MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

EL CONTENIDO DE ESTE ARCHIVO NO PODRÁ SER ALTERADO O MODIFICADO TOTAL O PARCIALMENTE, TODA VEZ QUE PUEDE CONSTITUIR EL DELITO DE FALSIFICACIÓN DE DOCUMENTOS DE CONFORMIDAD CON EL ARTÍCULO 244, FRACCIÓN III DEL CÓDIGO PENAL FEDERAL, QUE PUEDE DAR LUGAR A UNA SANCIÓN DE **PENA PRIVATIVA DE LA LIBERTAD** DE SEIS MESES A CINCO AÑOS Y DE CIENTO OCHENTA A TRESCIENTOS SESENTA DÍAS MULTA.

DIRECION GENERAL DE
IMPACTO Y RIESGO
AMBIENTAL

[redacted], presenta la siguiente:

Manifestación de Impacto Ambiental modalidad particular (MIA-P), incluye actividad altamente riesgosa (con Estudio de Riesgo)

Versión Publica

Aplicable al proyecto:

"Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO_2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)"

abril 2026

Contenido

1 Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable de la evaluación de impacto ambiental. 1
1.1 Datos del proyecto 1
1.2 Datos del Regulado 4
1.3 Datos del responsable técnico de la elaboración del estudio 5
2 Descripción del proyecto 7
2.1 Información general del proyecto 7
2.2 Descripción del proyecto 11
2.3 Características particulares del proyecto 17
2.4 Descripción del proceso 28
2.5 Programa general de trabajo 53
2.6 Etapas del proyecto 59
2.7 Generación, manejo y disposición de residuos sólidos 61
2.8 Sustancias involucradas 65
3 Vinculación con los instrumentos de planeación y ordenamientos jurídicos aplicables 73
3.1 Leyes Federales 73
3.2 Reglamentos Federales 81
3.3 Instrumentos de Planeación alineados al Plan Nacional de Desarrollo 85
3.4 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos 87
3.5 Leyes generales, federales y sus reglamentos 88
3.6 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) 90
3.7 Ordenamiento Ecológico de Territorio 93
3.8 Áreas Naturales Protegidas 119
3.9 Sitios Prioritarias para la Restauración 120
3.10 Regiones Prioritarias 121
3.11 Conclusiones 121
4 Descripción del Sistema Ambiental y señalamiento de la problemática ambiental detectada en el Área de Influencia del proyecto 123
4.1 Delimitación del Sistema Ambiental (SA) 123
4.2 Caracterización y análisis del Sistema Ambiental 127

Versión Publica

4.3 Cambio Climático 188
4.4 Capacidad de carga del SA 190
4.5 Diagnóstico ambiental 192
4.6 Conclusiones 194
5 Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales 233
5.1 Identificación de impactos ambientales 233
5.2 Caracterización de los Impactos Ambientales 235
5.3 Valorización de los impactos ambientales 241
5.4 Impactos Ambientales Residuales (IAR) 235
5.5 Conclusiones 236
6 Medidas preventivas y de mitigación de los impactos ambientales 238
6.1 Jerarquía de la mitigación 238
6.2 Descripción de la medida o programa o de medidas de mitigación o correctivas por componente ambiental 239
6.3 Medidas en materia de cambio climático 258
6.4 Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) 258
6.5 Información necesaria para la fijación de montos para fianzas 259
7 Pronósticos ambientales y en su caso, evaluación de alternativas 260
7.1 Descripción y análisis del escenario sin Proyecto 260
7.2 Descripción y análisis del escenario con Proyecto 263
7.3 Descripción y análisis del escenario considerando las medidas de prevención, mitigación, compensación y/o corrección 265
7.4 Pronostico ambiental 267
7.5 Evaluación de alternativas 268
7.6 Conclusiones 269
8 Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan los resultados de la Manifestación de Impacto Ambiental 270
8.1 Formatos de presentación 270
8.2 Bibliografía consultada en la elaboración de la MIA 271
8.3 Glosario de términos 275

Versión Publica

Índice de tablas

Tabla 1.1 Información de ubicación del proyecto 1
Tabla 1.2 Duración total de proyecto respecto a la etapa del proyecto 2
Tabla 1.3 Obras y/o actividades respecto a su duración, periodo o fase. 3
Tabla 1.4 Síntesis del Proyecto 4
Tabla 1.5 Domicilio y personas autorizadas a oír y recibir notificaciones 5
Tabla 2.1 Inversión del proyecto desglosado por etapas 8
Tabla 2.2 Coordenadas UTM del polígono del proyecto 9
Tabla 2.3 Colindancias inmediatas de las instalaciones 11
Tabla 2.4 Descripción de obras y/o actividades por etapa 12
Tabla 2.5 Descripción de la superficie de interacción directa y total del proyecto 14
Tabla 2.6 Características de los equipos Upgrading 17
Tabla 2.7 Características de equipos de compresión de biometano 23
Tabla 2.8 Características de equipo paquete de Licuefacción de BioCO$_2$ 23
Tabla 2.9 Biomasa disponible en Celda #1 30
Tabla 2.10 Caracterización de residuos sólidos urbanos (ítem 1) 30
Tabla 2.11 Eficiencia de recolección en rellenos sanitarios. Fuente: Manual de Usuario Modelo Centroamericano de Biogás Versión 1.0 34
Tabla 2.12 Producción de biogás Celda #1 37
Tabla 2.13 Especificaciones generales para pozo de extracción de biogás 39
Tabla 2.14 Resultado de cálculo de tuberías de conducción 41
Tabla 2.15 Condiciones de biogás entrada a Upgrading 43
Tabla 2.16 Resultados análisis de laboratorio muestras de biogás 43
Tabla 2.17 Parámetros de evaluación para biogás 44
Tabla 2.18 Composición química gas natural NOM-001-SECRE-2012 47
Tabla 2.19 Requerimientos mínimos corriente BioCO$_2$ para licuefacción 47
Tabla 2.20 Descripción de obras y/o actividades por etapa 54
Tabla 2.21 Periodos de ejecución del proyecto 57
Tabla 2.22 Clasificación de residuos peligrosos 62
Tabla 2.24 Composición de biometano y biogás 66
Tabla 2.25 Propiedades físicas del biometano en México 67

