo y deterioro de la vegetación en el SAR

El análisis integrado del uso de suelo y los tipos de vegetación presentes en el Sistema Ambiental Regional revela un territorio altamente dinámico, donde convergen procesos de transformación urbana, industrial y agropecuaria con remanentes de ecosistemas costeros de alto valor ambiental. Las tendencias actuales reflejan una marcada asimetría entre los procesos de deterioro —dominados por el avance urbano, la modificación hidrológica y la presión antrópica acumulada— y los procesos de desarrollo o recuperación ecológica, generalmente restringidos a parches aislados con capacidad de regeneración natural.

1. Tendencia dominante: expansión urbana e industrial y presión sobre la vegetación costera

La tendencia de mayor peso dentro del SAR es la **expansión espacial continua de los asentamientos humanos**, que ya representan más del 31% de la superficie regional. La

consolidación de la zona metropolitana Tampico–Ciudad Madero y su integración funcional con Pueblo Viejo y Pánuco ha producido:

- Sustitución progresiva de cobertura vegetal, especialmente pastizales inducidos y vegetación secundaria.
- Fragmentación de los tulares y bordes de manglar asociados a la Laguna de Pueblo Viejo y al sistema fluvio-lagunar del Pánuco.
- Aumento de superficies impermeabilizadas, que intensifica los procesos de escurrimiento y erosión y reduce la capacidad del suelo y la vegetación para retener humedad.

Este patrón constituye la principal fuerza de **deterioro estructural** de la vegetación en la región, ya que transforma la funcionalidad ecológica de los paisajes costeros y reduce la capacidad de los ecosistemas para conectarse entre sí.

2. Ecosistemas costeros con alta vulnerabilidad: manglares, tulares y dunas

Los ecosistemas de humedal y las dunas costeras muestran una tendencia histórica de **reducción, fragmentación y presión por ocupación de suelo** debido a:

- Rellenos y modificaciones hidrológicas en bordos lagunares.
- Apertura de vialidades y accesos productivos.
- Cambios en la calidad del agua por aportes urbanos y agrícolas.
- Disminución de superficies inundables por alteraciones en el ciclo hidráulico del Pánuco y cuerpos lagunares.

Los manglares, aunque todavía ampliamente representados (11% del SAR), presentan **pérdida de continuidad espacial**, lo cual afecta sus funciones de conectividad ecológica, protección costera y crianza de especies acuáticas.

El tular muestra comportamientos similares: **alto valor ecológico con alta sensibilidad a cambios hidrológicos**, especialmente a variaciones en el nivel de lámina de agua o en la calidad del agua.

Las dunas costeras, por su parte, poseen la menor extensión y la mayor fragilidad; la tendencia actual es de **contracción** debido al turismo y la expansión urbana en la franja costera de Ciudad Madero.

3. Regeneración natural y dinamismo ecológico en la vegetación secundaria

En contraste con los ecosistemas más sensibles, la vegetación secundaria de selva baja caducifolia refleja una tendencia distinta: **regeneración gradual**, aunque limitada espacialmente. Estos remanentes se desarrollan principalmente en:

- Lomeríos y terrazas fluviales menos aptos para el desarrollo urbano.
- Superficies agrícolas abandonadas.
- Intersticios entre infraestructura vial y zonas de humedal.

La tendencia general para este tipo de vegetación es **mixta**:

- **Desarrollo:** en sitios donde disminuye la presión productiva o urbana, se observa recuperación espontánea y establecimiento de especies nativas.
- **Deterioro:** en áreas cercanas a la matriz urbana, la vegetación secundaria es reemplazada por usos industriales, rellenos o pastizales inducidos.

Aunque estos parches no representan grandes extensiones, desempeñan un papel crucial en la **conectividad ecológica** del SAR, permitiendo que la fauna terrestre se desplace entre humedales y zonas menos perturbadas.

4. Tendencias en pastizales inducidos y agricultura de riego

Los pastizales cultivados y la agricultura de riego anual muestran una tendencia ligada a las condiciones económicas y productivas del entorno:

- Parte de los pastizales inducidos tiende a convertirse en suelo urbano o en superficies para servicios logísticos e industriales.
- Algunas áreas agrícolas mantienen su superficie; sin embargo, el abandono temporal de cultivos permite en ocasiones el desarrollo de vegetación secundaria, generando **ciclos de sucesión temprana**.

Ambos usos mantienen la tendencia de **presión intermedia**, con fluctuaciones dependiendo de las actividades económicas regionales.

5. Terrenos sin vegetación aparente: indicador de presión antrópica activa

Las superficies clasificadas como "sin vegetación aparente", aunque representan menos del 1%, son indicadores directos de **procesos activos de movimiento de tierra, construcción, erosión o abandono**.

La tendencia dominante en estas áreas es el **cambio acelerado de uso**, generalmente hacia infraestructura urbana, rellenos o instalaciones productivas, lo que constituye una señal clara de deterioro ambiental y presión constante sobre los ecosistemas circundantes.

6. Tendencia regional integrada: pérdida de continuidad ecosistémica

El SAR presenta un patrón espacial donde:

- La vegetación natural y seminatural (manglar, tular, selva baja secundaria, dunas costeras) forma **parches aislados** rodeados por una matriz urbana-industrial en expansión.
- Los corredores ecológicos se han reducido, especialmente a lo largo del Pánuco y en las conexiones entre cuerpos de agua y humedales.
- Las dinámicas hidrológicas —esenciales para la supervivencia del manglar y el tular— muestran **sensibilidad creciente** a modificaciones humanas.

En su conjunto, la tendencia predominante es hacia **la fragmentación ecológica**, con implicaciones sobre la biodiversidad, el funcionamiento hidrológico regional y la resiliencia climática.

7. Síntesis de tendencias

Tabla 15. Resumen de las tendencias de desarrollo y deterioro dentro del SAR.

Tipo de cobertura	Tendencia predominante
Manglar	Deterioro por fragmentación y presión hidrológica
Tular	Alta vulnerabilidad; contracción parcial por modificaciones hidráulicas
Dunas costeras	Deterioro severo; reducción continua
Vegetación secundaria	Desarrollo localizado y dinámico, pero limitado por urbanización
Pastizal cultivado	Sustitución gradual por usos urbanos
Agricultura de riego	Estable con variabilidad; ocasional regeneración secundaria
Asentamientos humanos	Expansión continua
Zonas sin vegetación	Indicador de presión antrópica activa y cambio de uso

IV.2.2.2 Uso de suelo y vegetación terrestre en el Área del proyecto

El área del proyecto se localiza dentro de un predio industrial consolidado que ha sido modificado por actividades productivas, movimientos de tierra, construcción de plataformas, patios de maniobra y diversas instalaciones asociadas al sector energético y manufacturero. Debido a esta trayectoria de uso intensivo, la mayor parte de la superficie presenta condiciones de degradación avanzada, ausencia de cobertura vegetal y un suelo profundamente alterado, lo cual define un paisaje altamente antropizado.

En su estado actual, el predio muestra un predominio casi absoluto de áreas clasificadas como **"sin vegetación aparente"**, que corresponden a explanadas compactadas, rellenos, superficies niveladas, capas de materiales pétreos, zonas de tránsito de maquinaria, áreas de depósito de materiales y sectores donde la estructura del suelo ha perdido los horizontes fértiles necesarios para permitir el establecimiento de una comunidad vegetal estable. Esta ausencia de vegetación no constituye únicamente un rasgo superficial, sino que representa

una condición ecológica profunda: los suelos compactados presentan baja porosidad, mínima infiltración, escasa retención de humedad y pérdida severa de materia orgánica, lo cual inhibe de manera significativa la sucesión ecológica y la capacidad de regeneración del ecosistema. Dentro de este contexto, el predio funciona como un espacio ambientalmente simplificado, con muy baja funcionalidad ecológica y exclusivamente apto para usos industriales.

Sin embargo, pese a la fuerte transformación del predio, **las parcelas 7 y 8 conservan segmentos de vegetación secundaria de selva baja caducifolia**. En estos fragmentos, la vegetación esta establecida de manera natural, dando lugar a una comunidad secundaria típica de ambientes perturbados en planicies costeras. Esta vegetación se caracteriza por una estructura discontinua, compuesta por especies pioneras y heliófitas que colonizan con facilidad sitios abiertos o degradados.
Dentro de este mosaico vegetal se identifican especies características de ambientes secundarios, tales como *Leucaena leucocephala*, *Acacia farnesiana*, *Acacia cornigera*, *Prosopis laevigata*, *Guazuma ulmifolia*, *Cordia dentata* y *Neltuma laevigata*, acompañadas por herbáceas resistentes al disturbio como *Chloris barbata*, *Distichlis spicata*, *Heliotropium curassavicum*, *Neptunia plena*, *Phragmites australis* en zonas húmedas locales, así como algunas especies introducidas o naturalizadas como *Nicotiana glauca*. Estas comunidades, aun cuando no representan ecosistemas primarios ni conservan la estructura original de la selva baja caducifolia de la región, cumplen un papel ecológico modesto pero significativo en términos de recaptura de suelo desnudo, retención de humedad superficial, oferta de sitios de refugio para fauna de pequeño tamaño y aportación de heterogeneidad al paisaje. Su presencia refleja la capacidad regenerativa de la vegetación en zonas perturbadas, aunque su funcionalidad es limitada debido al escaso desarrollo estructural y al aislamiento dentro de una matriz industrial.

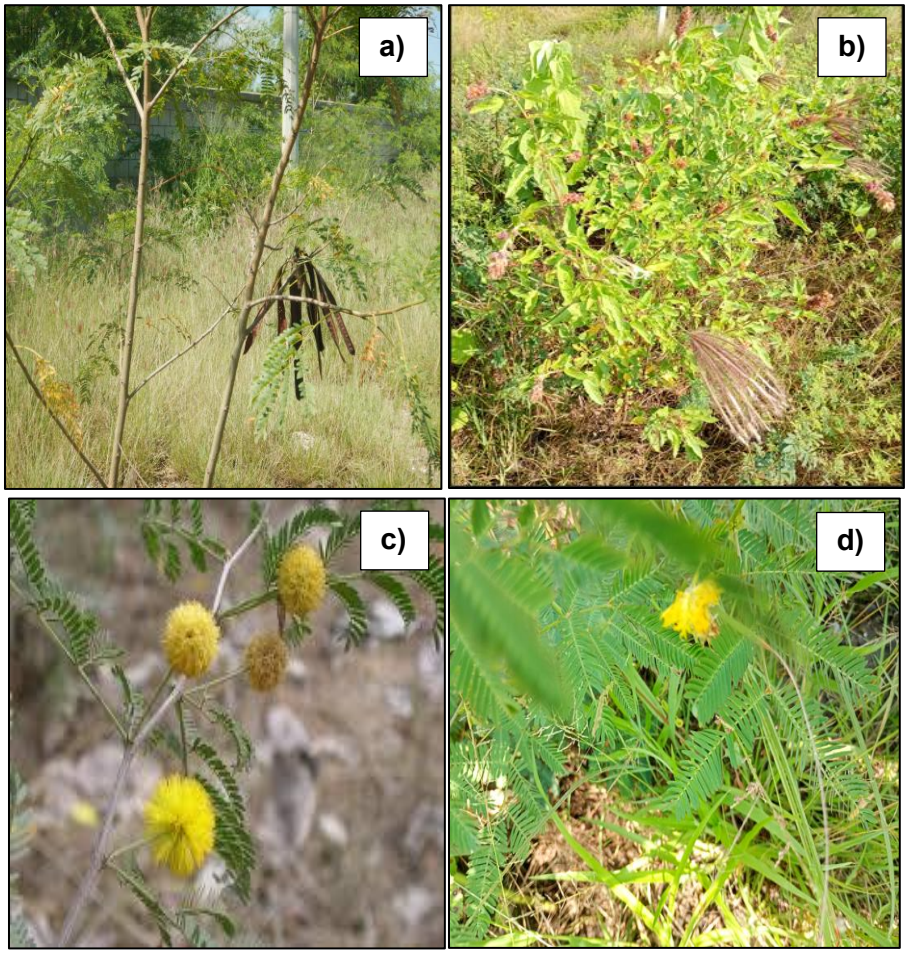
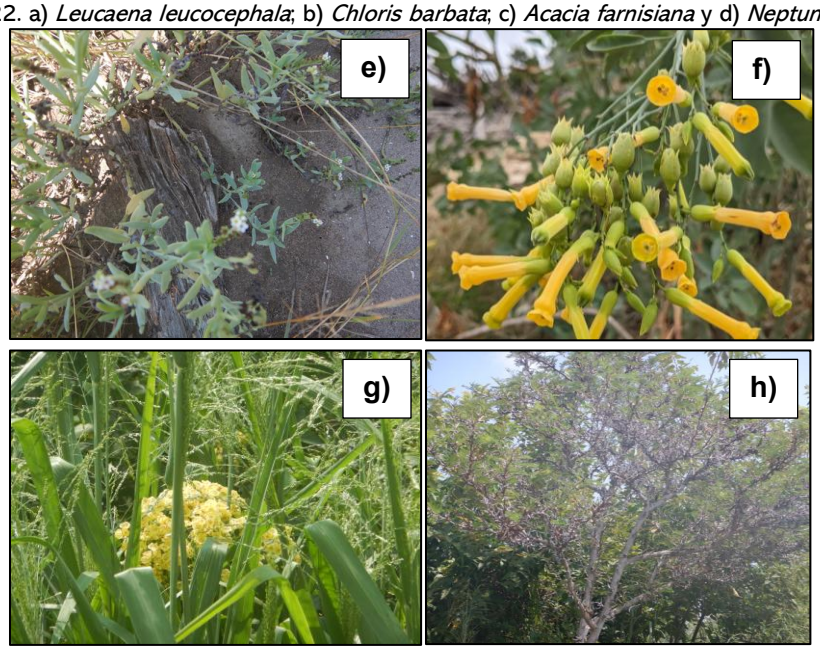


Figura 22. a) *Leucaena leucocephala*; b) *Chloris barbata*; c) *Acacia farnisiana* y d) *Neptunia plena.*



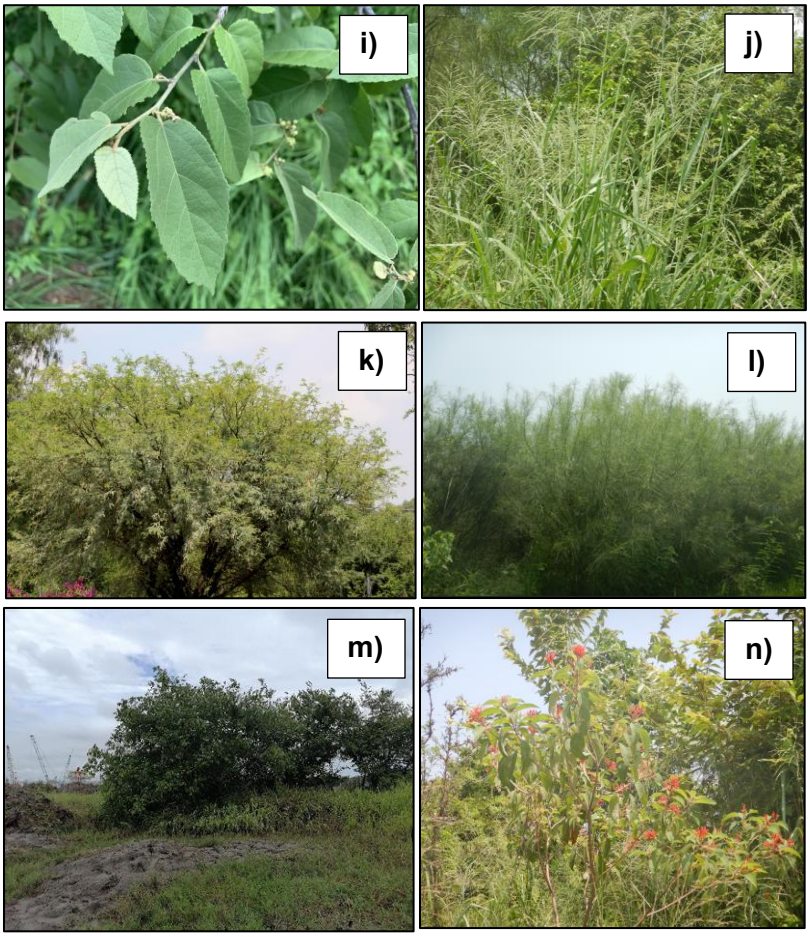


Figura 23. e) *Heliotropium curassavicum*; f) *Nicotiana glauca*; g) *Cordia dentata*; h) *Acacia cornígera*; i) *Prosopis leavigata*; j) *Phragmites australis*; k) *Neltuma laevigata*; l) *Casuarina cunninghamiana*; m) *Parkinsonia aculeata*; y n) *Hamelia patens*.