Versión Publica

Tabla 2.26 Propiedades físicas del biogás 67
Tabla 2.27 Clasificación de riesgos a la salud de acuerdo con ECHA 69
Tabla 2.28 Composición del BioCO$_2$ 70
Tabla 3.1. Vinculación del Proyecto con la Ley de Biocombustibles 73
Tabla 3.2 Vinculación del Proyecto con la Ley de Planeación y Transición Energética 75
Tabla 3.3 Vinculación del Proyecto con la LGEEPA 75
Tabla 3.4 Vinculación del Proyecto con la Ley General de Vida Silvestre 77
Tabla 3.5 Vinculación del Proyecto con la LGPGIR 79
Tabla 3.6 Vinculación con el Reglamento de la Ley de Biocombustibles 82
Tabla 3.7 Vinculación con el Reglamento de la Ley de Planeación y Transición Energética 83
Tabla 3.8 Vinculación del Proyecto con el Reglamento de la LGPGIR 84
Tabla 3.9 Vinculación con leyes generales, federales y sus reglamentos 88
Tabla 3.10 Normas Oficiales Mexicanas aplicables 90
Tabla 3.11 Políticas y Estrategias de la UAB 52, Región 18.20 (Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo) del POEGT 96
Tabla 3.12 Vinculación del Proyecto con las estrategias aplicables a la UAB 32 del POEGT 96
Tabla 3.13 Vinculación del Proyecto con las estrategias aplicables a la UGA 160 Zona Urbana de Colón 101
Tabla 3.14 Unidades de Gestión Ambiental del municipio de Colón 103
Tabla 3.15 Políticas ambientales 104
Tabla 3.16 Políticas y Estrategias de la UGA 17 Zona Urbana de Consolidación 105
Tabla 3.17 Vinculación del proyecto con a UGA 17 105
Tabla 4.1 Áreas de estudio 125
Tabla 4.2 Características de los tipos de cima 128
Tabla 4.3 Precipitación promedio en mm resultado del período 1991-2020 129
Tabla 4.4 Temperaturas máximas y mínimas en el período 1991-2020 129
Tabla 4.5 Temperatura media anual en el período 1991-2010 130
Tabla 4.6 Registro de Incendios Forestales 140
Tabla 4.7 Características litológicas del Sistema Ambiental 142
Tabla 4.8 Distribución de la superficie de las unidades fisiográficas 146
Tabla 4.9 Características del Campo Volcánico 150
Tabla 4.10 Características generales de los suelos 152

Versión Publica

Tabla 4.11 Uso de Suelo y Vegetación 154
Tabla 4.12 Hidrología Superficial 155
Tabla 4.13 Situación del acuífero en que incide el proyecto 156
Tabla 4.14 Coordenadas UTM 14 N de los puntos de muestreo de flora y fauna 166
Tabla 4.15 Vegetación por estratos hallada en el área de estudio 168
Tabla 4.16 Índice de biodiversidad de flora 171
Tabla 4.18 Índice de Biodiversidad para fauna 175
Tabla 4.19 Valoración de las UP 179
Tabla 4.20 Calidad Visual del SA 180
Tabla 5.1 Descripción de obras y/o actividades por etapa y sus posibles impactos 237
Tabla 5.2 Descripción de los factores ambientales que serán afectados por el proyecto 239
Tabla5.3. Escala de Magnitud de los impactos. 228

Índice de figuras

Figura 1.1 Ubicación del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO₂ líquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ) 2
Figura 2.1 Ubicación del proyecto (nivel nacional y local) 9
Figura 2.2 Uso de suelo y vegetación del área donde se pretende ubicar el proyecto 10
Figura 2.3 Coordenadas del polígono del proyecto 10
Figura 2.4 Poligonal del proyecto con colindancias 11
Figura 2.5 Área de Influencia del Proyecto 15
Figura 2.6 Disponibilidad de servicios y equipamiento 16
Figura 2.7 Arquitectura de Control 26
Figura 2.8 Áreas involucradas en el proyecto 29
Figura 2.9 Diagrama de Proceso / Producción de Biogás 29
Figura 2.10 Factores k y Lo en modelos mexicanos. Fuente: Modelo Mexicano de Biogás – versión 2, Methane to Markets 32
Figura 2.11 Plantilla de cálculo LandGEM v3.1 33
Figura 2.12 Datos iniciales para cálculo 33
Figura 2.13 Estimación de Producción herramienta LandGEM v3.1 34
Figura 2.14 Estimación de Producción corregida 35

Versión Publica

Figura 2.15 Producción estimada en m^3/día corregido 36
Figura 2.16 Producción estimada en m^3/hora corregida 36
Figura 2.17 Estructura de una celda 37
Figura 2.18 Detalle típico de pozo para extracción de biogás 39
Figura 2.19 Planta de ubicación de pozos de extracción de biogás 40
Figura 2.20 Red de tubería de conducción de biogás 42
Figura 2.21 Diagrama de proceso/Limpieza y Purificación de biogás 44
Figura 2.22 Diagrama del Proceso / Compresión de Biometano 48
Figura 2.23 Etapas de compresión y enfriamiento 49
Figura 2.24 Diagrama de Proceso / Licuefacción de $BioCO_2$ 50
Figura 2.25 Diagrama de Flujo de Proceso de Sistema de Limpieza y Purificación de Biogás 52
Figura 2.26 Diagrama de Flujo de Proceso del Proceso de Compresión de Biometano 52
Figura 2.27 Diagrama de Flujo de Proceso del Proceso de Licuefacción de $BioCO_2$ 53
Figura 2.28 Programa de trabajo (Diagrama de Gantt) 58
Figura 2.29 Programas de GHS (Biometano) 68
Figura 2.30 Pictogramas del GHS (Biogás) 68
Figura 2.31 Pictogramas del GHS ($BioCO_2$) 70
Figura 3.1 Ubicación del Proyecto dentro de la UAB 52, Región 18.20Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo 95
Figura 3.2 Ubicación del Proyecto dentro de la UGA 17 Zona Urbana de Consolidación 104
Figura 3.3 Distancia del Proyecto al Área Natural Protegida más cercana 120
Figura 3.4 Distancia del Proyecto al Sitio Prioritario para la Restauración más cercano 121
Figura 4.1 Área del Proyecto 125
Figura 4.2 Área de Influencia 126
Figura 4.3 Sistema Ambiental 126
Figura 4.4 Clima 128
Figura 4.5 Distancia a la Estación Climatológica más cercana 129
Figura 4.6 Índice de Peligro por Tormentas Eléctricas a Nivel Municipal (CENAPRED) 131
Figura 4.7 Número de Días con Tormenta Eléctrica por Municipio (CENAPRED) 131
Figura 4.8 Riesgo por Tormenta de Granizo (CENAPRED) 132
Figura 4.9 Grado de Riesgo por Presencia de Ciclones Tropicales a Nivel Municipal (CENAPRED) 133

Versión Publica

Figura 4.10 Índice de Vulnerabilidad de Inundación (CENAPRED) 134
Figura 4.11 Índice de Peligro por Inundación (CENAPRED) 135
Figura 4.12 Riesgo por Ondas Cálidas 136
Figura 4.13 Grado de Riesgo por Sequía (CENSAPRED) 137
Figura 4.14 Riesgo por Bajas Temperaturas (CENAPRED) 138
Figura 4.15 Vulnerabilidad por Tornados (CENAPRED) 139
Figura 4.16 Degradación del Suelo 140
Figura 4.17 Incendios Forestales (CONAFOR) 141
Figura 4.18 Geología 143
Figura 4.19 Provincias Fisiográficas 145
Figura 4.20 Subprovincias Fisiográficas 145
Figura 4.21 Curvas de Nivel 146
Figura 4.22 Pendientes 147
Figura 4.23 Distancia a las estructuras geológicas más cercanas 148
Figura 4.24 Regionalización sísmica, CFE-2015 149
Figura 4.25 Susceptibilidad por inestabilidad de laderas 150
Figura 4.26 Distancia al campo volcánico activo más cercano 151
Figura 4.27 Edafología 152
Figura 4.28 Uso de Suelo y Vegetación Serie VII 154
Figura 4.29 Hidrología Superficial 156
Figura 4.30 Acuíferos 156
Figura 4.31 Cuerpos y corrientes de agua 158
Figura 4.32 Región Hidrológica Prioritaria 159
Figura 4.33 Región Terrestre Prioritaria 160
Figura 4.34 Región Marina Prioritaria 161
Figura 4.35 Área Natural Protegida más cercana al SA 162
Figura 4.36 Sitio RAMSAR más cercano al SA 163
Figura 4.37 AICA más cercana al SA 164
Figura 4.38 Distancia a la Estación de Monitoreo de la Calidad del Aire más cercana 165
Figura 4.39 Puntos de muestro para levantamiento de flora y fauna 167
Figura 4.40 Gráfico de Índices de Biodiversidad de vegetación por estrato en el área de estudio . 172

Versión Publica

Figura 4.41 Gráfico de índices de biodiversidad de fauna por grupo en el área de estudio 176
Figura 4.42 Ecorregión 177
Figura 4.43 Unidades del Paisaje 179
Figura 4.44 Visibilidad del paisaje 181
Figura 4.45 Pirámide poblacional del estado de Querétaro 182
Figura 4.46 Disponibilidad de servicios en el estado de Querétaro 183
Figura 4.47 Pirámide poblacional del municipio de Colón 183
Figura 4.48 Grado de Rezago Social 186
Figura 4.49 Zonas críticas 193
Figura 5.1 Esquema general de impactos ambientales en los subsistemas 234
Figura 5.2 Esquema general de la Matriz de Leopold 235
Figura 5.3 Matriz de Lepold (Preparación del Sitio) 229
Figura 5.4 Matriz de Leopold (Construcción) 231
Figura 5.5 Matriz de Leopold (Operación y mantenimiento) 232
Figura 5.6 Matriz de Leopold (Cierre, desmantelamiento y abandono) 232

Versión Publica

1 Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable de la evaluación de impacto ambiental.

1.1 Datos del proyecto

En este apartado, se mostrará de manera general, la contextualización del proyecto objeto de la presente evaluación de impacto ambiental:

1.1.1 Nombre del proyecto

"Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)."

1.1.2 Ubicación del proyecto

La ubicación del predio/sitio donde se lleva a cabo el proyecto denominado "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ).", es la siguiente:

Tabla 1.1 Información de ubicación del proyecto

Información de la localización del proyecto	
Estado:	[redacted]
Municipio o alcaldía:	[redacted]
Colonia, localidad, comunidad, ejido:	[redacted]
Calle y número exterior e interior:	[redacted]
Código postal:	[redacted]
Localidades próximas:	[redacted]
Cuenca petrolera:	[redacted]
Referencia de la ubicación	[redacted]

Versión Pública

A continuación, se presenta el plano cartográfico correspondiente a la ubicación del proyecto en escala 1:2,000 para su fácil interpretación.



Figura 1.1 Ubicación del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ líquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)

1.1.3 Tiempo de vida útil

El proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)." tendrá una vida útil por un periodo de 20 años cumpliendo parámetros técnicos y normas ambientales aplicables a la actividad correspondiente para la generación de Biometano comprimido y BioCO$_2$ líquido, a continuación, se presentan los tiempos contemplados para el desarrollo del proyecto por etapa:

Tabla 1.2 Duración total de proyecto respecto a la etapa del proyecto

Etapa	Duración
Preparación del Sitio	4.7 meses
Construcción	8 meses
Operación y Mantenimiento	20 años
Cierre, Desmantelamiento y Abandono	2 meses
Total	21 años y 2.7 meses

El proyecto se desarrollará en una fase, en las cuales se contemplan las actividades y la instalación de los siguientes equipos:

Versión Publica

Tabla 1.3 Obras y/o actividades respecto a su duración, periodo o fase.

Periodo / Fase	Etapa	Duración	Descripción
Fase 1	Preparación del Sitio	4.7 meses	La etapa de preparación del sitio comprende la delimitación del área del proyecto, limpieza del terreno, trazo, nivelación y adecuación de la superficie para la instalación de la infraestructura. También incluye excavaciones, rellenos, compactaciones, preparación de bases, habilitación de accesos, áreas de maniobra, drenajes y obras auxiliares necesarias para el desarrollo del proyecto. De forma complementaria, en esta etapa se realizarán las gestiones técnicas, administrativas y documentales para la obtención de licencias, autorizaciones y permisos aplicables para la construcción, incluyendo los trámites que correspondan ante autoridades municipales, estatales y federales.
	Construcción	8 meses	La etapa de construcción comprende la ejecución de las obras civiles, mecánicas, eléctricas y de integración necesarias para instalar la infraestructura del proyecto, como el montaje de la planta de limpieza y separación, del sistema de compresión de biometano y de la planta de licuefacción de BioCO₂. También considera la instalación de equipos auxiliares, instrumentación, control y supervisión, así como la realización de ensayos, pruebas, limpieza de tuberías, pruebas hidrostáticas y actividades de puesta en marcha previas al inicio de operación, conforme a la ingeniería del proyecto y a la normatividad aplicable.
	Operación y Mantenimiento	20 años	La etapa de operación y mantenimiento comprende la operación continua del sistema de limpieza y separación del biogás, así como de las unidades de compresión de biometano y licuefacción de BioCO₂, mediante el monitoreo permanente de variables de proceso, control automático y registro operativo a través de PLC y SCADA. También incluye la ejecución de programas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo en equipos mecánicos, eléctricos, criogénicos, instrumentación y sistemas de seguridad, así como la calibración de sensores, el control de refacciones, la integración de bitácoras y la atención de emergencias, con el fin de asegurar la continuidad operativa, la seguridad industrial, la trazabilidad del producto y el cumplimiento normativo del proyecto.