Un aspecto de particular relevancia ambiental es la presencia **linéalmente frente a las parcelas 7 y 8,** de remanentes de **manglar rojo (***Rhizophora mangle***)** asociados al borde del río Pánuco. Estos manglares forman parte del sistema estuarino regional que conecta con la Laguna de Pueblo Viejo y otros humedales costeros, y desempeñan funciones ecológicas esenciales relacionadas con la estabilización de las riberas, la retención de sedimentos, la depuración natural de las aguas y el soporte de una amplia diversidad de organismos acuáticos y avifauna costera. El manglar es, por tanto, uno de los elementos más valiosos del entorno ambiental inmediato.

Es fundamental señalar que estos remanentes de manglar NO forman parte del polígono de intervención y NO serán objeto de afectación directa ni indirecta por las actividades propuestas. El diseño del proyecto incorpora medidas de protección estricta que aseguran la preservación total de este ecosistema, manteniendo su integridad ecológica y evitando cualquier alteración que comprometa su funcionamiento hidrológico, biológico o geomorfológico. En cuanto a la superficie formal sujeta a Cambio de Uso de Suelo en materia de impacto ambiental, esta asciende a **108,263.68 m²**, integrando

exclusivamente aquellas zonas donde existe vegetación secundaria que requiere regularización conforme a la legislación ambiental federal. El resto del predio corresponde a áreas previamente transformadas, cuyo estado actual justifica su incorporación a un uso industrial sin comprometer elementos de valor ecológico significativo. En conjunto, la caracterización del Área del Proyecto evidencia un espacio altamente modificado, con baja integridad ambiental, donde los remanentes de vegetación secundaria representan la única expresión de regeneración ecológica local. La presencia cercana de manglar refuerza la importancia de mantener medidas de protección estrictas, al tiempo que confirma que la operación del proyecto puede desarrollarse sin interferir con uno de los ecosistemas más sensibles del paisaje estuarino del Pánuco.

V. IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES, ACUMULATIVOS Y RESIDUALES DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL.

El presente capítulo constituye uno de los apartados centrales de la Manifestación de Impacto Ambiental, en virtud de que integra y analiza de manera sistemática la información técnica generada durante la caracterización ambiental del Sistema Ambiental Regional (SAR), del Área de Influencia (AI) y del predio donde se desarrollará el **Proyecto Integral de Naves Industriales y Planta Desalinizadora ESEASA**, incluyendo las superficies sujetas al **Cambio de Uso de Suelo en Áreas Forestales**. Su objetivo principal es identificar, describir y evaluar los impactos ambientales que se derivarán de la ejecución del proyecto, considerando tanto los efectos directos e inmediatos como aquellos de carácter indirecto, acumulativo, sinérgico y residual que pudieran incidir sobre la funcionalidad ambiental de la región.

El análisis que aquí se presenta no se limita a una descripción aislada de los efectos ambientales potenciales, sino que incorpora una visión dinámica del territorio, reconociendo las tendencias actuales de transformación del SAR, asociadas al desarrollo industrial, portuario y de infraestructura en la margen del Río Pánuco. Bajo este enfoque, el medio ambiente es entendido como un sistema en constante evolución, donde los procesos naturales y las presiones antrópicas interactúan de manera continua en distintas escalas espaciales y temporales.

El Sistema Ambiental Regional se caracteriza por una matriz territorial dominada por **ambientes fluviales asociados al Río Pánuco**, planicies aluviales, suelos de origen sedimentario y áreas con **vegetación secundaria de selva baja caducifolia**, así como zonas con uso industrial, portuario y de servicios preexistentes. Esta configuración ambiental refleja un territorio que ha sido históricamente modificado por actividades productivas, lo cual ha dado lugar a paisajes fragmentados y a una biodiversidad adaptada a condiciones de perturbación, sin que ello implique la ausencia de valores ambientales

relevantes o la necesidad de una evaluación rigurosa de los impactos asociados a nuevas intervenciones.

En el área específica del proyecto, la vegetación presente corresponde principalmente a **vegetación secundaria derivada de selva baja caducifolia**, localizada de manera puntual en las parcelas 7 y 8, la cual será objeto del trámite de Cambio de Uso de Suelo en Áreas Forestales para una superficie total de **108,263.68 m²**. Si bien no se identificaron comunidades vegetales primarias, la remoción de cobertura vegetal implica una modificación permanente del uso del suelo, lo que hace indispensable una evaluación ambiental detallada y la definición de medidas de manejo adecuadas.

Desde el punto de vista faunístico, el SAR presenta especies silvestres de amplia distribución regional, asociadas a ambientes secundarios, cuerpos de agua y zonas abiertas, cuya presencia se ve condicionada por la actividad humana existente. La evaluación de impactos considera la posible afectación temporal o permanente de hábitats, el desplazamiento de fauna y los cambios en la disponibilidad de refugio y alimento, especialmente durante las etapas de preparación del sitio y construcción.

La evaluación de impactos ambientales se estructura bajo un **enfoque multiescalar**, que permite analizar los efectos del proyecto desde distintos niveles de integración territorial:

- **A nivel regional (SAR)**, se consideran los procesos acumulativos derivados del crecimiento industrial, portuario y de infraestructura en la cuenca baja del Río Pánuco, así como su interacción con los recursos hídricos, el suelo y el paisaje.
- **A nivel intermedio (Área de Influencia)**, se analizan los efectos sobre la dinámica local del territorio, la conectividad funcional entre áreas abiertas, zonas industriales y remanentes de vegetación secundaria, así como la presión adicional sobre los servicios ambientales existentes.
- **A nivel local (predio del proyecto)**, se evalúan los impactos directos asociados a la remoción de vegetación, movimientos de tierra, construcción de infraestructura industrial, operación de la planta desalinizadora, plantas de tratamiento y demás obras complementarias.

De manera complementaria, el presente capítulo se ha organizado en cuatro apartados analíticos:

1. **Metodología para la identificación y valoración de impactos**, donde se describen los criterios técnicos empleados para determinar la magnitud, extensión, intensidad, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad y significancia de cada impacto ambiental.

2. **Identificación y caracterización de impactos por componente ambiental**, desagregando los efectos esperados sobre agua, suelo, aire, flora, fauna, paisaje y medio socioeconómico.
3. **Análisis de impactos acumulativos y sinérgicos**, entendidos como aquellos que, al interactuar con transformaciones previas o simultáneas del SAR, pueden generar efectos de mayor magnitud que los impactos individuales.
4. **Evaluación de impactos residuales**, correspondientes a aquellos efectos que permanecerán aun después de la aplicación de medidas de prevención, mitigación y compensación.

Finalmente, este capítulo concluye con una **valoración integral de los impactos ambientales**, orientada a determinar la viabilidad ambiental del proyecto en función de la capacidad de carga del Sistema Ambiental Regional, la estabilidad de los recursos naturales involucrados y la eficacia de las medidas de manejo propuestas. Este enfoque permite dar cumplimiento a los requerimientos de la autoridad ambiental, proporcionando un análisis técnico, objetivo y plenamente fundamentado de los impactos ambientales más relevantes asociados al desarrollo del proyecto.

V.1 Identificación de impactos

La identificación de impactos constituye la primera fase y uno de los pasos más relevantes dentro del proceso de evaluación ambiental, ya que permite reconocer de manera sistemática, ordenada y técnicamente fundamentada los posibles efectos que pueden derivarse de la ejecución de las obras y actividades del proyecto sobre los distintos componentes del medio físico, biótico y socioeconómico. Este procedimiento resulta esencial, en tanto que establece la base para los análisis posteriores de caracterización, valoración y definición de medidas preventivas, de mitigación y, en su caso, de compensación ambiental.

El punto de partida de esta fase fue la descripción detallada del **"Proyecto Integral de Naves Industriales y Planta Desalinizadora ESEASA"**, desarrollada en el Capítulo II de la presente Manifestación de Impacto Ambiental, considerando la totalidad de las obras y actividades que conforman su ciclo de vida. Para ello, se analizaron de manera integral las **tres etapas principales del proyecto**: preparación del sitio, construcción, y operación y mantenimiento.

En cada una de estas etapas se evaluaron tanto las acciones principales —como la preparación del sitio, el desmonte y despalme de vegetación secundaria de selva baja caducifolia, los movimientos de tierra, la construcción de infraestructura industrial, la instalación de la planta desalinizadora y de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales— como aquellas actividades auxiliares o complementarias, tales como los trámites y

autorizaciones, el acopio temporal de materiales, el tránsito de maquinaria pesada, la habilitación de patios de maniobra, la instalación de servicios y la gestión de residuos.

Este enfoque integral resulta fundamental para evitar la omisión de actividades que, aun cuando no constituyen el núcleo operativo del proyecto, pueden representar fuentes relevantes de impacto ambiental. De esta manera, la identificación de impactos se concibe como una herramienta preventiva que permite anticipar los efectos potenciales antes del inicio de las obras, reduciendo la incertidumbre y evitando que los impactos sean evaluados únicamente de forma reactiva, una vez que ya han ocurrido.

Como resultado de esta fase, fue posible reconocer los componentes ambientales más susceptibles de afectación, así como aquellos que pueden experimentar efectos positivos asociados al desarrollo del proyecto, particularmente en el ámbito socioeconómico, lo que permitió establecer un marco de referencia claro para orientar la caracterización y valoración posterior de los impactos ambientales.

V.2 Caracterización de los impactos

Con base en la identificación de interacciones causa–efecto y en el análisis detallado de las actividades que conforman el Proyecto Integral de Naves Industriales y Planta Desalinizadora ESEASA, se realiza a continuación la caracterización cualitativa de los impactos ambientales potenciales, organizada por etapa del proyecto.

La caracterización se desarrolla de manera secuencial considerando la etapa de preparación del sitio**, la** etapa de construcción **y la** etapa de operación y mantenimiento, con el propósito de describir la forma en que los impactos se manifiestan sobre los distintos factores ambientales, identificar los componentes más susceptibles de afectación y reconocer la naturaleza temporal o permanente de los efectos generados.

Este análisis no tiene por objeto asignar valores numéricos ni establecer la significancia de los impactos, sino describir su comportamiento ambiental, su relación con el contexto industrial del sitio y su interacción con el Sistema Ambiental Regional (SAR) y el Área de Influencia (AI). La información aquí presentada constituye la base técnica para la posterior valoración ambiental.

V.2.1 Caracterización de impactos en la Etapa de Preparación del Sitio

La etapa de preparación del sitio comprende actividades preliminares indispensables para la ejecución del proyecto, tales como la gestión de trámites y autorizaciones, la limpieza inicial del terreno, el desmonte y despalme en áreas autorizadas, el trazo y nivelación, la instalación de obras provisionales y el manejo inicial de residuos.

Durante esta fase, los impactos ambientales se concentran principalmente en el **medio físico y biótico**, presentándose en su mayoría como **efectos temporales y localizados**, aunque asociados al inicio del cambio de uso del suelo autorizado.

En el **componente suelo**, los impactos se caracterizan por la compactación superficial derivada del tránsito de maquinaria ligera, la pérdida de la capa orgánica superficial y la alteración de la microtopografía natural del terreno. Estas modificaciones incrementan de manera temporal el riesgo de erosión superficial, particularmente durante las labores de desmonte y nivelación, al reducir la protección natural del suelo.

Respecto al **componente agua**, se identifica una disminución temporal de la infiltración natural como consecuencia de la remoción de la cobertura vegetal, así como riesgos potenciales de infiltración de contaminantes al subsuelo asociados al manejo inadecuado de residuos y al uso de insumos durante las obras provisionales. Asimismo, se registra un consumo temporal de agua vinculado a las actividades iniciales del proyecto.

En el **componente aire**, los impactos se manifiestan principalmente como emisiones puntuales de polvo y partículas suspendidas generadas durante la limpieza del terreno, el trazo y la nivelación, así como emisiones por combustión de maquinaria. Estos efectos son de corta duración, intermitentes y se restringen al área del proyecto.

El **componente biótico** presenta impactos asociados a la eliminación de vegetación secundaria de selva baja caducifolia dentro de las áreas autorizadas, lo que implica una reducción de la cobertura vegetal y la pérdida temporal de hábitat. En consecuencia, se prevé el desplazamiento temporal de fauna silvestre y la pérdida de refugios momentáneos, sin comprometer poblaciones regionales.

En cuanto al **paisaje**, la preparación del sitio genera una alteración visual inicial y un cambio en la estructura visual del terreno derivados de la remoción de vegetación y la modificación superficial del relieve. Estos impactos son transitorios y corresponden a una fase previa a la consolidación de la infraestructura.

Finalmente, en el **medio socioeconómico**, esta etapa genera impactos positivos relacionados con la creación de empleos técnicos, administrativos y temporales, así como con la dinamización económica local. De manera paralela, se identifican riesgos asociados a la seguridad y salud ocupacional, principalmente por exposición a polvo, ruido y la posibilidad de accidentes laborales, los cuales deberán ser gestionados mediante medidas preventivas.

La **Tabla 3** presenta la síntesis de los impactos ambientales identificados en esta etapa.

Tabla 16. Impactos ambientales identificados en la Etapa de Preparación del Sitio.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado
PS-01	Trámites y autorizaciones	Socioeconómico	Generación de empleos técnicos y administrativos especializados
PS-02	Preparación del sitio	Suelo	Compactación superficial del suelo por tránsito de maquinaria ligera
PS-03	Preparación del sitio	Aire	Emisión puntual de polvo por limpieza inicial del terreno
PS-04	Preparación del sitio	Paisaje	Alteración visual inicial del predio
PS-05	Desmonte y despalme	Suelo	Pérdida de capa orgánica superficial
PS-06	Desmonte y despalme	Suelo	Incremento del riesgo de erosión superficial
PS-07	Desmonte y despalme	Agua subterránea	Disminución de infiltración natural por remoción de cobertura vegetal
PS-08	Desmonte y despalme	Flora	Eliminación de vegetación secundaria de selva baja caducifolia
PS-09	Desmonte y despalme	Flora	Reducción de cobertura vegetal en áreas autorizadas
PS-10	Desmonte y despalme	Fauna	Desplazamiento temporal de fauna silvestre
PS-11	Desmonte y despalme	Fauna	Pérdida de refugios temporales
PS-12	Desmonte y despalme	Paisaje	Cambio en la estructura visual del terreno
PS-13	Trazo y nivelación	Suelo	Alteración microtopográfica del terreno
PS-14	Trazo y nivelación	Suelo	Compactación por maquinaria
PS-15	Trazo y nivelación	Aire	Emisión de partículas suspendidas

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado
PS-16	Trazo y nivelación	Fauna	Perturbación por ruido y vibración
PS-17	Obras provisionales	Suelo	Ocupación temporal del suelo
PS-18	Obras provisionales	Agua	Consumo temporal de agua
PS-19	Obras provisionales	Agua subterránea	Riesgo de infiltración por manejo inadecuado de residuos
PS-20	Obras provisionales	Aire	Emisiones por combustión de maquinaria
PS-21	Obras provisionales	Socioeconómico	Generación de empleo temporal
PS-22	Manejo de residuos	Suelo	Riesgo de contaminación por residuos sólidos
PS-23	Manejo de residuos	Agua	Riesgo de generación de lixiviados
PS-24	Manejo de residuos	Fauna	Atracción de fauna oportunista
PS-25	Manejo de residuos	Paisaje	Impacto visual por acopios temporales
PS-26	Desmonte y despalme	Clima local	Alteración microclimática local
PS-27	Preparación del sitio	Medio socioeconómico	Dinamización económica local
PS-28	Preparación del sitio	Seguridad	Riesgo de accidentes laborales
PS-29	Preparación del sitio	Salud ocupacional	Exposición a polvo y ruido
PS-30	Preparación del sitio	Servicios	Demanda temporal de servicios básicos

V.2.2 Caracterización de impactos en la etapa de construcción

La etapa de construcción concentra el mayor número y diversidad de impactos ambientales, debido a la ejecución de obras civiles permanentes, la instalación de infraestructura industrial y el uso intensivo de maquinaria, equipos y materiales.