Versión Pública

Periodo / Fase	Etapa	Duración	Descripción
	Cierre, Desmantelamiento y Abandono	2 meses	La etapa de cierre y desmantelamiento comprende el retiro ordenado y seguro de equipos, tuberías, accesorios, instalaciones eléctricas, sistemas de control y demás infraestructura asociada al aprovechamiento del biogás que deje de operar, así como la limpieza del sitio, el manejo y disposición de materiales y residuos generados, la desconexión de servicios y el aseguramiento de las áreas intervenidas. También incluye la rehabilitación de las superficies afectadas, la colocación de cubiertas o materiales de protección donde resulte aplicable, y la ejecución de acciones de revegetación, reforestación o acondicionamiento del área para su destino final, con el fin de minimizar impactos ambientales y dar cumplimiento a las disposiciones aplicables en materia de clausura, seguridad y manejo ambiental del sitio.

1.1.4 Síntesis del proyecto

A continuación, se muestra una síntesis de los elementos y actividades que se desarrollaron para el proyecto denominado "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)."

Tabla 1.4 Síntesis del Proyecto

Entidad	Municipio	Nombre de promovente	Nombre del proyecto	Modalidad
Querétaro	Colón	BIOGE3, S. DE R.L. de C.V.	"Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)."	MIA-P con ER
El proyecto consiste en la identificación de la biomasa disponible en la celda # 1 para captura, recolección, conducción, y procesamiento del biogás que se produce por la descomposición anaeróbica de los residuos sólidos urbanos que son depositados y manejados en el relleno sanitario de Ezequiel Montes. Una vez que se conduce el biogás hacia la planta de limpieza, se obtendrán dos subproductos: Biometano (GNR) y BioCO$_2$. El Biometano pasará por la planta de compresión para su posterior comercialización y manejo como Biocombustible comprimido, y el BioCO$_2$ será dirigido a la planta de licuefacción para obtener un producto en estado líquido de grado industrial para posteriormente comercializarlo.				

1.2 Datos del Regulado

1.2.1 Nombre o razón social

[redacted]

En el ANEXO I se presenta copia simple del Acta Constitutiva de la empresa.

Versión Pública

1.2.1.1 Objeto de la razón social

[redacted]

1.2.2 Registro Federal de Contribuyentes (RFC) del Regulado

[redacted]

En el ANEXO I se presenta copia simple de la Constancia de Situación Fiscal (CSF) de la empresa.

1.2.3 Nombre del representante legal

El representante legal de [redacted] es [redacted], quien tiene el carácter de **Apoderado legal.**

En el ANEXO I se presenta copia del poder notarial así como copia simple de la identificación oficial vigente del representante legal para su cotejo.

1.2.4 Domicilio y personal autorizado para oír y recibir notificaciones

La dirección y personas autorizadas para oír y recibir notificaciones de este proyecto, se indican a continuación:

Tabla 1.5 Domicilio y personas autorizadas a oír y recibir notificaciones

No.	Nombre de la(s) persona	Correo electrónico	Domicilio completo
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	

NOTA: Esta información se encuentra actualizada para ser el medio inmediato de contacto entre la autoridad y el promovente, en relación con su proyecto.

1.3 Datos del responsable técnico de la elaboración del estudio

1.3.1 Nombre o razón social

CONSULTORÍA SUSTENTABLE G2H, S.A.S. DE C.V.

1.3.2 Registro Federal de Contribuyentes (RFC)

[redacted]

Versión Pública

1.3.3 Nombre del responsable técnico del estudio

[redacted]

Ing. [redacted]
Coordinadora de Estudios Técnicos
No. Cédula Profesional [redacted]

Se presenta en el ANEXO I copia simple de la cédula profesional.

1.3.4 Datos del equipo multidisciplinario

El equipo multidisciplinario involucrado en el desarrollo del presente estudio está compuesto por:

- [redacted] con cédula profesional número [redacted] y clave única de registro de población [redacted]
- [redacted] con cédula profesional número [redacted] y clave única de registro de población [redacted]

1.3.5 Dirección del responsable técnico del estudio

Calle: [redacted]
Número [redacted]
Colonia: [redacted]
Municipio: [redacted]
Estado: [redacted]
C.P.: [redacted]
Teléfono: [redacted]

Versión Pública

1.3.6 Escrito bajo protesta de decir verdad

Se presenta en el ANEXO I carta bajo protesta de decir verdad del responsable técnico de este estudio.

2 Descripción del proyecto

2.1 Información general del proyecto

2.1.1 Antecedentes

La presente Manifestación de Impacto Ambiental en modalidad Particular (MIA-P) corresponde al proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)", ubicado en el municipio de Colón, en el estado de Querétaro, el cual funciona como sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos provenientes tanto del municipio de Colón como de localidades aledañas.

El relleno sanitario recibe un volumen significativo de residuos, estimado en aproximadamente 3,992,602 toneladas anuales, con una tasa de ingreso y procesamiento de alrededor de 315 toneladas diarias, lo que lo posiciona como una infraestructura relevante dentro del sistema regional de manejo de residuos sólidos urbanos. En términos operativos, el sitio ha concluido la disposición en la celda número 1, actualmente clausurada, mientras que la celda número 2 se encuentra en operación activa para la recepción y confinamiento de residuos.

Como parte de los procesos naturales asociados a la disposición final de residuos, en el sitio se genera biogás de manera continua, derivado de la degradación anaerobia de la fracción orgánica contenida en los residuos confinados. No obstante, a la fecha el relleno sanitario no cuenta con un sistema integral de captación, conducción y aprovechamiento de dicho gas. De manera preliminar, se han implementado pozos de prueba equipados con quemadores provisionales destinados a la combustión del biogás; sin embargo, estos mecanismos resultan limitados para garantizar un control adecuado de las emisiones generadas.

2.1.2 Selección del sitio

La selección del sitio para el desarrollo del proyecto está directamente determinada por su naturaleza, al tratarse del aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario de Ezequiel Montes, ubicado en el municipio de Colón, Querétaro, donde se lleva a cabo la disposición final de residuos sólidos urbanos.

En este sentido, la ubicación no deriva de un análisis convencional de alternativas, sino de la necesidad de intervenir en el punto donde se genera el biogás, producto de la degradación anaerobia de los residuos, lo que condiciona su implementación al propio sitio.

Asimismo, el relleno sanitario cuenta con infraestructura existente y condiciones operativas que permiten la integración del proyecto dentro de su polígono, sin requerir la ocupación de nuevas áreas, favoreciendo el aprovechamiento de un espacio previamente intervenido.

Versión Pública

2.1.3 Inversión del proyecto

Respecto a la inversión que BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V., contempló para este proyecto, se consideran los conceptos y etapas que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Inversión del proyecto desglosado por etapas

Etapa	Monto en MXN
Sistema de Recolección y Upgrading Biogas	28, 142, 972.00
Sistema de Compresión de Biometano	7, 960, 875.00
Sistema de Licuefacción de CO_2	10, 092, 998.00
Otros costos	23, 556, 926.00
Análisis de Laboratorio	
Obra civil, eléctrica y mecánica	
Integración Sistema de Control	
Estudios para Créditos de Carbono	
Total	**69, 753, 771.00**

BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. incluirá en los costos antes mencionados, lo correspondiente a los seguros por responsabilidad civil y responsabilidad a terceros, el cual será determinado conforme a las Disposiciones Administrativas de Carácter General que establecen dichos lineamientos.

NOTA: Los costos de las medidas de mitigación, prevención, control, entre otras; que se observe importante incluir posterior a esta evaluación, y a su estudio de riesgo adjunto, serán calculadas en el respectivo Estudio Técnico Económico (ETE), según lo que establezca la autoridad.

2.1.4 Ubicación física, superficie y dimensiones del proyecto

El proyecto denominado "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO₂ líquido en el relleno sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)", propiedad de [redacted]. El área forma parte del [redacted], sitio destinado a la disposición final de residuos sólidos urbanos que presta servicio a dicho municipio y a localidades aledañas.

El predio donde se desarrollará el proyecto se ubica dentro de un polígono previamente intervenido y destinado al manejo de residuos, por lo que se inserta en un entorno con vocación para este tipo de actividades. En este sentido, el uso de suelo del área es compatible con la operación del proyecto, al tratarse de infraestructura asociada a la gestión y valorización de residuos, lo cual permite su integración sin requerir cambios de uso de suelo adicionales. De acuerdo con la cartografía de uso de suelo y vegetación Serie VII del INEGI, el sitio se clasifica como "desprovisto de vegetación" y "agricultura de temporal" (ver Figura 2.2), lo que confirma el carácter previamente transformado del área. De acuerdo con la delimitación del sitio, el relleno sanitario cuenta con una superficie total de 47,106.67 m², dentro de la cual se ha definido un polígono específico correspondiente al Área del Proyecto (AP), con una superficie de 2,523.24 m², destinada a la instalación de la infraestructura para la captación, procesamiento y aprovechamiento del biogás.

Versión Pública

El área seleccionada se encuentra contenida dentro de los límites del relleno sanitario, presentando condiciones físicas previamente modificadas por actividades antrópicas, tales como suelos compactados, ausencia de vegetación natural y presencia de infraestructura asociada a la disposición de residuos, lo que favorece la implementación del proyecto sin requerir la apertura de nuevas áreas.

La superficie que abarcará el proyecto es de 2,523.24 m², la cual se acotó en un polígono denominado "Área del Proyecto" (AP), que cuenta con las coordenadas, respecto a sus vértices, que se indican a continuación (ver Figura 2.1):

Ver ANEXO II. INFORMACIÓN DEL PROYECTO, donde se anexa copia simple del contrato de comodato, respecto de una fracción del predio donde será desarrollado el proyecto.

Tabla 2.2 Coordenadas UTM del polígono del proyecto

Coordenadas UTM Zona 14 N DATUM WGS84		
Vértices	X	Y
1	398533.00	2289270.58
2	398547.21	2289[illegible]6.26
3	398505.22	2289[illegible]97.47
4	398506.8[illegible]	2289271.15
1	398533.00	2289270.58

Versión Publica



Figura 2.1 Ubicación del proyecto (nivel nacional y local)