En el **componente suelo**, los impactos se caracterizan por la remoción y alteración de horizontes edáficos durante excavaciones y cimentaciones, la compactación profunda y permanente del terreno y la impermeabilización del suelo derivada de la construcción de muros, losas, firmes, vialidades internas y patios de maniobras. Estos efectos representan una pérdida definitiva de funciones edáficas en las áreas ocupadas por la infraestructura.

En relación con el **agua**, se identifican riesgos de afectación a la infiltración natural y a la recarga del acuífero asociados a las excavaciones y a la impermeabilización progresiva del terreno. Durante la instalación y pruebas de la planta desalinizadora y de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), se prevén riesgos puntuales de descargas accidentales y generación temporal de olores, así como modificaciones locales del balance hídrico.

El **componente aire** presenta impactos derivados de la generación de polvo por movimiento de tierras, emisiones de gases de combustión por maquinaria pesada y emisiones menores asociadas a trabajos de soldadura, montaje, acabados y pintura, incluyendo vapores y compuestos orgánicos volátiles.

Respecto a la **fauna**, la etapa de construcción genera perturbaciones constantes por ruido, vibraciones y tránsito de maquinaria, así como un riesgo de atropellamiento en vialidades internas. Estos impactos son predominantemente temporales y se concentran dentro del área del proyecto.

El **paisaje** experimenta una transformación significativa y permanente al introducir infraestructura industrial que modifica de forma definitiva la fisonomía del sitio y consolida un nuevo carácter visual del entorno.

Desde el punto de vista **socioeconómico**, esta etapa genera impactos positivos relevantes asociados a la generación de empleo especializado, la activación económica regional y la mejora de condiciones de seguridad mediante la implementación de señalización y medidas de protección civil. No obstante, también se identifican riesgos laborales y de salud ocupacional que requieren controles específicos.

La **Tabla 4** resume los impactos ambientales caracterizados para esta etapa.

Tabla 17. Impactos ambientales identificados en la Etapa de Construcción.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado
C-01	Excavaciones y cimentaciones	Suelo	Remoción y alteración de horizontes edáficos
C-02	Excavaciones y cimentaciones	Suelo	Compactación profunda del terreno
C-03	Excavaciones y cimentaciones	Agua subterránea	Riesgo de afectación a la infiltración natural
C-04	Excavaciones y cimentaciones	Aire	Generación de polvo por movimiento de tierras
C-05	Excavaciones y cimentaciones	Fauna	Perturbación por ruido y vibración
C-06	Estructuras	Paisaje	Introducción de infraestructura industrial permanente
C-07	Estructuras	Aire	Emisiones por maquinaria de montaje
C-08	Estructuras	Suelo	Generación de residuos de construcción
C-09	Muros, losas y firmes	Suelo	Impermeabilización permanente del terreno
C-10	Muros, losas y firmes	Agua subterránea	Disminución de la recarga natural
C-11	Muros, losas y firmes	Paisaje	Alteración de la fisonomía natural
C-12	Cubiertas y fachadas	Aire	Emisión de partículas y compuestos volátiles
C-13	Cubiertas y fachadas	Paisaje	Consolidación del carácter industrial del sitio
C-14	Instalaciones generales	Suelo	Alteración localizada por zanjas y canalizaciones
C-15	Instalaciones generales	Agua	Riesgo de fugas durante instalación
C-16	Instalaciones generales	Aire	Emisiones menores por soldadura y montaje
C-17	Acabados y pintura	Aire	Emisión de vapores y compuestos orgánicos
C-18	Acabados y pintura	Suelo	Generación de residuos peligrosos
C-19	Planta desalinizadora	Agua	Modificación del balance hídrico local
C-20	Planta desalinizadora	Suelo	Ocupación permanente del área
C-21	Planta desalinizadora	Aire	Emisiones durante pruebas operativas
C-22	PTAR	Agua	Riesgo de descargas durante pruebas
C-23	PTAR	Aire	Generación de olores temporales

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado
C-24	Punto de bombeo de combustible	Suelo	Riesgo de contaminación por derrames
C-25	Punto de bombeo de combustible	Seguridad	Riesgo laboral durante montaje
C-26	Bomba centrífuga e interconexiones	Agua	Alteración puntual de flujos
C-27	Vialidades internas	Suelo	Compactación y sellado superficial
C-28	Vialidades internas	Fauna	Riesgo de atropellamiento
C-29	Patios de maniobras	Suelo	Alta compactación permanente
C-30	Patios de maniobras	Aire	Emisión de polvo por tránsito
C-31	Áreas en renta	Paisaje	Fragmentación visual del entorno
C-32	Señalización y protección civil	Socioeconómico	Mejora de condiciones de seguridad
C-33	Manejo de residuos	Suelo	Riesgo de contaminación por acopio
C-34	Manejo de residuos	Agua	Riesgo de lixiviación
C-35	Tránsito de maquinaria	Aire	Emisiones de gases de combustión
C-36	Tránsito de maquinaria	Fauna	Perturbación constante por ruido
C-37	Construcción general	Seguridad	Incremento del riesgo de accidentes
C-38	Construcción general	Medio socioeconómico	Generación de empleo especializado
C-39	Construcción general	Salud ocupacional	Exposición a ruido y vibraciones
C-40	Construcción general	Paisaje	Pérdida definitiva del paisaje natural

V.2.3 Caracterización de impactos en la etapa de operación y mantenimiento

La etapa de operación y mantenimiento corresponde al funcionamiento continuo del proyecto y a las actividades necesarias para garantizar su desempeño seguro y eficiente. Los impactos en esta fase se caracterizan por ser **permanentes, recurrentes y controlables**, con énfasis en los componentes suelo, agua, aire, paisaje y medio socioeconómico.

En el **componente suelo**, se consolida la ocupación permanente del predio y la pérdida definitiva de funciones edáficas, así como la compactación continua en patios de operación. Adicionalmente, se identifican riesgos puntuales de contaminación asociados al mantenimiento de equipos, manejo de residuos peligrosos y operación del punto de bombeo de combustible.

En cuanto al **agua**, la operación de la planta desalinizadora implica un consumo permanente de agua cruda y la generación de salmuera, mientras que la PTAR genera descargas continuas de aguas tratadas y lodos residuales. Se consideran riesgos potenciales al agua subterránea derivados de fallas operativas, los cuales son controlables mediante sistemas de monitoreo y gestión ambiental.

El **componente aire** presenta emisiones indirectas por tránsito vehicular, funcionamiento de equipos y actividades de mantenimiento, así como la generación de olores asociados a la operación de la PTAR. Asimismo, se registra un incremento sostenido de niveles sonoros que puede incidir en la salud ocupacional del personal.

En el ámbito **biótico**, se identifica la exclusión permanente de fauna silvestre en el área operativa y la posible atracción de fauna oportunista. De manera complementaria, el mantenimiento de áreas verdes inducidas puede representar un impacto positivo local sobre la flora.

El **paisaje** se consolida como un paisaje industrial permanente, acorde con la vocación del proyecto y del entorno inmediato.

Finalmente, el **medio socioeconómico** presenta impactos positivos de largo plazo, tales como la generación de empleo permanente, la dinamización económica regional y el fortalecimiento de la infraestructura industrial, coexistiendo con riesgos operativos residuales que se consideran controlables mediante programas de gestión ambiental, seguridad industrial y protección civil.

La **Tabla 5** presenta la síntesis de los impactos caracterizados para esta etapa.

Tabla 18. Impactos ambientales identificados en la Etapa de Operación y Mantenimiento.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado
OM-01	Operación de naves	Suelo	Ocupación permanente del suelo
OM-02	Operación de naves	Suelo	Pérdida definitiva de funciones edáficas
OM-03	Operación de naves	Aire	Emisiones indirectas por equipos
OM-04	Operación de naves	Paisaje	Consolidación del paisaje industrial
OM-05	Operación de patios	Suelo	Compactación continua
OM-06	Operación de patios	Fauna	Exclusión permanente de fauna silvestre
OM-07	Planta desalinizadora	Agua	Consumo permanente de agua cruda
OM-08	Planta desalinizadora	Agua	Generación de salmuera
OM-09	Planta desalinizadora	Agua subterránea	Riesgo de afectación por fallas
OM-10	PTAR	Agua	Descarga continua de aguas tratadas
OM-11	PTAR	Aire	Emisión de olores
OM-12	PTAR	Suelo	Generación de lodos residuales
OM-13	Punto de bombeo de combustible	Suelo	Riesgo de contaminación puntual
OM-14	Punto de bombeo de combustible	Seguridad	Riesgo operativo controlado
OM-15	Tránsito vehicular	Aire	Emisiones por combustión
OM-16	Tránsito vehicular	Ruido	Incremento de niveles sonoros
OM-17	Tránsito vehicular	Fauna	Riesgo de atropellamiento
OM-18	Mantenimiento	Suelo	Generación de residuos peligrosos
OM-19	Mantenimiento	Agua	Riesgo de derrames de aceites
OM-20	Mantenimiento	Aire	Emisiones temporales

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado
OM-21	Operación general	Clima local	Alteración del microclima
OM-22	Operación general	Flora	Mantenimiento de áreas verdes inducidas
OM-23	Operación general	Fauna	Atracción de fauna oportunista
OM-24	Operación general	Salud ocupacional	Exposición prolongada a ruido
OM-25	Operación general	Medio socioeconómico	Generación de empleo permanente
OM-26	Operación general	Medio socioeconómico	Dinamización económica regional
OM-27	Operación general	Infraestructura	Fortalecimiento de servicios industriales
OM-28	Gestión de residuos	Suelo	Riesgo de contaminación por manejo
OM-29	Gestión de residuos	Agua	Riesgo de lixiviación
OM-30	Operación general	Seguridad	Riesgo operativo residual controlado

Tabla 19. Impactos ambientales identificados en la Etapa de Operación y Mantenimiento.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado
OM-01	Operación de naves	Suelo	Ocupación permanente del suelo
OM-02	Operación de naves	Suelo	Pérdida definitiva de funciones edáficas
OM-03	Operación de naves	Aire	Emisiones indirectas por equipos
OM-04	Operación de naves	Paisaje	Consolidación del paisaje industrial
OM-05	Operación de patios	Suelo	Compactación continua
OM-06	Operación de patios	Fauna	Exclusión permanente de fauna silvestre
OM-07	Planta desalinizadora	Agua	Consumo permanente de agua cruda
OM-08	Planta desalinizadora	Agua	Generación de salmuera
OM-09	Planta desalinizadora	Agua subterránea	Riesgo de afectación por fallas
OM-10	PTAR	Agua	Descarga continua de aguas tratadas
OM-11	PTAR	Aire	Emisión de olores
OM-12	PTAR	Suelo	Generación de lodos residuales
OM-13	Punto de bombeo de combustible	Suelo	Riesgo de contaminación puntual
OM-14	Punto de bombeo de combustible	Seguridad	Riesgo operativo controlado
OM-15	Tránsito vehicular	Aire	Emisiones por combustión
OM-16	Tránsito vehicular	Ruido	Incremento de niveles sonoros
OM-17	Tránsito vehicular	Fauna	Riesgo de atropellamiento
OM-18	Mantenimiento	Suelo	Generación de residuos peligrosos
OM-19	Mantenimiento	Agua	Riesgo de derrames de aceites
OM-20	Mantenimiento	Aire	Emisiones temporales

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado
OM-21	Operación general	Clima local	Alteración del microclima
OM-22	Operación general	Flora	Mantenimiento de áreas verdes inducidas
OM-23	Operación general	Fauna	Atracción de fauna oportunista
OM-24	Operación general	Salud ocupacional	Exposición prolongada a ruido
OM-25	Operación general	Medio socioeconómico	Generación de empleo permanente
OM-26	Operación general	Medio socioeconómico	Dinamización económica regional
OM-27	Operación general	Infraestructura	Fortalecimiento de servicios industriales
OM-28	Gestión de residuos	Suelo	Riesgo de contaminación por manejo
OM-29	Gestión de residuos	Agua	Riesgo de lixiviación
OM-30	Operación general	Seguridad	Riesgo operativo residual controlado

V.3 Valoración de los impactos

La valoración de los impactos constituye una fase importante del proceso de evaluación ambiental, ya que permite determinar la importancia relativa de cada efecto identificado y caracterizado previamente, así como establecer su magnitud y severidad dentro del contexto del Sistema Ambiental Regional (SAR), el Área de Influencia (AI) y el predio del proyecto. En esta etapa se cuantifican y cualifican los impactos ambientales con el propósito de diferenciarlos en función de su alcance, duración, reversibilidad y posibilidad de recuperación, de modo que se pueda orientar la definición de medidas de prevención, mitigación y compensación adecuadas.

La metodología aplicada combina un análisis cuantitativo, basado en la asignación de valores numéricos a los criterios definidos para la caracterización, y un análisis cualitativo, sustentado en el método de simple enjuiciamiento, el cual es reconocido en la legislación ambiental mexicana como herramienta válida para discriminar entre impactos mínimos y notables.

La valoración cuantitativa se efectuó a partir de los atributos definidos en un subapartado anterior:

Tabla 20. Valoración cuantitativa para los impactos ambientales potenciales que pueden desarrollarse por el proyecto.

VALORACIÓN CUALITATIVA 1			
SIGNO		**ACUMULACIÓN (*A*)**	
Impacto beneficioso	+	Simple	1
Impacto perjudicial	−	Acumulativo	3
		Sinérgico	5
EXTENSIÓN (*E*) **Área de influencia**		**INTENSIDAD (*In*)** **Grado de destrucción**	
Puntual	1	Baja	1
Parcial	2	Media	4
Extenso	3	Alta	8
PERSISTENCIA (*P*) **Permanencia del efecto**		**REVERSIBILIDAD (*Rv*)** **Medios naturales**	
Temporal	1	Reversible	1
Permanente	3	Irreversible	3
RECUPERABILIDAD (*Rc*) **Medios humanos**			
Recuperable	1		
Irrecuperable	3		

Cada uno de estos criterios recibe un valor dentro de una escala predefinida (mínimo 1 y máximo 8 según corresponda), de manera que la suma de todos ellos arroja un valor global de importancia para cada impacto, expresado mediante la fórmula:

$$Im=\pm(A+E+In+P+Rv+Rc)$$

donde el signo positivo (+) o negativo (–) se asigna al final, dependiendo de la naturaleza del impacto (beneficioso o perjudicial). El rango posible de valores oscila entre **–25 y –6** para los impactos negativos, y entre **+6 y +25** para los impactos positivos.

Con el fin de poder comparar los resultados y facilitar la interpretación, los valores obtenidos pueden ser **normalizados**. Para ello se utilizan dos expresiones:

Normalización 0–1:

$$I_{N1} = \pm\frac{(|I_m| - Mínimo)}{Máximo - Mínimo}$$

Normalización 1-10:

$$I_{N2} = \pm\left(\frac{(b-a)(|I_m| - Mínimo)}{Máximo - Mínimo} + a\right)$$

donde *Mínimo* y *Máximo* corresponden a los valores extremos que puede adoptar la fórmula en valor absoluto, y *a* y *b* definen el intervalo deseado de la escala (en este caso, entre 1 y 10).