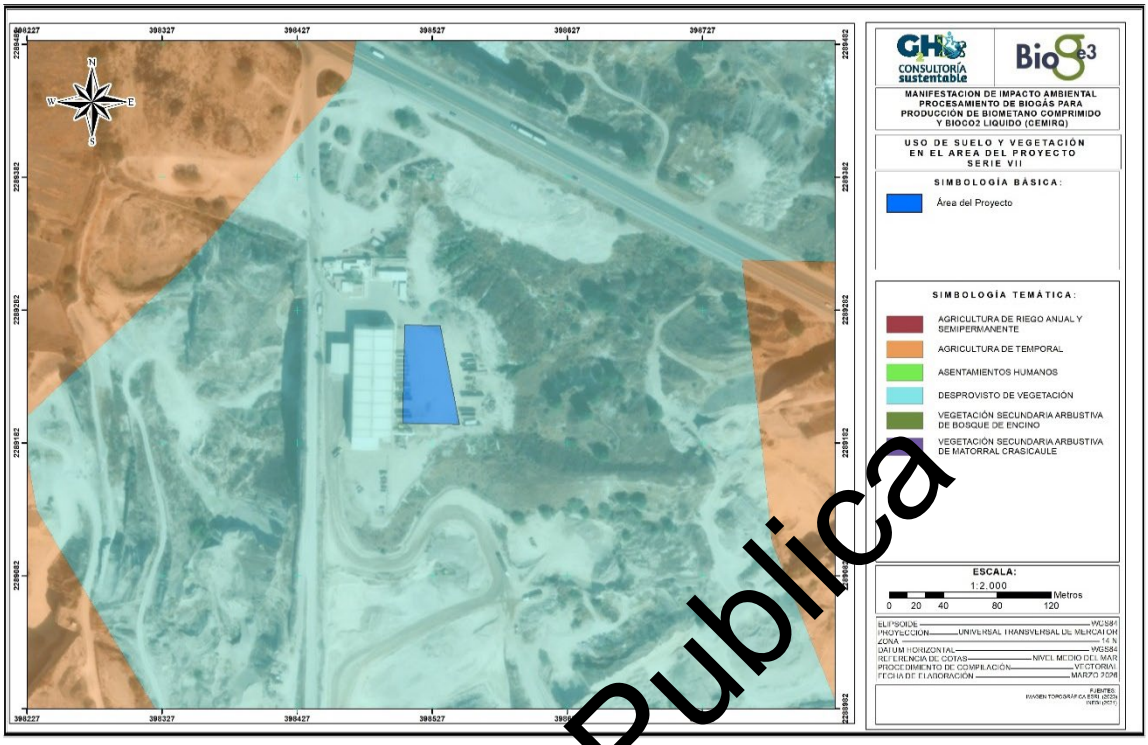


Figura 2.2 Uso de suelo y vegetación del área donde se pretende ubicar el proyecto

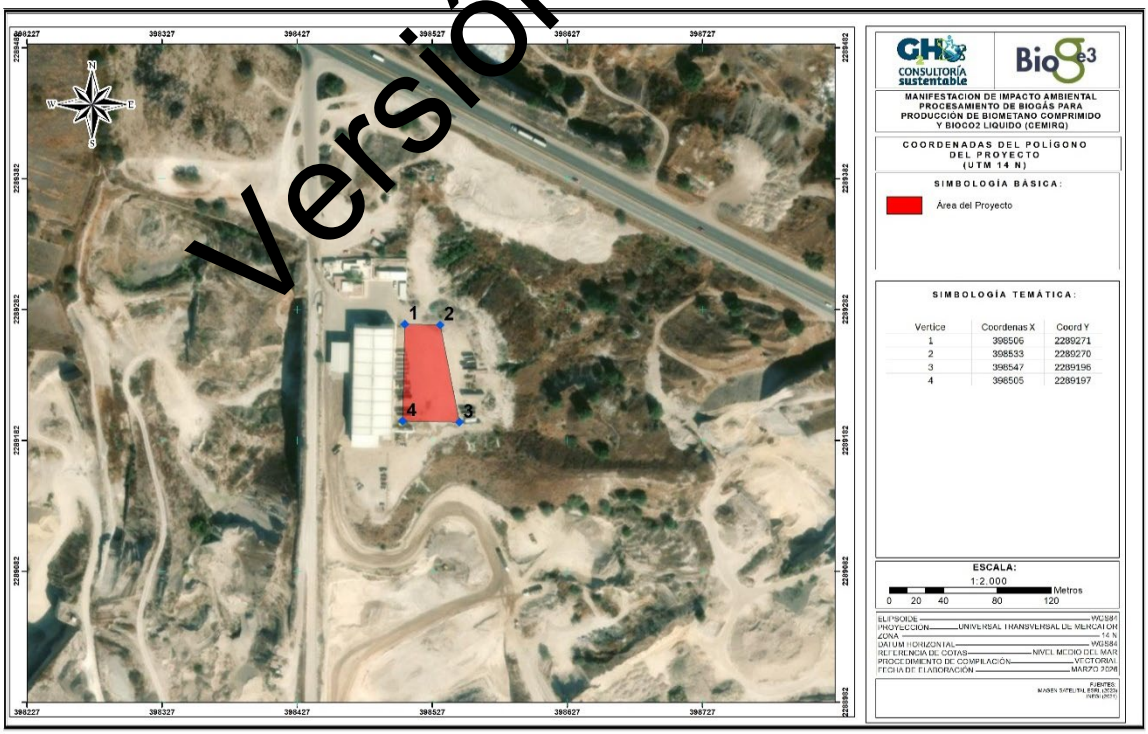


Figura 2.3 Coordenadas del polígono del proyecto

Versión Publica

Ver ANEXO IV. Georreferencias, donde se incluyen los archivos en formato KMZ correspondientes al polígono del proyecto, con coordenadas editables en cada uno de sus vértices.

Además, tomando en cuenta la localización de esta poligonal, se tienen las siguientes colindancias (Ver Figura 2.4)

Tabla 2.3 Colindancias inmediatas de las instalaciones

Dirección	Asentamiento	Distancia (m)
Norte	CEMIRQ	0
Sur	CEMIRQ	0
Este	CEMIRQ	0
Oeste	CEMIRQ	0

Versión Publica

NOTA: La posesión legal del predio en donde se desarrolla el proyecto se demuestra con el contrato de comodato del predio **(Consultar en ANEXO II. Información del Proyecto)**.

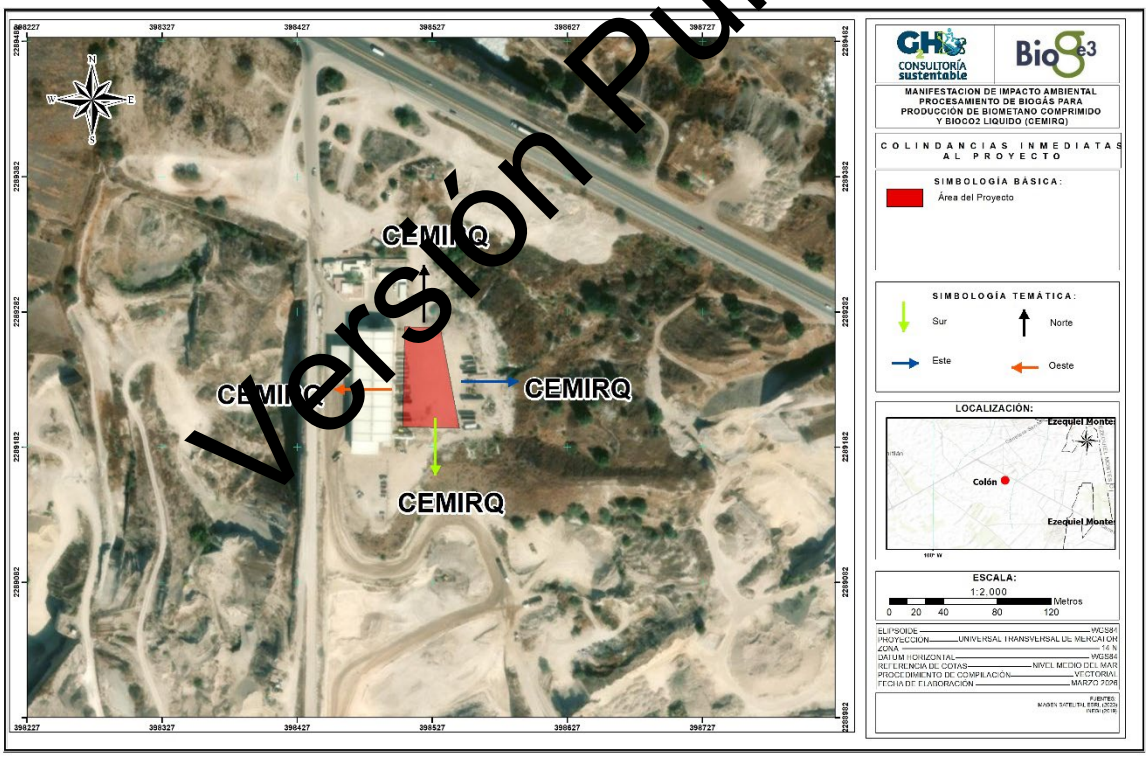


Figura 2.4 Poligonal del proyecto con colindancias

2.2 Descripción del proyecto

El proyecto denominado "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" tendrá como propósito el procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ líquido.

En la siguiente tabla, se describen las obras y actividades asociadas al desarrollo de diferentes etapas del proyecto:

Tabla 2.4 Descripción de obras y/o actividades por etapa

Etapa	Descripción de las actividades a desarrollar
Preparación del sitio	La etapa de preparación del sitio comprende las actividades preliminares necesarias para acondicionar el Área del Proyecto (AP), incluyendo: • Delimitación física del área del proyecto. • Limpieza y despalme del terreno (retiro de material superficial y residuos). • Trazo y nivelación del terreno conforme a planos de diseño. • Excavaciones, rellenos y compactaciones para conformación de plataformas. • Preparación de bases y cimentaciones para la instalación de infraestructura. • Habilitación de accesos internos y áreas de maniobra. • Instalación de sistemas de drenaje y manejo de escurrimientos. • Ejecución de obras auxiliares necesarias para el desarrollo del proyecto. De forma complementaria, se realizarán las gestiones técnicas, administrativas y documentales para la obtención de las licencias, permisos y autorizaciones aplicables ante las autoridades competentes, asegurando el cumplimiento de la normatividad vigente.
Construcción	La etapa de construcción comprende la ejecución de las obras civiles, mecánicas, eléctricas y de integración necesarias para la instalación de la infraestructura del proyecto, incluyendo: • Montaje de la planta de limpieza y separación. • Instalación del sistema de compresión de biometano. • Instalación de la planta de licuefacción de BioCO$_2$. • Instalación de equipos auxiliares. • Instalación de instrumentación, control y supervisión. • Realización de ensayos y pruebas. • Limpieza de tuberías. • Ejecución de pruebas hidrostáticas / neumáticas.

Versión Publica

Etapa	Descripción de las actividades a desarrollar
	• Actividades de puesta en marcha previas al inicio de operación. Todas estas actividades se desarrollarán conforme a la ingeniería del proyecto y a la normatividad aplicable.
Operación y mantenimiento	La etapa de operación y mantenimiento comprende la operación continua del sistema de limpieza y separación del biogás, así como de las unidades de compresión de biometano y licuefacción de BioCO₂, incluyendo: • Operación del sistema de limpieza y separación del biogás. • Operación de las unidades de compresión de biometano. • Operación de la planta de licuefacción de BioCO₂. • Monitoreo permanente de variables de proceso. • Control automático y registro operativo mediante sistemas PLC y SCADA. • Ejecución de programas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. • Mantenimiento de equipos mecánicos, eléctricos, criogénicos, instrumentación y sistemas de seguridad. • Calibración de sensores. • Control y gestión de refacciones. • Integración de bitácoras operativas. • Atención de emergencias. Estas actividades se realizarán con el fin de asegurar la continuidad operativa, la seguridad industrial, la trazabilidad del producto y el cumplimiento normativo del proyecto.
Cierre, Desmantelamiento y Abandono	La etapa de cierre y desmantelamiento comprende el retiro ordenado y seguro de la infraestructura asociada al aprovechamiento del biogás que deje de operar, incluyendo: • Retiro de equipos, tuberías, accesorios e instalaciones eléctricas. • Desmantelamiento de sistemas de control y demás infraestructura asociada. • Limpieza del sitio. • Manejo y disposición de materiales y residuos generados. • Desconexión de servicios. • Aseguramiento de las áreas intervenidas. • Rehabilitación de superficies afectadas.

Versión Publica

Etapa	Descripción de las actividades a desarrollar
	• Colocación de cubiertas o materiales de protección, donde aplique. • Ejecución de acciones de restauración, reforestación o acondicionamiento del área para su destino final. Estas actividades se realizarán con el fin de minimizar impactos ambientales y dar cumplimiento a las disposiciones aplicables en materia de clausura, seguridad y manejo ambiental del sitio.

2.2.1 Superficies y dimensiones del proyecto

A continuación, se describen las áreas principales que definirán las características del entorno donde se desarrolla el proyecto, y con las cuales se podrá profundizar en el análisis ambiental:

Área del Proyecto (AP)

La superficie total requerida para el proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" es de 2,523.24 m^2 y comprende únicamente el área correspondiente a la Planta de Biogás.

En la siguiente tabla se muestra la forma en la que se distribuye el Área del Proyecto:

Tabla 2.5 Descripción de la superficie de interacción directa y total del proyecto

Superficie de interacción directa					
Ocupación temporal	m^2	%	Ocupación permanente	m^2	%
-	-	-	Planta de Biogás	2,523.24	100
TOTAL	-	-	**TOTAL**	2,523.24	100

Área de Influencia (AI)

Es aquella superficie delimitada bajo una forma geométrica o de manera irregular que no necesariamente tiene interacción directa con las obras o actividades del proyecto, pero que puede tener influencia de este.

Tomando en cuenta lo anterior, y derivado de las características de este proyecto, el AI se delimitó conforme a la actividad que rodea el AP, tal como se muestra en la Figura 2.5.