Esta normalización facilita la comparación entre impactos de distinta naturaleza y permite jerarquizar los más significativos para efectos de gestión ambiental.

Simple enjuiciamiento

De forma paralela a la cuantificación, se aplicó el método de **simple enjuiciamiento**, que consiste en evaluar de manera razonada la importancia del impacto con base en la información obtenida en la caracterización y en criterios técnicos. Este método permite discriminar entre impactos **mínimos** (no significativos) y **notables** (ambientalmente relevantes).

Los impactos notables se clasifican en cuatro categorías, según el grado de afectación y las posibilidades de recuperación:

- **Impacto ambiental compatible (–6 a –9):** aquel cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad, sin necesidad de medidas correctoras adicionales.
- **Impacto ambiental moderado (–10 a –14):** aquel cuya recuperación requiere cierto tiempo, aunque no precisa medidas protectoras o correctoras intensivas.
- **Impacto ambiental severo (–15 a –19):** aquel en el que la recuperación exige la aplicación de medidas de mitigación, y aun con ellas, se necesita un plazo prolongado para recuperar las condiciones originales.
- **Impacto ambiental crítico (–20 a –25):** aquel cuya magnitud es superior al umbral aceptable y que implica la pérdida permanente de las condiciones ambientales, sin posibilidad de recuperación, incluso con medidas correctoras.

Esta clasificación asegura que los impactos con mayor relevancia ambiental puedan ser priorizados en la toma de decisiones.

Integración de los resultados

La combinación del análisis permite disponer de una valoración más robusta:

- La **valoración numérica** facilita la comparación entre distintos impactos y entre etapas del proyecto, permitiendo construir una jerarquía de importancia.
- El **enjuiciamiento** refuerza la interpretación técnica, asegurando que impactos de alta relevancia, como la pérdida de especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 o la contaminación de cuerpos de agua subterráneos, no sean subestimados por los valores numéricos.

En síntesis, este procedimiento metodológico garantiza un análisis equilibrado que combina criterios objetivos y juicio técnico, proporcionando una base sólida para la posterior definición de medidas de manejo ambiental y para la evaluación de la viabilidad del proyecto.

V.3.1 Resultados

V.3.1.1 Preparación del Sitio

Tabla 21. Matriz de valoración cuantitativa para la etapa de Preparación del sitio.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Signo	Acumulación (A)	Extensión (E)	Intensidad (I)	Persistencia (P)	Reversibilidad (Rv)	Recuperabilidad (Rc)	Importancia	Significancia
PS-01	Trámites y autorizaciones	Socioeconómico	Generación de empleos técnicos y administrativos especializados	+	1	2	1	1	1	1	7	Compatible
PS-02	Preparación del sitio	Suelo	Compactación superficial del suelo por tránsito de maquinaria ligera	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
PS-03	Preparación del sitio	Aire	Emisión puntual de polvo por limpieza inicial del terreno	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
PS-04	Preparación del sitio	Paisaje	Alteración visual inicial del predio	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
PS-05	Desmonte y despalme	Suelo	Pérdida de capa orgánica superficial	–	3	2	4	3	3	1	-16	Severo
PS-06	Desmonte y despalme	Suelo	Incremento del riesgo de erosión superficial	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
PS-07	Desmonte y despalme	Agua subterránea	Disminución de infiltración natural por remoción de cobertura vegetal	–	3	2	4	3	1	1	-14	Moderado

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Signo	Acumulación (A)	Extensión (E)	Intensidad (I)	Persistencia (P)	Reversibilidad (Rv)	Recuperabilidad (Rc)	Importancia	Significancia
PS-08	Desmonte y despalme	Flora	Eliminación de vegetación secundaria de selva baja caducifolia	–	3	2	8	3	1	1	-18	Severo
PS-09	Desmonte y despalme	Flora	Reducción de cobertura vegetal en áreas autorizadas	–	3	2	4	3	1	1	-14	Moderado
PS-10	Desmonte y despalme	Fauna	Desplazamiento temporal de fauna silvestre	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
PS-11	Desmonte y despalme	Fauna	Pérdida de refugios temporales	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
PS-12	Desmonte y despalme	Paisaje	Cambio en la estructura visual del terreno	–	3	2	4	3	1	1	-14	Moderado
PS-13	Trazo y nivelación	Suelo	Alteración microtopográfica del terreno	–	1	2	4	3	1	1	-12	Moderado
PS-14	Trazo y nivelación	Suelo	Compactación por maquinaria	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
PS-15	Trazo y nivelación	Aire	Emisión de partículas suspendidas	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
PS-16	Trazo y nivelación	Fauna	Perturbación por ruido y vibración	–	1	1	4	1	1	1	-9	Compatible
PS-17	Obras provisionales	Suelo	Ocupación temporal del suelo	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
PS-18	Obras provisionales	Agua	Consumo temporal de agua	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
PS-19	Obras provisionales	Agua subterránea	Riesgo de infiltración por manejo inadecuado de residuos	–	3	1	4	1	3	3	-15	Severo
PS-20	Obras provisionales	Aire	Emisiones por combustión de maquinaria	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Signo	Acumulación (A)	Extensión (E)	Intensidad (I)	Persistencia (P)	Reversibilidad (Rv)	Recuperabilidad (Rc)	Importancia	Significancia
PS-21	Obras provisionales	Socioeconómico	Generación de empleo temporal	+	1	2	1	1	1	1	7	Compatible
PS-22	Manejo de residuos	Suelo	Riesgo de contaminación por residuos sólidos	–	3	1	4	3	1	1	-13	Moderado
PS-23	Manejo de residuos	Agua	Riesgo de generación de lixiviados	–	3	1	4	3	1	1	-13	Moderado
PS-24	Manejo de residuos	Fauna	Atracción de fauna oportunista	–	3	1	1	1	1	1	-8	Compatible
PS-25	Manejo de residuos	Paisaje	Impacto visual por acopios temporales	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
PS-26	Desmonte y despalme	Clima local	Alteración microclimática local	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
PS-27	Preparación del sitio	Medio socioeconómico	Dinamización económica local	+	3	2	1	1	1	1	9	Compatible
PS-28	Preparación del sitio	Seguridad	Riesgo de accidentes laborales	–	1	1	4	1	1	1	-9	Compatible
PS-29	Preparación del sitio	Salud ocupacional	Exposición a polvo y ruido	–	1	1	4	1	1	1	-9	Compatible
PS-30	Preparación del sitio	Servicios	Demanda temporal de servicios básicos	–	1	2	1	1	1	1	-7	Compatible

La valoración ambiental de la etapa de preparación del sitio del *Proyecto Integral de Naves Industriales y Planta Desalinizadora ESEASA* permite identificar de manera integrada la naturaleza, magnitud y relevancia de los impactos generados en esta fase inicial del proyecto, considerando su comportamiento dentro del predio, el Área de Influencia (AI) y el Sistema Ambiental Regional (SAR).

El análisis se basa en la evaluación de **30 impactos ambientales**, los cuales fueron clasificados conforme a su **significancia ambiental** en impactos **compatibles, moderados, severos y críticos**, de acuerdo con los criterios de acumulación, extensión, intensidad, persistencia, reversibilidad y recuperabilidad.

Distribución porcentual de la significancia ambiental

El comportamiento global de los impactos evaluados en esta etapa se resume en la siguiente distribución:

- **Impactos compatibles:** 16 impactos, equivalentes al **53.3 %**
- **Impactos moderados:** 11 impactos, equivalentes al **36.7 %**
- **Impactos severos:** 3 impactos, equivalentes al **10.0 %**
- **Impactos críticos:** 0 impactos, equivalentes al **0 %**

Esta distribución evidencia que **más de la mitad de los impactos identificados corresponden a impactos compatibles**, mientras que **no se identifican impactos críticos**, lo cual resulta particularmente relevante desde el punto de vista de la viabilidad ambiental del proyecto.

Interpretación integrada de los resultados

Desde una perspectiva global, la etapa de preparación del sitio se caracteriza por la generación de **impactos predominantemente temporales, localizados y controlables**, asociados principalmente a actividades preliminares como desmonte, despalme, trazo, nivelación, obras provisionales y manejo inicial de residuos.

Los **impactos compatibles**, que constituyen la mayor proporción, se relacionan con afectaciones de **baja intensidad y corta duración**, tales como emisiones puntuales de polvo, alteraciones visuales iniciales, consumo temporal de agua, perturbaciones acústicas momentáneas y riesgos laborales. Estos impactos presentan **alta reversibilidad y recuperabilidad**, y su manifestación se limita al periodo de ejecución de las actividades, sin comprometer la funcionalidad ambiental del predio ni generar efectos residuales significativos en el AI o el SAR.

Por su parte, los **impactos moderados** representan poco más de una tercera parte del total y se concentran principalmente en los componentes **suelo, flora, fauna, agua subterránea, paisaje y clima local**. Estos impactos muestran una **mayor acumulación e intensidad**, particularmente cuando se consideran de manera conjunta con otros proyectos o procesos de transformación territorial existentes en el entorno. No obstante, mantienen **condiciones favorables de reversibilidad y recuperación**, siempre que se apliquen medidas adecuadas de manejo ambiental, restauración y control operativo. En este sentido, su clasificación como moderados refleja una afectación relevante pero ambientalmente manejable.

Los **impactos severos**, que representan únicamente el **10 % del total**, se asocian de forma específica a actividades que implican la **remoción directa de recursos naturales o riesgos potenciales sobre medios sensibles**, como el suelo, la vegetación y el agua subterránea. Su severidad deriva principalmente de la **importancia funcional de los elementos afectados** y de su **persistencia en el tiempo**, más que de una extensión espacial amplia. Cabe destacar que estos impactos se restringen al predio y no generan afectaciones irreversibles a escala regional, por lo que su manejo es técnicamente viable mediante medidas preventivas, de mitigación y restauración debidamente diseñadas. La **ausencia total de impactos críticos** es un elemento clave del análisis global, ya que indica que ninguna de las actividades previstas en esta etapa genera daños irreversibles, pérdidas permanentes de ecosistemas estratégicos o afectaciones que superen los umbrales de aceptabilidad ambiental establecidos en la legislación vigente.

Balance ambiental de la etapa

De manera complementaria, el análisis integrado considera la presencia de **impactos positivos de carácter socioeconómico**, asociados a la generación de empleo técnico, administrativo y temporal, así como a la dinamización económica local. Estos efectos contribuyen a equilibrar el balance ambiental de la etapa, sin inducir presiones adicionales sobre los componentes naturales. En términos generales, la **etapa de preparación del sitio presenta un perfil ambientalmente viable**, caracterizado por:

- Predominio de impactos compatibles y moderados (**90 % del total**),
- Baja proporción de impactos severos (**10 %),**
- Ausencia de impactos críticos,
- Impactos concentrados espacialmente en el predio,
- Posibilidad real de manejo, mitigación y recuperación ambiental.

Conclusión integrada

Con base en la valoración realizada, se concluye que la etapa de preparación del sitio **no compromete la integridad ambiental del SAR ni la viabilidad del proyecto**, siempre que

se implementen de manera estricta las medidas de manejo ambiental propuestas. Los impactos identificados responden a patrones típicos de esta fase de desarrollo y se encuentran dentro de rangos ambientalmente aceptables, lo que permite avanzar hacia las etapas subsecuentes bajo un esquema de gestión ambiental preventiva y controlada.

V.3.1.2 Construcción

Tabla 22. Matriz de valoración cuantitativa para la etapa de construcción.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Signo	Acumulación (A)	Extensión (E)	Intensidad (I)	Persistencia (P)	Reversibilidad (Rv)	Recuperabilidad (Rc)	Importancia	Significancia
C-01	Excavaciones y cimentaciones	Suelo	Remoción y alteración de horizontes edáficos	–	3	2	4	3	3	3	-18	Severo
C-02	Excavaciones y cimentaciones	Suelo	Compactación profunda del terreno	–	3	2	4	3	3	3	-18	Severo
C-03	Excavaciones y cimentaciones	Agua subterránea	Riesgo de afectación a la infiltración natural	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
C-04	Excavaciones y cimentaciones	Aire	Generación de polvo por movimiento de tierras	–	1	2	4	1	1	1	-10	Moderado
C-05	Excavaciones y cimentaciones	Fauna	Perturbación por ruido y vibración	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
C-06	Estructuras	Paisaje	Introducción de infraestructura industrial permanente	–	3	2	8	3	3	3	-22	Crítico
C-07	Estructuras	Aire	Emisiones por maquinaria de montaje	–	1	2	4	1	1	1	-10	Moderado
C-08	Estructuras	Suelo	Generación de residuos de construcción	–	3	1	4	1	1	1	-11	Moderado
C-09	Muros, losas y firmes	Suelo	Impermeabilización permanente del terreno	–	3	2	8	3	3	3	-22	Crítico

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Signo	Acumulación (A)	Extensión (E)	Intensidad (I)	Persistencia (P)	Reversibilidad (Rv)	Recuperabilidad (Rc)	Importancia	Significancia
C-10	Muros, losas y firmes	Agua subterránea	Disminución de la recarga natural	–	3	2	8	3	3	3	-22	Crítico
C-11	Muros, losas y firmes	Paisaje	Alteración de la fisonomía natural	–	3	2	8	3	3	3	-22	Crítico
C-12	Cubiertas y fachadas	Aire	Emisión de partículas y compuestos volátiles	–	1	1	4	1	1	1	-9	Compatible
C-13	Cubiertas y fachadas	Paisaje	Consolidación del carácter industrial del sitio	–	3	2	4	3	3	3	-18	Severo
C-14	Instalaciones generales	Suelo	Alteración localizada por zanjas y canalizaciones	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
C-15	Instalaciones generales	Agua	Riesgo de fugas durante instalación	–	1	1	4	1	1	1	-9	Compatible
C-16	Instalaciones generales	Aire	Emisiones menores por soldadura y montaje	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
C-17	Acabados y pintura	Aire	Emisión de vapores y compuestos orgánicos	–	3	1	4	1	1	1	-11	Moderado
C-18	Acabados y pintura	Suelo	Generación de residuos peligrosos	–	3	1	4	1	1	1	-11	Moderado
C-19	Planta desalinizadora	Agua	Modificación del balance hídrico local	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
C-20	Planta desalinizadora	Suelo	Ocupación permanente del área	–	3	2	4	3	3	3	-18	Severo

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Signo	Acumulación (A)	Extensión (E)	Intensidad (I)	Persistencia (P)	Reversibilidad (Rv)	Recuperabilidad (Rc)	Importancia	Significancia
C-21	Planta desalinizadora	Aire	Emisiones durante pruebas operativas	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
C-22	PTAR	Agua	Riesgo de descargas durante pruebas	–	3	1	4	1	1	1	-11	Moderado
C-23	PTAR	Aire	Generación de olores temporales	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
C-24	Punto de bombeo de combustible	Suelo	Riesgo de contaminación por derrames	–	5	1	8	3	3	3	-23	Crítico
C-25	Punto de bombeo de combustible	Seguridad	Riesgo laboral durante montaje	–	1	1	4	1	1	1	-9	Compatible
C-26	Bomba centrífuga e interconexiones	Agua	Alteración puntual de flujos	–	1	1	1	1	1	1	-6	Compatible
C-27	Vialidades internas	Suelo	Compactación y sellado superficial	–	3	2	8	3	3	3	-22	Crítico
C-28	Vialidades internas	Fauna	Riesgo de atropellamiento	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
C-29	Patios de maniobras	Suelo	Alta compactación permanente	–	3	2	8	3	3	3	-22	Crítico
C-30	Patios de maniobras	Aire	Emisión de polvo por tránsito	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
C-31	Áreas en renta	Paisaje	Fragmentación visual del entorno	–	3	2	4	3	3	3	-18	Severo

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Signo	Acumulación (A)	Extensión (E)	Intensidad (I)	Persistencia (P)	Reversibilidad (Rv)	Recuperabilidad (Rc)	Importancia	Significancia
C-32	Señalización y protección civil	Socioeconómico	Mejora de condiciones de seguridad	+	3	2	1	3	1	1	11	Moderado
C-33	Manejo de residuos	Suelo	Riesgo de contaminación por acopio	–	3	1	4	1	1	1	-11	Moderado
C-34	Manejo de residuos	Agua	Riesgo de lixiviación	–	3	1	4	1	1	1	-11	Moderado
C-35	Tránsito de maquinaria	Aire	Emisiones de gases de combustión	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
C-36	Tránsito de maquinaria	Fauna	Perturbación constante por ruido	–	3	2	4	1	1	1	-12	Moderado
C-37	Construcción general	Seguridad	Incremento del riesgo de accidentes	–	3	1	4	1	1	1	-11	Moderado
C-38	Construcción general	Medio socioeconómico	Generación de empleo especializado	+	3	2	1	3	1	1	11	Moderado
C-39	Construcción general	Salud ocupacional	Exposición a ruido y vibraciones	–	3	1	4	1	1	1	-11	Moderado
C-40	Construcción general	Paisaje	Pérdida definitiva del paisaje natural	–	3	2	8	3	3	3	-22	Crítico

La valoración ambiental de la **etapa de construcción** del *Proyecto Integral de Naves Industriales y Planta Desalinizadora ESEASA* permite identificar de manera integrada la naturaleza, magnitud y relevancia de los impactos generados durante el desarrollo de las obras civiles, el montaje de infraestructura industrial y la instalación de los sistemas de proceso, considerando su comportamiento dentro del predio, el Área de Influencia (AI) y el Sistema Ambiental Regional (SAR).

El análisis se sustenta en la evaluación de **40 impactos ambientales**, los cuales fueron clasificados conforme a su significancia ambiental en impactos compatibles, moderados, severos y críticos, de acuerdo con los criterios de acumulación, extensión, intensidad, persistencia, reversibilidad y recuperabilidad establecidos en la metodología del estudio.

Distribución porcentual de la significancia ambiental

El comportamiento global de los impactos evaluados en esta etapa se resume en la siguiente distribución:

- **Impactos compatibles:** 8 impactos, equivalentes al **20.0 %**
- **Impactos moderados:** 19 impactos, equivalentes al **47.5 %**
- **Impactos severos:** 6 impactos, equivalentes al **15.0 %**
- **Impactos críticos:** 7 impactos, equivalentes al **17.5 %**

Esta distribución evidencia que, a diferencia de la etapa de preparación del sitio, la etapa de construcción concentra una **mayor proporción de impactos moderados, severos y críticos**, lo cual es congruente con la naturaleza permanente y transformadora de las actividades desarrolladas en esta fase.

Interpretación integrada de los resultados

Desde una perspectiva global, la etapa de construcción se caracteriza por la **consolidación física del proyecto**, lo que implica la transformación definitiva del uso del suelo y del paisaje, así como una mayor presión sobre los componentes suelo, agua subterránea y paisaje. A diferencia de la etapa previa, los impactos ya no se limitan a alteraciones temporales, sino que incluyen **cambios estructurales de carácter permanente**.

Los **impactos compatibles**, que representan una quinta parte del total, se asocian principalmente a actividades auxiliares y temporales, tales como emisiones puntuales durante pruebas operativas, generación de olores transitorios, alteraciones localizadas durante instalaciones menores y efectos positivos de tipo socioeconómico relacionados con la generación de empleo especializado y el fortalecimiento de condiciones de seguridad.

Estos impactos presentan baja intensidad, alta reversibilidad y recuperabilidad, y no generan efectos residuales relevantes una vez concluidas las actividades específicas.

Los **impactos moderados**, que constituyen la categoría predominante (47.5 %), se concentran principalmente en los componentes **aire, fauna, agua y salud ocupacional**. Estos impactos derivan de la generación de polvo, emisiones por maquinaria, ruido, vibraciones, riesgos temporales durante la instalación de servicios y manejo de residuos, así como de la perturbación continua de fauna dentro del predio. Si bien presentan una mayor acumulación que los impactos compatibles, mantienen condiciones favorables de reversibilidad y recuperación, siempre que se apliquen medidas de manejo ambiental, control operativo y monitoreo continuo. Su clasificación como moderados refleja una afectación ambiental relevante pero **técnicamente manejable**.

Los **impactos severos,** que representan el 15.0 % del total, se asocian principalmente a la **remoción y compactación profunda del suelo**, la ocupación permanente de superficies específicas y la consolidación del carácter industrial del paisaje. Estos impactos presentan persistencia permanente y menor capacidad de recuperación, aunque su extensión se mantiene principalmente dentro del predio del proyecto. Su severidad deriva de la importancia funcional de los elementos afectados y de la irreversibilidad parcial de los cambios inducidos, más que de una afectación regional amplia.

Los **impactos críticos**, que alcanzan el 17.5 %, se concentran en actividades clave como la impermeabilización permanente del suelo, la disminución de la recarga natural del acuífero, la pérdida definitiva del paisaje natural, la alta compactación en patios de maniobras y el riesgo de contaminación por derrames de combustible.

Estos impactos se caracterizan por presentar **alta intensidad, persistencia permanente, baja reversibilidad y baja recuperabilidad**, lo que justifica su clasificación como críticos. No obstante, es importante señalar que dichos impactos se encuentran **espacialmente delimitados al predio**, no comprometen ecosistemas estratégicos regionales y pueden ser gestionados mediante medidas estrictas de prevención, control y compensación ambiental.

Balance ambiental de la etapa

De manera complementaria, el análisis integrado reconoce la presencia de **impactos positivos de carácter socioeconómico**, asociados a la generación de empleo especializado, el fortalecimiento de capacidades técnicas locales y la mejora de las condiciones de seguridad industrial. Estos efectos contribuyen parcialmente a equilibrar el balance ambiental de la etapa, aunque no compensan por sí mismos los impactos permanentes sobre los componentes físicos.

En términos generales, la etapa de construcción presenta un perfil ambiental caracterizado por:

- Predominio de impactos **moderados** (47.5 %),
- Presencia relevante de impactos **severos y críticos (**32.5 %),

- Impactos críticos asociados a transformaciones permanentes del suelo, agua subterránea y paisaje,
- Impactos espacialmente concentrados en el predio,
- Necesidad de una **gestión ambiental estricta y continua** para garantizar la viabilidad del proyecto.

Conclusión integrada

Con base en la valoración realizada, se concluye que la etapa de construcción representa la **fase de mayor presión ambiental del proyecto**, debido a la naturaleza permanente de las obras y a la consolidación de infraestructura industrial. No obstante, los impactos críticos y severos identificados se encuentran claramente delimitados, son inherentes al tipo de proyecto propuesto y pueden ser gestionados mediante la aplicación rigurosa de medidas de prevención, mitigación y compensación ambiental.

En este contexto, la viabilidad ambiental de la etapa de construcción depende de manera directa del cumplimiento estricto de los programas de manejo ambiental, particularmente aquellos orientados a la protección del suelo, la prevención de contaminación del agua subterránea, el manejo de residuos peligrosos y la seguridad industrial. Bajo estas condiciones, la etapa de construcción puede desarrollarse dentro de **parámetros ambientalmente aceptables**, permitiendo la transición controlada hacia la etapa de operación y mantenimiento del proyecto.

VI. ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES, ACUMULATIVOS Y RESIDUALES DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL

En los capítulos precedentes se identificaron y evaluaron los componentes del medio **abiótico, biótico y socioeconómico** que presentan mayor susceptibilidad a la afectación ambiental, así como las **obras y actividades del Proyecto Integral de Naves Industriales y Planta Desalinizadora ESEASA** que representan el mayor potencial de generación de impactos ambientales, tanto en el predio como en el Área de Influencia (AI) y el Sistema Ambiental Regional (SAR).

A partir de dicho análisis, y considerando los resultados de la identificación, caracterización y valoración de impactos desarrollados en el Capítulo V, es posible establecer **estrategias integrales de manejo ambiental** orientadas a la **prevención, mitigación, control, atenuación y compensación** de los impactos ambientales, acumulativos, sinérgicos y residuales asociados al proyecto, particularmente aquellos identificados como **moderados, severos y críticos** durante las etapas de **preparación del sitio, construcción y operación y mantenimiento**.

Las medidas propuestas se diseñaron con el objetivo de **evitar o reducir al mínimo los efectos negativos previsibles**, limitar su magnitud y extensión, corregir o restaurar los componentes ambientales afectados, y compensar aquellos impactos que, por su naturaleza, no pueden ser totalmente evitados. En todos los casos, dichas medidas se apegan estrictamente a la **normatividad ambiental vigente**, a los instrumentos de planeación territorial aplicables y a los **criterios técnicos aceptados en la evaluación de impacto ambiental**.

De conformidad con lo establecido por Conesa (1995) y por el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental (artículo 3, fracciones XIII y XIV), las medidas de manejo ambiental se clasifican en **preventivas, de mitigación y de compensación**, entendidas como aquellas acciones que pueden implementarse para reducir los efectos negativos del proyecto mediante la modificación del diseño, la limitación de la intensidad de las actividades, la corrección del impacto mediante la rehabilitación o restauración del medio afectado, o bien mediante la sustitución o compensación de los recursos ambientales impactados.

En función de su alcance y finalidad, las medidas consideradas para el proyecto se agrupan en los siguientes tipos:

- **Preventivas (Pr):** Conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para evitar, desde el origen, efectos previsibles de deterioro ambiental, tales como la planificación adecuada de las actividades, el cumplimiento normativo y el diseño de infraestructura con criterios de protección ambiental.
- **De control (Co):** Acciones orientadas a limitar la magnitud, duración o extensión de los impactos ambientales, mediante la implementación de procedimientos operativos, barreras físicas, sistemas de contención, monitoreo y control ambiental.
- **De atenuación (At):** Medidas destinadas a disminuir la intensidad de los impactos, principalmente aquellos de carácter temporal o local, como emisiones atmosféricas, ruido, vibraciones o perturbaciones al entorno inmediato.
- **Mitigables (Mt):** Acciones que permiten reducir los impactos y restablecer, en la medida de lo posible, las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación ocasionada por el proyecto, incluyendo actividades de rehabilitación, restauración o manejo ambiental.
- **De remediación (Rm):** Acciones correctivas orientadas a reparar daños ambientales específicos, particularmente en casos de contingencias, derrames o fallas operativas que puedan afectar suelo, agua o ecosistemas asociados.
- **De compensación (Cm):** Acciones destinadas a contrarrestar impactos inevitables, mediante la sustitución o reposición de los recursos ambientales afectados, o a través de medidas equivalentes que contribuyan a mantener el equilibrio ambiental del SAR.

De manera complementaria a la aplicación de las medidas específicas por componente ambiental, el proyecto contempla la implementación de un **Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)**, el cual constituye un eje transversal de gestión ambiental durante todas las etapas del proyecto. Dicho programa permitirá verificar el cumplimiento de las medidas de prevención, mitigación y compensación, así como detectar oportunamente desviaciones o impactos no previstos. En este sentido, el Programa de Vigilancia Ambiental considerará, al menos, los siguientes lineamientos generales:

- Todo el personal involucrado en el proyecto deberá conocer y cumplir las medidas de prevención, mitigación y compensación ambiental, así como los programas ambientales aplicables.
- Se llevará a cabo la **capacitación y concientización ambiental** del personal que participe en las distintas etapas del proyecto, con énfasis en la protección de los componentes ambientales presentes en el SAR.
- El personal deberá cumplir con las disposiciones en materia ambiental, de salud ocupacional y de seguridad industrial, conforme a la legislación aplicable y a los programas internos del proyecto.

Con base en la identificación y evaluación de impactos realizada para el proyecto, y en apego a los instrumentos normativos aplicables, se diseñaron **programas específicos de manejo ambiental** enfocados a la protección del medio físico, biótico y socioeconómico, así como a la prevención y control de impactos acumulativos y residuales asociados al desarrollo y operación del **Proyecto Integral de Naves Industriales y Planta Desalinizadora ESEASA**, mismos que forman parte integral de la presente Manifestación de Impacto Ambiental Regional y que se describen en los apartados subsecuentes.

VI.1 Descripción de las medidas de mitigación, prevención y compensación por etapa del proyecto e impacto ambiental

VI.1.1 Etapa de Preparación del Sitio

Tabla 23. Medidas de mitigación, prevención y compensación para la etapa de preparación del sitio.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
PS-01	Trámites y autorizaciones	Socioeconómico	Generación de empleos técnicos y administrativos especializados	Pr	Priorizar la contratación de personal local capacitado; garantizar condiciones laborales conforme a la legislación vigente; promover igualdad de oportunidades.
PS-02	Preparación del sitio	Suelo	Compactación superficial del suelo por tránsito de maquinaria ligera	Pr / Mt	Delimitar rutas de circulación; restringir tránsito fuera de áreas autorizadas; descompactación superficial posterior en áreas no ocupadas permanentemente.
PS-03	Preparación del sitio	Aire	Emisión puntual de polvo por limpieza inicial del terreno	Pr / Mt	Humectación periódica del terreno; mantenimiento preventivo de maquinaria; suspensión temporal de actividades en condiciones de viento intenso.
PS-04	Preparación del sitio	Paisaje	Alteración visual inicial del predio	Mt	Delimitación visual de áreas de trabajo; uso de barreras temporales; restitución paisajística progresiva conforme avanza el proyecto.
PS-05	Desmonte y despalme	Suelo	Pérdida de capa orgánica superficial	Pr / Mt	Retiro y acopio controlado de la capa orgánica para su reutilización en áreas verdes y programas de restauración.
PS-06	Desmonte y despalme	Suelo	Incremento del riesgo de erosión superficial	Pr / Mt	Programar desmonte por etapas; evitar trabajos en temporada de lluvias intensas; instalación de barreras temporales contra escurrimientos.
PS-07	Desmonte y despalme	Agua subterránea	Disminución de infiltración natural por remoción de cobertura vegetal	Mt	Conservación de áreas permeables; diseño de superficies con infiltración; aplicación posterior de reforestación y áreas verdes.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
PS-08	Desmonte y despalme	Flora	Eliminación de vegetación secundaria de selva baja caducifolia	Pr / Mt	Aplicación del Programa de Rescate y Reubicación de Flora; reforestación compensatoria con especies nativas.
PS-09	Desmonte y despalme	Flora	Reducción de cobertura vegetal en áreas autorizadas	Mt / Cm	Reforestación y revegetación en áreas verdes del proyecto y zonas de compensación ambiental.
PS-10	Desmonte y despalme	Fauna	Desplazamiento temporal de fauna silvestre	Pr / Mt	Aplicación del Programa de Rescate y Reubicación de Fauna; horarios diurnos de trabajo; señalización preventiva.
PS-11	Desmonte y despalme	Fauna	Pérdida de refugios temporales	Mt	Instalación de refugios artificiales temporales; restauración progresiva de hábitat en áreas verdes inducidas.
PS-12	Desmonte y despalme	Paisaje	Cambio en la estructura visual del terreno	Mt	Diseño paisajístico integral; conservación de elementos visuales naturales remanentes; revegetación progresiva.
PS-13	Trazo y nivelación	Suelo	Alteración microtopográfica del terreno	Pr / Mt	Ajuste fino del trazo para minimizar movimientos de tierra; restitución de pendientes naturales cuando sea posible.
PS-14	Trazo y nivelación	Suelo	Compactación por maquinaria	Pr / Mt	Uso de maquinaria adecuada; delimitación de zonas de paso; descompactación posterior en áreas no permanentes.
PS-15	Trazo y nivelación	Aire	Emisión de partículas suspendidas	Pr / Mt	Humectación del terreno; control de velocidad de maquinaria; uso de equipos en buen estado.
PS-16	Trazo y nivelación	Fauna	Perturbación por ruido y vibración	Pr / Mt	Restricción de horarios; mantenimiento de maquinaria; implementación de medidas de amortiguamiento acústico.
PS-17	Obras provisionales	Suelo	Ocupación temporal del suelo	Pr	Ubicación estratégica de obras provisionales; retiro y rehabilitación del área una vez concluidas las actividades.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
PS-18	Obras provisionales	Agua	Consumo temporal de agua	Pr	Uso eficiente del recurso; reutilización de agua cuando sea posible; control de consumos.
PS-19	Obras provisionales	Agua subterránea	Riesgo de infiltración por manejo inadecuado de residuos	Pr / Mt	Implementación del Programa de Manejo Integral de Residuos; impermeabilización de áreas de almacenamiento temporal.
PS-20	Obras provisionales	Aire	Emisiones por combustión de maquinaria	Pr / Mt	Mantenimiento preventivo de equipos; uso de maquinaria eficiente; reducción de tiempos de ralentí.
PS-21	Obras provisionales	Socioeconómico	Generación de empleo temporal	Pr	Priorizar mano de obra local; capacitación en seguridad y medio ambiente.
PS-22	Manejo de residuos	Suelo	Riesgo de contaminación por residuos sólidos	Pr / Mt	Separación de residuos; almacenamiento en sitios autorizados; retiro periódico por empresas autorizadas.
PS-23	Manejo de residuos	Agua	Riesgo de generación de lixiviados	Pr / Mt	Uso de contenedores impermeables; techado de áreas de acopio; monitoreo periódico.
PS-24	Manejo de residuos	Fauna	Atracción de fauna oportunista	Pr / Mt	Manejo oportuno de residuos; contenedores cerrados; prohibición de disposición a cielo abierto.
PS-25	Manejo de residuos	Paisaje	Impacto visual por acopios temporales	Mt	Ordenamiento de áreas de acopio; retiro frecuente de residuos; señalización adecuada.
PS-26	Desmonte y despalme	Clima local	Alteración microclimática local	Mt / Cm	Reforestación con especies nativas; creación de áreas verdes y zonas de sombra.
PS-27	Preparación del sitio	Medio socioeconómico	Dinamización económica local	Pr	Promoción de proveedores locales; contratación de servicios regionales.
PS-28	Preparación del sitio	Seguridad	Riesgo de accidentes laborales	Pr	Implementación del Programa de Seguridad e Higiene; uso obligatorio de EPP; capacitación continua.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
PS-29	Preparación del sitio	Salud ocupacional	Exposición a polvo y ruido	Pr / Mt	Uso de EPP; monitoreo de ruido; pausas operativas y rotación de personal.
PS-30	Preparación del sitio	Servicios	Demanda temporal de servicios básicos	Pr	Planeación de consumos; coordinación con proveedores de servicios; uso eficiente de recursos.

VI.1.2 Etapa de Construcción

Tabla 24. Medidas de mitigación, prevención y compensación para la etapa de construcción.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
C-01	Excavaciones y cimentaciones	Suelo	Remoción y alteración de horizontes edáficos	Pr / Mt	Delimitación estricta de áreas de excavación; retiro y acopio de suelo apto para reutilización; estabilización inmediata de taludes.
C-02	Excavaciones y cimentaciones	Suelo	Compactación profunda del terreno	Pr / Mt	Restricción de tránsito pesado a áreas definidas; uso de maquinaria adecuada; descompactación en áreas no estructurales.
C-03	Excavaciones y cimentaciones	Agua subterránea	Riesgo de afectación a la infiltración natural	Mt	Conservación de áreas permeables; diseño de sistemas de infiltración; control de excavaciones profundas.
C-04	Excavaciones y cimentaciones	Aire	Generación de polvo por movimiento de tierras	Pr / Mt	Humectación continua; control de velocidad de maquinaria; suspensión de actividades en vientos fuertes.
C-05	Excavaciones y cimentaciones	Fauna	Perturbación por ruido y vibración	Pr / Mt	Horarios diurnos de trabajo; mantenimiento de maquinaria; aplicación del Programa de Rescate de Fauna cuando aplique.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
C-06	Estructuras	Paisaje	Introducción de infraestructura industrial permanente	Mt / Cm	Diseño arquitectónico y paisajístico integral; establecimiento de barreras visuales vegetales; compensación mediante reforestación.
C-07	Estructuras	Aire	Emisiones por maquinaria de montaje	Pr / Mt	Mantenimiento preventivo; uso de equipos eficientes; reducción de tiempos de ralentí.
C-08	Estructuras	Suelo	Generación de residuos de construcción	Pr / Mt	Implementación del Programa de Manejo Integral de Residuos; segregación y reciclaje; disposición con empresas autorizadas.
C-09	Muros, losas y firmes	Suelo	Impermeabilización permanente del terreno	Mt / Cm	Compensación con áreas verdes permeables; captación y conducción de escurrimientos; reforestación.
C-10	Muros, losas y firmes	Agua subterránea	Disminución de la recarga natural	Mt / Cm	Implementación de sistemas de infiltración; superficies permeables; compensación ambiental mediante reforestación.
C-11	Muros, losas y firmes	Paisaje	Alteración de la fisonomía natural	Mt	Integración paisajística; revegetación perimetral; diseño visual armónico.
C-12	Cubiertas y fachadas	Aire	Emisión de partículas y compuestos volátiles	Pr / Mt	Uso de materiales con bajo contenido de COV; ventilación adecuada; EPP para trabajadores.
C-13	Cubiertas y fachadas	Paisaje	Consolidación del carácter industrial del sitio	Mt / Cm	Implementación de paisaje inducido; reforestación y barreras visuales.
C-14	Instalaciones generales	Suelo	Alteración localizada por zanjas y canalizaciones	Pr / Mt	Excavaciones controladas; restitución del terreno; compactación controlada posterior.
C-15	Instalaciones generales	Agua	Riesgo de fugas durante instalación	Pr / Mt	Pruebas de hermeticidad; protocolos de emergencia; capacitación del personal.
C-16	Instalaciones generales	Aire	Emisiones menores por soldadura y montaje	Pr	Uso de equipos certificados; ventilación adecuada; EPP.
C-17	Acabados y pintura	Aire	Emisión de vapores y compuestos orgánicos	Pr / Mt	Uso de pinturas base agua; ventilación; manejo adecuado de solventes.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
C-18	Acabados y pintura	Suelo	Generación de residuos peligrosos	Pr / Mt	Almacenamiento temporal conforme a la normatividad; disposición con gestores autorizados.
C-19	Planta desalinizadora	Agua	Modificación del balance hídrico local	Mt	Optimización del consumo; monitoreo de caudales; medidas compensatorias hídricas.
C-20	Planta desalinizadora	Suelo	Ocupación permanente del área	Mt / Cm	Compensación mediante reforestación; creación de áreas verdes funcionales.
C-21	Planta desalinizadora	Aire	Emisiones durante pruebas operativas	Pr	Protocolos de prueba controlados; monitoreo de emisiones.
C-22	PTAR	Agua	Riesgo de descargas durante pruebas	Pr / Mt	Pruebas en circuito cerrado; planes de contingencia; monitoreo continuo.
C-23	PTAR	Aire	Generación de olores temporales	Pr / Mt	Control de procesos; barreras físicas; mantenimiento preventivo.
C-24	Punto de bombeo de combustible	Suelo	Riesgo de contaminación por derrames	Pr / Mt	Áreas impermeabilizadas; kits de contención; protocolos de emergencia; capacitación.
C-25	Punto de bombeo de combustible	Seguridad	Riesgo laboral durante montaje	Pr	Capacitación especializada; EPP; señalización y procedimientos seguros.
C-26	Bomba centrífuga e interconexiones	Agua	Alteración puntual de flujos	Pr	Instalación conforme a diseño; monitoreo hidráulico; pruebas controladas.
C-27	Vialidades internas	Suelo	Compactación y sellado superficial	Mt / Cm	Uso de pavimentos permeables; áreas verdes compensatorias; drenaje pluvial.
C-28	Vialidades internas	Fauna	Riesgo de atropellamiento	Pr / Mt	Señalización; control de velocidad; pasos de fauna donde sea viable.
C-29	Patios de maniobras	Suelo	Alta compactación permanente	Mt / Cm	Compensación mediante reforestación; delimitación estricta del área afectada.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
C-30	Patios de maniobras	Aire	Emisión de polvo por tránsito	Pr / Mt	Humectación; pavimentación; control de velocidad.
C-31	Áreas en renta	Paisaje	Fragmentación visual del entorno	Mt / Cm	Diseño paisajístico integral; barreras vegetales; reforestación.
C-32	Señalización y protección civil	Socioeconómico	Mejora de condiciones de seguridad	Pr	Implementación de señalización conforme a normativa; capacitación continua.
C-33	Manejo de residuos	Suelo	Riesgo de contaminación por acopio	Pr / Mt	Almacenes temporales impermeabilizados; segregación y retiro oportuno.
C-34	Manejo de residuos	Agua	Riesgo de lixiviación	Pr / Mt	Contenedores cerrados; techado; monitoreo periódico.
C-35	Tránsito de maquinaria	Aire	Emisiones de gases de combustión	Pr / Mt	Mantenimiento preventivo; optimización de rutas; uso eficiente de combustible.
C-36	Tránsito de maquinaria	Fauna	Perturbación constante por ruido	Pr / Mt	Restricción de horarios; mantenimiento; señalización preventiva.
C-37	Construcción general	Seguridad	Incremento del riesgo de accidentes	Pr	Programa de Seguridad e Higiene; capacitación; supervisión continua.
C-38	Construcción general	Medio socioeconómico	Generación de empleo especializado	Pr	Priorizar contratación local; capacitación técnica.
C-39	Construcción general	Salud ocupacional	Exposición a ruido y vibraciones	Pr / Mt	Uso obligatorio de EPP; monitoreo de ruido; rotación de personal.
C-40	Construcción general	Paisaje	Pérdida definitiva del paisaje natural	Mt / Cm	Compensación ambiental mediante reforestación; paisaje inducido; restauración visual.

VI.1.3 Etapa de Operación y Mantenimiento

Tabla 25. Medidas de mitigación, prevención y compensación para la etapa de operación y mantenimiento.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
OM-01	Operación de naves	Suelo	Ocupación permanente del suelo	Mt / Cm	Delimitación definitiva del área ocupada; compensación mediante reforestación y mantenimiento de áreas verdes funcionales.
OM-02	Operación de naves	Suelo	Pérdida definitiva de funciones edáficas	Cm	Compensación ambiental mediante reforestación y conservación de áreas verdes; manejo integral de escurrimientos.
OM-03	Operación de naves	Aire	Emisiones indirectas por equipos	Pr / Mt	Uso de equipos eficientes; mantenimiento preventivo; optimización del consumo energético.
OM-04	Operación de naves	Paisaje	Consolidación del paisaje industrial	Mt / Cm	Mantenimiento de barreras vegetales; integración paisajística permanente del predio.
OM-05	Operación de patios	Suelo	Compactación continua	Mt / Cm	Uso de superficies permeables donde sea viable; compensación con áreas verdes.
OM-06	Operación de patios	Fauna	Exclusión permanente de fauna silvestre	Cm	Conservación de áreas verdes periféricas; control de actividades que atraigan fauna al interior del predio.
OM-07	Planta desalinizadora	Agua	Consumo permanente de agua cruda	Mt	Optimización del consumo; monitoreo continuo de volúmenes; eficiencia operativa.
OM-08	Planta desalinizadora	Agua	Generación de salmuera	Mt / Cm	Manejo controlado de salmuera conforme a normatividad; monitoreo de descargas; medidas compensatorias ambientales.
OM-09	Planta desalinizadora	Agua subterránea	Riesgo de afectación por fallas	Pr / Mt	Mantenimiento preventivo; planes de contingencia; monitoreo de sistemas hidráulicos.
OM-10	PTAR	Agua	Descarga continua de aguas tratadas	Pr / Mt	Cumplimiento estricto de límites normativos; monitoreo permanente de calidad del efluente.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
OM-11	PTAR	Aire	Emisión de olores	Mt	Control de procesos; mantenimiento; aplicación de barreras físicas u operativas.
OM-12	PTAR	Suelo	Generación de lodos residuales	Pr / Mt	Manejo conforme al Programa de Residuos; almacenamiento temporal y disposición autorizada.
OM-13	Punto de bombeo de combustible	Suelo	Riesgo de contaminación puntual	Pr / Mt	Áreas impermeabilizadas; sistemas de contención; capacitación del personal; planes de emergencia.
OM-14	Punto de bombeo de combustible	Seguridad	Riesgo operativo controlado	Pr	Aplicación de protocolos de seguridad; capacitación continua; señalización.
OM-15	Tránsito vehicular	Aire	Emisiones por combustión	Pr / Mt	Mantenimiento vehicular; control de rutas y tiempos; reducción de ralentí.
OM-16	Tránsito vehicular	Ruido	Incremento de niveles sonoros	Mt	Control de velocidades; horarios operativos; mantenimiento de unidades.
OM-17	Tránsito vehicular	Fauna	Riesgo de atropellamiento	Pr / Mt	Señalización preventiva; control de velocidad; manejo adecuado de residuos orgánicos.
OM-18	Mantenimiento	Suelo	Generación de residuos peligrosos	Pr / Mt	Implementación del Programa de Manejo Integral de Residuos; almacenes temporales normados.
OM-19	Mantenimiento	Agua	Riesgo de derrames de aceites	Pr / Mt	Uso de charolas de contención; protocolos de atención a derrames; capacitación.
OM-20	Mantenimiento	Aire	Emisiones temporales	Pr	Mantenimiento preventivo; uso adecuado de equipos y materiales.
OM-21	Operación general	Clima local	Alteración del microclima	Mt	Conservación y mantenimiento de áreas verdes; reducción de superficies impermeables expuestas.
OM-22	Operación general	Flora	Mantenimiento de áreas verdes inducidas	Pr / Mt	Programa permanente de mantenimiento y reposición de vegetación.
OM-23	Operación general	Fauna	Atracción de fauna oportunista	Pr / Mt	Manejo adecuado de residuos; control de fuentes de alimento; educación ambiental.

No.	Actividad	Factor ambiental	Impacto ambiental identificado	Tipo de medida	Medidas de prevención, mitigación y/o compensación
OM-24	Operación general	Salud ocupacional	Exposición prolongada a ruido	Pr / Mt	Uso obligatorio de EPP; monitoreo de niveles sonoros; rotación de personal.
OM-25	Operación general	Medio socioeconómico	Generación de empleo permanente	Pr	Priorizar contratación local; capacitación continua del personal.
OM-26	Operación general	Medio socioeconómico	Dinamización económica regional	Pr	Integración del proyecto a la economía regional sin presión ambiental adicional.
OM-27	Operación general	Infraestructura	Fortalecimiento de servicios industriales	Pr	Operación conforme a capacidad instalada; coordinación con autoridades locales.
OM-28	Gestión de residuos	Suelo	Riesgo de contaminación por manejo	Pr / Mt	Almacenamiento temporal conforme a norma; recolección periódica por gestores autorizados.
OM-29	Gestión de residuos	Agua	Riesgo de lixiviación	Pr / Mt	Áreas techadas e impermeabilizadas; monitoreo; manejo oportuno de residuos.
OM-30	Operación general	Seguridad	Riesgo operativo residual controlado	Pr	Aplicación continua de protocolos de seguridad y del Programa de Vigilancia Ambiental.

VII. PRONÓSTICOS AMBIENTALES Y, EN SU CASO, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

En el presente capítulo se desarrolla el pronóstico ambiental con el propósito de anticipar la evolución probable del **Área del Proyecto (AP)**, el **Área de Influencia (AI)** y el **Sistema Ambiental Regional (SAR)** donde se pretende ejecutar el **"PROYECTO INTEGRAL DE NAVES INDUSTRIALES Y PLANTA DESALADORA ESEASA"**, considerando la naturaleza y magnitud de las obras y actividades previstas, así como los impactos ambientales asociados a sus diferentes etapas.

Para ello, se proyectan **tres escenarios contrastantes**, los cuales permiten visualizar de manera integral el comportamiento futuro del sitio bajo distintas condiciones de intervención: (i) la permanencia de las condiciones actuales sin la ejecución del proyecto; (ii) la ejecución del proyecto bajo un supuesto conservador en el que no se aplican medidas de prevención y mitigación; y (iii) la ejecución del proyecto incorporando las medidas de manejo ambiental propuestas. Este enfoque permite contar con una perspectiva técnica comparativa, útil para valorar la viabilidad ambiental del proyecto y la efectividad de las acciones previstas para prevenir, minimizar o compensar los efectos adversos.

Cada escenario parte de las tendencias actuales de transformación del territorio y de los procesos ambientales y socioeconómicos que ocurren en la región **de manera independiente** al proyecto, incorporando adicionalmente los efectos potenciales derivados de la **preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento**, incluyendo el **cambio de uso de suelo en áreas forestales** para una superficie de **108,263.68 m² de vegetación secundaria de selva baja caducifolia**, así como el conjunto de obras industriales, de servicios y de infraestructura de apoyo previstas dentro del Patio Anáhuac. De manera específica, los escenarios se definen como sigue:

a) Escenario ambiental "sin proyecto". Considera la continuidad de la situación ambiental actual del SAR y, en particular, del Área del Proyecto, manteniendo las condiciones presentes del predio y su entorno inmediato, así como los impactos y presiones existentes asociados a la dinámica regional industrial-portuaria y al uso actual del suelo.

b) Escenario ambiental "con proyecto y sin medidas de mitigación". Representa un escenario teórico de referencia en el que el proyecto se desarrolla conforme a lo descrito en el Capítulo II, pero bajo el supuesto de que no se implementan medidas de prevención, control o mitigación. Su función es dimensionar el impacto potencial máximo y permitir comparar claramente los beneficios de incorporar medidas ambientales.

c) Escenario ambiental "con proyecto aplicando medidas de mitigación". Considera la ejecución del proyecto incorporando las medidas de manejo ambiental establecidas en el Capítulo VI, incluyendo acciones preventivas, de control, mitigación, compensación y seguimiento, con el objetivo de asegurar que los impactos residuales se

mantengan en niveles ambientalmente aceptables, compatibles con la vocación industrial del sitio y con los criterios de protección del entorno.

VII.1 Descripción y análisis del escenario sin proyecto

El escenario ambiental **sin proyecto** representa la evolución previsible del **Sistema Ambiental Regional (SAR)**, del **Área de Influencia (AI)** y del **Área del Proyecto (AP)** en ausencia de la ejecución del *PROYECTO INTEGRAL DE NAVES INDUSTRIALES Y PLANTA DESALADORA ESEASA*. Este escenario considera la continuidad de las **dinámicas actuales de uso del suelo, presión industrial, crecimiento urbano y aprovechamiento de recursos**, sin la incorporación de infraestructura planificada ni de medidas de manejo ambiental estructuradas.

Este análisis permite identificar que la no ejecución del proyecto **no implica necesariamente la conservación pasiva del medio**, sino que conlleva una serie de **procesos de deterioro gradual, uso desordenado del territorio y pérdida de oportunidades de ordenamiento ambiental y socioeconómico**.

Agua superficial y subterránea

En el escenario sin proyecto, el **río Pánuco** y los cuerpos de agua asociados continuarían sujetos a las presiones actuales derivadas de actividades industriales, portuarias, urbanas y de servicios que se desarrollan a lo largo de ambas márgenes del río, tanto en Veracruz como en Tamaulipas. La ausencia del proyecto implica que **no se incorporan nuevas infraestructuras de tratamiento de aguas residuales ni de desalinización**, por lo que persiste la dependencia regional de fuentes externas de agua potable y la descarga de aguas residuales bajo esquemas variables de control.

Adicionalmente, ante escenarios recurrentes de **sequía, intrusión salina y estrés hídrico**, como los observados recientemente en la región, la no ejecución del proyecto implica la **ausencia de una fuente alterna de agua tratada** que pudiera contribuir a la resiliencia hídrica regional. En este contexto, el recurso hídrico seguiría siendo aprovechado de manera reactiva y fragmentada, sin mejoras estructurales en eficiencia, calidad ni control.

Suelo y geología

Bajo el escenario sin proyecto, los suelos del AP y su entorno inmediato —ya mayoritariamente transformados por actividades industriales previas— continuarían expuestos a **procesos de compactación, erosión superficial y uso no planificado**, derivados del tránsito de maquinaria, almacenamiento informal de materiales y ocupaciones temporales sin criterios técnicos homogéneos.

La ausencia de obras formales implica que **no se implementan sistemas de nivelación, cimentación adecuada, control de escurrimientos ni manejo de superficies impermeables**, lo que incrementa el riesgo de arrastre de sedimentos, acumulación de residuos y deterioro físico del suelo, sin mecanismos claros de restauración o control.

Flora y vegetación

En el escenario sin proyecto, la vegetación presente en el SAR —principalmente **vegetación secundaria de selva baja caducifolia, pastizales inducidos, tulares, zonas sin vegetación aparente y remanentes de manglar**— continuaría sujeta a **procesos de fragmentación, degradación y sustitución progresiva**, asociados a actividades humanas no reguladas o de baja supervisión.

Particularmente en el AP y áreas colindantes, la vegetación secundaria existente podría verse afectada por **desmontes graduales, incendios inducidos, apertura informal de caminos o depósitos de materiales**, sin la aplicación de criterios de compensación, restauración o manejo ambiental. En el caso de los remanentes de manglar presentes frente al río Pánuco, la ausencia de un proyecto formal reduce la capacidad de **delimitación, protección activa y educación ambiental**, aumentando la vulnerabilidad de estos ecosistemas ante presiones antrópicas indirectas.

Fauna silvestre

La fauna asociada al SAR, integrada principalmente por especies **generalistas y oportunistas** (aves acuáticas, aves sinantrópicas, pequeños mamíferos y reptiles), mantendría su presencia bajo condiciones de **perturbación constante**, sin que exista una mejora sustantiva en la calidad del hábitat ni en la conectividad ecológica funcional.

En ausencia del proyecto, no se generarían acciones orientadas a **ordenar el tránsito, reducir disturbios puntuales ni establecer medidas preventivas**, por lo que la fauna seguiría expuesta a atropellamientos, desplazamientos forzados y pérdida gradual de refugios temporales, sin un marco de gestión ambiental integral.

Paisaje y percepción visual

El paisaje del área en el escenario sin proyecto mantendría una **imagen heterogénea y fragmentada**, caracterizada por instalaciones industriales dispersas, áreas subutilizadas, superficies degradadas y ausencia de criterios de integración visual. No se incorporarían elementos de **ordenamiento espacial, diseño paisajístico ni delimitación clara de áreas funcionales**, perpetuando una percepción visual de abandono o uso incompleto del territorio.

Medio socioeconómico

Desde el punto de vista socioeconómico, la no ejecución del proyecto implica la **pérdida de una oportunidad estratégica de desarrollo ordenado**, generación de empleo formal, fortalecimiento de cadenas productivas y mejora de la infraestructura local. La economía regional continuaría dependiendo de actividades informales o de la movilidad laboral hacia Tampico y Ciudad Madero, sin una diversificación productiva significativa en Pueblo Viejo.

Asimismo, se mantendrían las **asimetrías territoriales**, con zonas industriales activas sin una planeación integral que articule servicios, infraestructura, empleo y gestión ambiental. Tendencias de desarrollo y deterioro en el escenario sin proyecto

En conjunto, el escenario sin proyecto evidencia que la evolución ambiental y territorial del SAR estaría marcada por una **continuidad de procesos de deterioro gradual**, uso ineficiente del suelo, presión constante sobre los recursos hídricos y pérdida de oportunidades para introducir infraestructura ambientalmente controlada.

Lejos de representar un escenario de conservación, la no ejecución del proyecto prolonga un modelo de ocupación **fragmentado, reactivo y carente de instrumentos de gestión ambiental**, limitando la posibilidad de mejorar las condiciones actuales del entorno y de orientar el desarrollo regional hacia esquemas más sustentables y resilientes.

VII.2. Descripción y análisis del escenario con proyecto

El **escenario ambiental con proyecto** representa la evolución previsible del **Sistema Ambiental Regional (SAR)**, del **Área de Influencia (AI)** y del **Área del Proyecto (AP)** considerando la **ejecución integral de las obras y actividades descritas en el Capítulo II**, **sin la aplicación de las medidas de prevención, mitigación y compensación ambiental** propuestas en el Capítulo VI.

Este escenario permite identificar los **impactos potenciales máximos** asociados al desarrollo del proyecto, así como los **riesgos ambientales inherentes** a la construcción y operación de infraestructura industrial, cuando ésta se ejecuta sin instrumentos de control ambiental, manejo operativo ni lineamientos técnicos específicos.

Agua superficial y subterránea

En el escenario con proyecto y sin medidas de mitigación, la ejecución de actividades de **excavación, cimentación, obras civiles, instalación de infraestructura hidráulica, operación de la planta desalinizadora y de la PTAR, podría generar afectaciones directas e indirectas al recurso hídrico**.

Durante la etapa de construcción, la remoción de suelo, la compactación de superficies y la ausencia de controles de escurrimientos podrían incrementar la **carga de sólidos suspendidos** hacia el río Pánuco durante eventos de lluvia, así como el arrastre de sedimentos y materiales finos. Sin medidas de contención, estas descargas no controladas tendrían el potencial de alterar temporalmente la calidad del agua superficial.

En la etapa de operación, la captación de agua salobre del río Pánuco para la planta desalinizadora, así como la descarga del rechazo (salmuera) al mismo cuerpo de agua, sin criterios técnicos de dilución, monitoreo y control, podría generar **incrementos localizados en la salinidad**, afectando la dinámica fisicoquímica del sistema acuático inmediato.

Asimismo, la operación de la PTAR sin protocolos estrictos de manejo implicaría el riesgo de **descargas fuera de especificación**, con potencial impacto sobre la calidad del agua superficial y sobre los usos aguas abajo del río.

Suelo y geología

La ejecución del proyecto sin medidas de mitigación implicaría una **transformación intensa del suelo** dentro del AP, asociada a excavaciones, rellenos, nivelaciones, construcción de plataformas, vialidades y patios de maniobras.

En ausencia de manejo adecuado, estas actividades podrían generar **compactación irreversible del suelo**, pérdida de su capacidad de infiltración, incremento del escurrimiento superficial y procesos de erosión localizada. La disposición inadecuada de materiales de excavación y residuos de construcción incrementaría el riesgo de contaminación puntual del suelo por derrames de aceites, combustibles o residuos peligrosos.

La impermeabilización extensiva de superficies, sin diseño hidráulico, podría modificar los patrones naturales de escurrimiento y favorecer encharcamientos o arrastres no controlados hacia zonas adyacentes.

Flora y vegetación

En este escenario, la ejecución del proyecto implicaría la **remoción directa de vegetación secundaria de selva baja caducifolia** en las áreas donde se desarrollen las obras, incluyendo superficies destinadas a naves industriales, plataformas, vialidades y áreas operativas.

Sin medidas de mitigación, la remoción vegetal se realizaría sin criterios de delimitación estricta, rescate o compensación, lo que conduciría a una **pérdida neta de cobertura vegetal**, fragmentación del hábitat y disminución de la capacidad de regeneración natural del sitio.

La ausencia de control sobre áreas no estrictamente necesarias para la obra podría ampliar innecesariamente la huella del proyecto, incrementando el impacto sobre la vegetación remanente y reduciendo la conectividad ecológica local.

Fauna silvestre

La fauna presente en el SAR se vería afectada por el **incremento de ruido, vibraciones, tránsito de maquinaria pesada, iluminación artificial y presencia humana constante**, particularmente durante la etapa de construcción.

En ausencia de medidas preventivas, podrían presentarse **desplazamientos forzados, pérdida de refugios temporales, atropellamientos y mortalidad indirecta**, especialmente de especies de baja movilidad como reptiles, anfibios y pequeños mamíferos.

Durante la operación, la iluminación nocturna sin control, el ruido industrial y el tránsito vehicular continuo podrían alterar los patrones de actividad de aves y fauna asociada al río, reduciendo la calidad del hábitat funcional.

Atmósfera y calidad del aire

La ejecución del proyecto sin mitigación implicaría un **incremento significativo de emisiones a la atmósfera**, principalmente polvo, partículas suspendidas y gases de combustión generados por maquinaria, equipos de construcción, transporte de materiales y operación de instalaciones industriales.

Sin control, estas emisiones podrían generar **afectaciones temporales a la calidad del aire local**, molestias a trabajadores y comunidades cercanas, así como deposición de partículas sobre suelos y cuerpos de agua.

Paisaje y percepción visual

Desde el punto de vista paisajístico, el desarrollo del proyecto sin criterios de integración visual generaría una **modificación abrupta del paisaje**, caracterizada por estructuras industriales expuestas, áreas de almacenamiento visibles, superficies impermeables extensas y ausencia de elementos de transición visual.

Esta transformación podría intensificar la percepción de **industrialización desordenada**, afectando la calidad visual del entorno inmediato y del corredor ribereño del río Pánuco.

Medio socioeconómico

Aunque el proyecto generaría empleo y actividad económica, su ejecución sin medidas de mitigación implicaría **riesgos laborales, conflictos por uso del territorio y presión sobre los servicios locales**, derivados de un crecimiento operativo no regulado.

La falta de planes de manejo ambiental, seguridad y protección civil podría incrementar la probabilidad de incidentes, afectando la percepción social del proyecto y reduciendo sus beneficios potenciales a largo plazo.

Evaluación integral del escenario con proyecto

En conjunto, el escenario con proyecto y sin medidas de mitigación evidencia que, si bien el desarrollo del proyecto aporta beneficios económicos y operativos, su ejecución sin controles ambientales **incrementaría significativamente la magnitud, extensión y persistencia de los impactos negativos**, particularmente sobre el agua, el suelo, la vegetación y la fauna.

Este escenario representa el **máximo nivel de impacto potencial**, y sirve como referencia técnica para demostrar que la implementación de medidas ambientales no solo es necesaria, sino determinante para garantizar la viabilidad ambiental del proyecto.

VII.3. Descripción y análisis del escenario considerando las medidas de mitigación

El **escenario ambiental con proyecto aplicando las medidas de mitigación** representa la condición más realista y ambientalmente deseable para el **Sistema Ambiental Regional (SAR)**, el **Área de Influencia (AI)** y el **Área del Proyecto (AP)**, al integrar de manera efectiva la ejecución de las obras y actividades con los **programas de prevención, mitigación, control y compensación ambiental** establecidos en el Capítulo VI.

Este escenario parte del reconocimiento de los impactos potenciales identificados en el escenario con proyecto sin mitigación, pero demuestra que, mediante la implementación oportuna de medidas técnicas, operativas y administrativas, **la magnitud, extensión, duración y significancia de dichos impactos se reduce de manera sustancial**, manteniéndose dentro de límites ambientalmente aceptables y normativamente permisibles.

Agua superficial y subterránea

Con la aplicación de medidas de mitigación, la interacción del proyecto con el recurso hídrico se mantiene bajo control técnico permanente. Durante la etapa de construcción, la implementación de **obras provisionales de control de escurrimientos, manejo adecuado de materiales excavados, confinamiento temporal de suelos y limpieza**

sistemática de áreas de trabajo reduce significativamente el arrastre de sedimentos hacia el río Pánuco.

En la etapa de operación, la **planta desalinizadora** opera bajo un esquema de captación y descarga técnicamente diseñado, garantizando que el rechazo del proceso (salmuera) se realice de forma controlada, con condiciones de dilución adecuadas y sin generar alteraciones significativas en la calidad fisicoquímica del agua del río.

La **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)** asegura que las descargas de aguas tratadas cumplan con la normatividad aplicable, minimizando cualquier riesgo de contaminación y permitiendo, en su caso, el aprovechamiento del agua tratada en servicios internos y áreas verdes. De esta manera, el impacto sobre el recurso hídrico se clasifica como **bajo, localizado y reversible**.

Suelo y geología

La aplicación de medidas de manejo del suelo durante excavaciones, cimentaciones y obras civiles permite **preservar la estabilidad del terreno**, evitando procesos de erosión, compactación excesiva o contaminación.

El manejo diferenciado de suelos, la delimitación estricta de áreas de obra, la disposición adecuada de materiales sobrantes y la implementación de protocolos para el manejo de combustibles y lubricantes reducen el riesgo de afectación al suelo a niveles controlados.

La impermeabilización de superficies se realiza bajo criterios de ingeniería hidráulica, evitando alteraciones en los patrones naturales de escurrimiento. En este escenario, el impacto al suelo se mantiene como **moderado durante la construcción y bajo durante la operación**, sin comprometer la integridad geológica del sitio.

Flora y vegetación

La remoción de vegetación se limita estrictamente a las áreas indispensables para el desplante de obras, particularmente en zonas de **vegetación secundaria de selva baja caducifolia**, previamente identificadas y delimitadas.

La aplicación de medidas de **rescate, compensación y reforestación**, así como la protección de áreas no intervenidas, permite mantener la funcionalidad ecológica del entorno y evitar afectaciones innecesarias a la cobertura vegetal remanente. La implementación de programas de educación ambiental y sensibilización del personal refuerza la conservación de la vegetación circundante.

Como resultado, la afectación a la flora se considera **controlada, localizada y compensable**, sin comprometer especies de relevancia para la conservación.

Fauna silvestre

La fauna presente en el SAR se beneficia de la aplicación de medidas preventivas durante la construcción, tales como **horarios controlados de trabajo, reducción de ruido innecesario, capacitación del personal, delimitación de áreas de tránsito y protocolos de rescate y reubicación de fauna**.

Durante la operación, el diseño ordenado de las instalaciones, el control de iluminación nocturna y la reducción de fuentes de perturbación permiten que la fauna continúe utilizando áreas adyacentes al proyecto. Estas acciones minimizan el desplazamiento y reducen significativamente el riesgo de mortalidad.

El impacto sobre la fauna se clasifica como **bajo y reversible**, sin afectar poblaciones ni procesos ecológicos regionales.

Atmósfera y calidad del aire

La implementación de medidas como **humectación de superficies, mantenimiento preventivo de maquinaria, control de emisiones y manejo adecuado de materiales pulverulentos** reduce las emisiones de partículas y gases a la atmósfera durante la construcción.

En la etapa de operación, las emisiones se mantienen dentro de parámetros normales para un complejo industrial, sin generar concentraciones contaminantes que afecten la calidad del aire regional. Por lo tanto, el impacto atmosférico se considera **temporal, de baja intensidad y estrictamente localizado**.

Paisaje y percepción visual

La aplicación de criterios de ordenamiento, diseño funcional y control visual permite integrar el proyecto al entorno industrial existente. La incorporación de áreas verdes, el ordenamiento de patios y la señalización adecuada reducen el contraste visual y mejoran la percepción del paisaje industrial.

El impacto paisajístico, aunque permanente, se considera **moderado y compatible con la vocación industrial del sitio**, sin generar afectaciones significativas al paisaje regional.

Medio socioeconómico

Desde el punto de vista socioeconómico, la aplicación de medidas de mitigación fortalece los efectos positivos del proyecto, al generar **empleo formal, dinamización económica local, mejora en la infraestructura y fortalecimiento de servicios**, sin generar conflictos sociales ni presiones negativas sobre la población cercana.

El cumplimiento de programas de seguridad, protección civil y manejo ambiental incrementa la aceptación social del proyecto y garantiza su operación segura y ordenada a largo plazo.

Evaluación integral del escenario con medidas de mitigación

En conjunto, el escenario con proyecto aplicando las medidas de mitigación demuestra que los impactos ambientales se **reducen a niveles bajos o moderados, son mayoritariamente temporales, reversibles y estrictamente localizados**, sin comprometer la integridad del Sistema Ambiental Regional.

Este escenario confirma que el proyecto **es ambientalmente viable**, compatible con la vocación industrial del sitio y alineado con los principios de prevención, sustentabilidad y aprovechamiento racional de los recursos naturales, constituyéndose como la alternativa más adecuada desde el punto de vista ambiental, técnico y socioeconómico

VIII. IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS Y ELEMENTOS TÉCNICOS QUE SUSTENTAN LOS RESULTADOS DE LA MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

El presente capítulo describe los **instrumentos metodológicos, técnicos, cartográficos, documentales y normativos** que sustentan los resultados obtenidos en la Manifestación de Impacto Ambiental del **Proyecto Integral de Naves Industriales y Planta Desalinizadora ESEASA**, garantizando la trazabilidad, verificabilidad y consistencia de la información presentada ante la autoridad ambiental competente.

El desarrollo del estudio se realizó conforme a lo establecido en la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)** y su **Reglamento en materia de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA)**, así como a los criterios técnicos comúnmente aceptados en la práctica de la evaluación ambiental en México.

VIII.1 Presentación de la información

De conformidad con lo establecido en el **artículo 19 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental**, la información correspondiente a la presente Manifestación de Impacto Ambiental se entrega de manera ordenada, completa y en idioma español, a fin de facilitar su revisión, análisis técnico y, en su caso, consulta pública.

La documentación entregada incluye:

- Un ejemplar impreso de la Manifestación de Impacto Ambiental.
- Un resumen ejecutivo.
- Anexos técnicos, legales y ambientales.

- Planos y cartografía temática.
- Dos medios digitales que contienen la totalidad de la información presentada.
- Uno de los medios digitales se destina específicamente al **procedimiento de consulta pública**, conforme a lo señalado en la normatividad aplicable.

La información fue estructurada de forma clara, congruente y consistente, evitando omisiones o ambigüedades que pudieran derivar en requerimientos de información adicional por parte de la autoridad ambiental, con el objetivo de asegurar la continuidad del procedimiento de evaluación.

VIII.1.1 Cartografía

La cartografía utilizada en la elaboración del estudio proviene de fuentes oficiales y reconocidas, principalmente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
Entre los insumos cartográficos empleados se incluyen:

- Cartografía base INEGI, Serie VII, escala 1:250,000.
- Capas temáticas de vegetación, hidrografía, uso del suelo y unidades ambientales.
- Información del Sistema de Información Marina y Regional (SIMAR) de CONABIO.

El análisis espacial, integración de capas y elaboración de mapas temáticos se realizó mediante el Sistema de Información Geográfica QGIS, versión 3.10.4, software de código abierto ampliamente utilizado en estudios ambientales y aceptado por autoridades ambientales nacionales e internacionales.

Los productos cartográficos resultantes se presentan a lo largo del documento y permiten sustentar la delimitación del Sistema Ambiental Regional, el Área de Influencia, la ubicación del proyecto y la identificación de componentes ambientales relevantes.

VIII.1.2 Fotografías

Las fotografías asociadas al proyecto se presentan dentro del documento.

VIII.1.3 Videos

Para el presente proyecto no se incorporaron registros en formato de video, al considerarse suficiente la información fotográfica, cartográfica y documental para la caracterización ambiental y la evaluación de impactos.

VIII.1.4 Otros anexos

Como parte integral de la Manifestación de Impacto Ambiental, se anexan los siguientes documentos de respaldo:

- Documentación legal del predio y del promovente.
- Planos arquitectónicos, estructurales y de instalaciones.
- Programas ambientales (prevención, mitigación, compensación, vigilancia).
- Documentación técnica complementaria requerida para la evaluación del proyecto.

Estos anexos permiten verificar la congruencia entre la descripción del proyecto, la evaluación de impactos y las medidas ambientales propuestas.

VIII.2 Glosario de términos

Área de Influencia: Área básica de impacto asociada a los impactos previstos y evaluados en el medio natural (socioeconómico, geográfico); área geográfica o región en la que se alterará el medio (cuenca atmosférica, cuenca hidrográfica, hábitat, etc.).

Desarrollo Sustentable: es el progreso social, económico y político dirigido a satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras; es el mejoramiento de la calidad de vida humana sin sobrepasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan. Es un concepto multidimensional que abarca las diversas esferas de la actividad humana, tales como económica, ambiental, tecnológica, social, política y cultural.

Estudio de Impacto Ambiental: Documento en el que se expone la información sobre el medio ambiente, las características de la actividad a desarrollar (o proyecto) y la evaluación de sus afectaciones al medio ambiente.

Evaluación Ambiental: Predicción, identificación, caracterización y valoración de los impactos ambientales; diseño de medidas preventivas, minimizadoras y compensatorias.

Impactos Acumulativos: El efecto en el ambiente que resulta del incremento de los impactos de acciones particulares ocasionado por la interacción con otros que se efectuaron en el pasado o que están ocurriendo en el presente.

El efecto acumulativo hace referencia a una posibilidad de incremento del efecto del impacto por prolongarse la duración de actuación de alguna acción en concreto.

Impacto Ambiental: Modificación del medio ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza.

Impactos Sinérgicos: Aquel que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varias actividades supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente. Asimismo, se incluye aquel efecto cuyo modo de acción induce en el tiempo la aparición de otros nuevos.

Según el Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental es aquel que se produce cuando el efecto o conjunto de la presencia simultánea de varias acciones supone una incidencia ambiental mayor que la suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente.

Impactos Residuales: Impactos que persisten después de aplicar medidas correctivas o de mitigación. Esto incluye los impactos que no son mitigables ni corregibles, y aquellos que quedan como reducidos en magnitud o extensión después de las acciones de mitigación.

Indicador: La palabra indicador viene del verbo latín *indicare*, que significa mostrar, anunciar, estimar o asignar un precio. Los indicadores son parámetros (p.a., una medida o propiedad observada), o algunos valores derivados de los parámetros (p.a., modelos), que proporcionan información sobre el estado actual de los ecosistemas, como patrones o tendencias (cambios) en el estado del medio ambiente, en las actividades humanas que afectan o están afectadas por el ambiente, o sobre las relaciones entre tales variables.

Indicadores de Impacto Ambiental: Expresión medible de un impacto ambiental, variable simple o expresión más o menos compleja que mejor representa la alteración al medio ambiente; elementos del medio ambiente afectado o potencialmente afectado por un agente de cambio evaluados de manera cuantitativa.

Índice: Es una agregación de estadísticas y/o de indicadores, que resume a menudo una gran cantidad de información relacionada, usando algún procedimiento sistemático de ponderación, escala y agregado de variables múltiples en un único resumen.

Medidas correctivas: Se implementan cuando los proyectos no consideraron los posibles impactos al ambiente, o en su efecto las variaciones del entorno. Lo cual conduce a aplicar una serie de acciones para resarcir los impactos que el proyecto provoque en el ambiente. El monitoreo ambiental, está íntimamente vinculado con las medidas correctivas, ya que su objetivo es la detección del aumento de algún contaminante a través de dichos monitoreos. Las medidas correctivas pueden ir desde el cambio de maquinaria y equipo, hasta el cambio de lugar de disposición de aguas residuales o desecho, así como la de las técnicas empleadas para su depuración y tratamiento.

Medidas de atenuación o mitigación: Cuando el efecto adverso se presenta en el ambiente sin posibilidad de eliminarlo, se implementan medidas que tiendan a disminuir sus efectos; tales medidas se diferencian de las de control, en que éstas siempre tienden a disminuir el efecto en el ambiente cuando se aplican, mientras que las de control solo se regulan para que no aumente el impacto en el ambiente.

Entre las medidas de mitigación más comunes se encuentran la toma de decisión sobre un proyecto o de una actividad del proyecto, a partir de la posibilidad de emplear diversas alternativas (por ejemplo, si se emplea cierto método de explotación o beneficio, o no), con lo cual se puede resolver por la opción menos impactante al ambiente. Otras medidas de mitigación tienen relación con el rescate del medio que puede ser afectado, como por ejemplo el trasplante de organismos.

Medidas de compensación: Un impacto ambiental puede provocar daño al ecosistema, lo cual hace necesario aplicar medidas que compensen sus efectos, por lo general estos impactos ambientales que requiere compensación son en su gran mayoría irreversibles. Algunas de las actividades que se incluyen en este tipo de medidas, son la repoblación vegetal o la inversión en obras de beneficio al ambiente.

Medidas de control: Se aplica cuando un impacto ambiental no es posible prevenirlo, o el costo de su prevención es elevado como para aplicar la medida adecuada. El impacto se controla manejando las variables que hacen posible el que aumenten o disminuyan los efectos en el ambiente.

Entre las medidas comúnmente utilizadas se encuentra el control de emisiones a la atmósfera, la disminución los contaminantes en la descarga de aguas residuales y el tratamiento de los residuos sólidos.

Medida de prevención: Son aquellas encaminadas a impedir que un impacto ambiental se presente. Entre ellas se encuentran las actividades de mantenimiento, planes y programas de emergencia, y algunas otras medidas encaminadas al mismo fin.

Medio Ambiente: Resultante de la interacción entre las actividades humanas y su orientación ideológica, y los componentes naturales del medio en el que éstas se desarrollan.

Sistema Ambiental Regional: Interacción entre el ecosistema (componentes abióticos y bióticos) y los subsistemas: social, económico y cultural de la región donde se pretende establecer el proyecto.

Sustentabilidad: La Sustentabilidad es un estado ideal en el que el crecimiento económico y el desarrollo debieran ocurrir y ser mantenidos en el tiempo dentro los límites impuestos por la ecología. Asimismo, es una visión de futuro y el Desarrollo Sustentable la estrategia

para alcanzarla, la cual implica comprender los límites y características de la naturaleza y las leyes naturales que nos gobiernan; pues ésta se basa en las teorías ecológicas de sustentabilidad natural de los ecosistemas.

Vigilancia Ambiental: Plan de seguimiento de la evolución del medio ambiente y de los impactos ambientales, al ejecutarse un proyecto; incluye medidas a aplicar por desviación de lo previsto en la MIA-R.

VIII.3 Bibliografía

En cada uno de los capítulos en pie de página se agregó las referencias bibliográficas utilizadas. En este apartado solo se mencionan las referencias generales del documento MIA-R.

- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones Terrestres Prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre, S.C. México.
- CONABIO. 2008. Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.
- González, M.F. 2004. Las comunidades vegetales de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Halfter, G. J. Soberon, P. Koleff & A. Melic (Eds). 2005. Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades Alfa, Beta y GAmma. M3m-Monografías 3cer Milenio, vol. 4. Sociedad Entomológica Aragonesa, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Grupo Diversitas-México y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) México.
- Leopold 1971, l. B., f. E. Clarke, b. B. Hanshaw, and j. E. Balsley. 1971. A procedure for evaluating environmental impact. U.s. Geological survey circular 645, Washington, D.C.
- Ley General de Bienes Nacionales; Diario Oficial de la Federación, 20 de mayo de 2004, actualizada el 7 de junio de 2013.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2013. Diario Oficial de la Federación. Publicado el 28 de enero de 1988, última reforma publicada en el DOF el 09 de enero de 2015.
- Ley General de Vida Silvestre, Diario Oficial de la Federación, 3 de julio de 2000, texto vigente, última reforma publicada en el DOF fue el 26 de enero de 2015.
- 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.

- Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe. Publicado en el Diario Oficial de la Federación. Tomo DCCX No. 17. México, D.F. 24 de noviembre de 2012.
- Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental. Última reforma publicada Diario Oficial de la Federación el 31 de octubre de 2014.
- Rzedowski, J. y L. Huerta M. 1986. Vegetación de México. Ed. Limusa. México. Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la. Biodiversidad. México.