Versión Pública

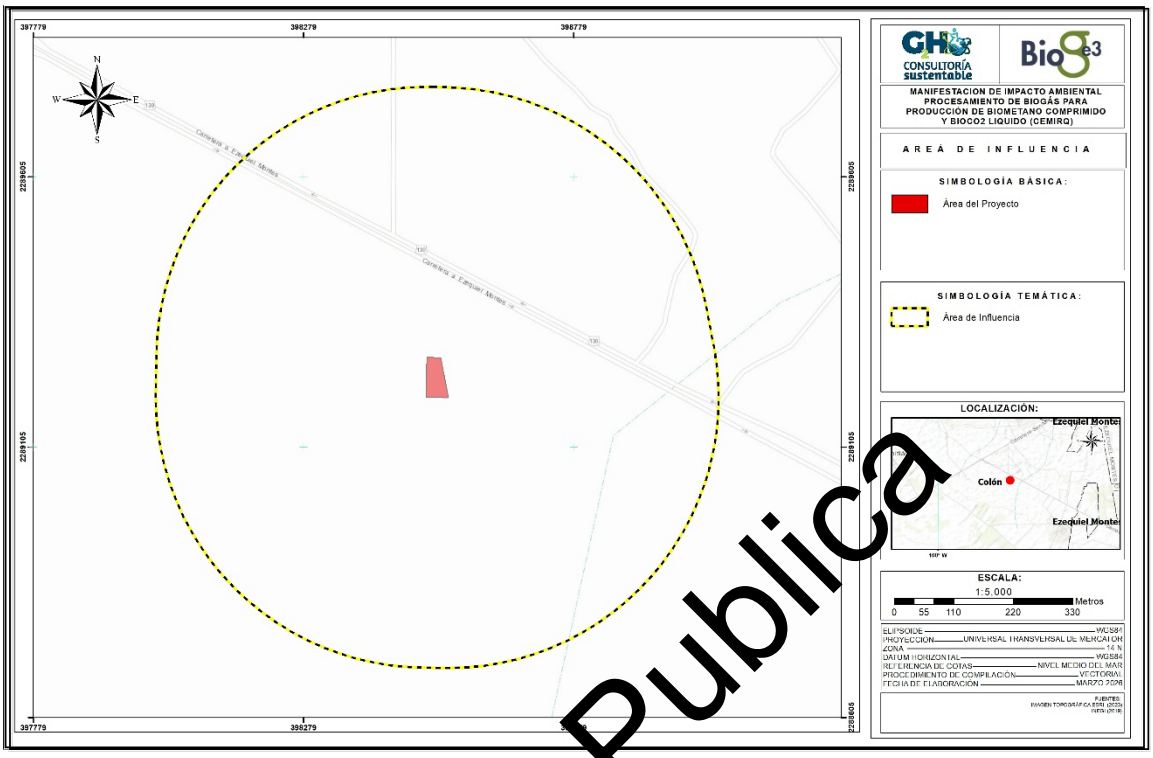


Figura 2.5 Área de Influencia del Proyecto

2.2.2 Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales

El proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y $BioCO_2$ líquido en el relleno sanitario Ezequiel Montes (CEMIRG)" NO REQUIERE el Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales (CUSTF), debido a las condiciones actuales del sitio y a la naturaleza de las actividades a desarrollar.

El predio corresponde a la Parcela 147 Z-1 P1/2 del Ejido San Martín, municipio de Colón, Querétaro, con una superficie total de 4-71-06.670 hectáreas, debidamente inscrita en el Registro Público de la Propiedad y del Comercio de Querétaro. Asimismo, existe un convenio de colaboración entre CEMIRQ, S.A. de C.V. y BIOGE3, S. de R.L. de C.V., mediante el cual se asigna el área requerida dentro del relleno sanitario para la instalación de la infraestructura del proyecto.

El proyecto se desarrollará dentro de un relleno sanitario en operación, en un área que ha sido previamente intervenida por actividades de disposición de residuos sólidos urbanos. El terreno presenta condiciones modificadas, con suelos compactados y ausencia de vegetación forestal, por lo que no corresponde a un terreno forestal.

Las obras no implican remoción de vegetación forestal ni cambio de uso de suelo, ya que se ejecutarán en un sitio que actualmente se encuentra destinado al manejo de residuos y a infraestructura asociada.

Ver ANEXO II. Información del Proyecto, donde se puede encontrar para su apreciación el archivo "Convenio CEMIRQ Bioge3 20260122".

Versión Publica

2.2.3 Descripción de los servicios requeridos

La zona donde se desarrolla el proyecto se encuentra en el municipio de Colón, en el estado de Querétaro, en donde, según el Panorama Sociodemográfico de México (INEGI, 2020), se cuenta con los siguientes servicios y equipamientos (Ver Figura 2.6):

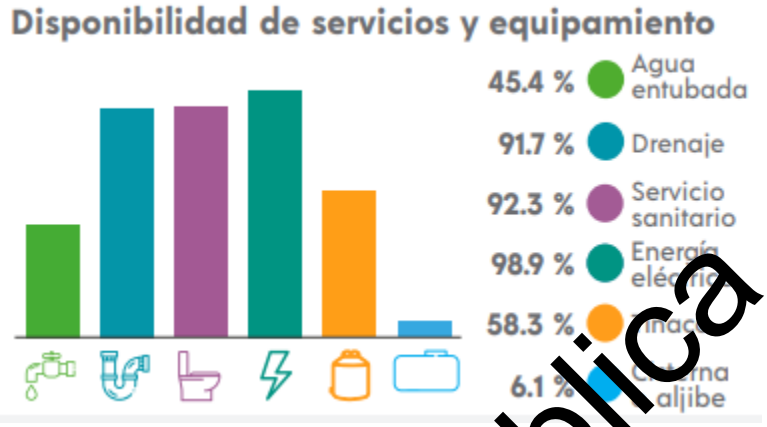


Figura 2.6 Disponibilidad de servicios y equipamiento

Agua entubada: Con una cobertura del 45.6%, se observa que menos de la mitad de las viviendas cuentan con acceso a agua corriente.

Drenaje: Con una cobertura del 91.7%, la mayoría de las viviendas dispone de conexión a un sistema de drenaje.

Servicio sanitario: Con una cobertura del 92.3%, la gran mayoría de las viviendas cuenta con acceso a servicios sanitarios.

Energía eléctrica: Con una cobertura del 98.9%, prácticamente la totalidad de las viviendas dispone de este servicio.

Tinaco: Con un 58.3%, más de la mitad de las viviendas cuenta con sistema de almacenamiento de agua mediante tinaco.

Cisterna o aljibe: Con un 6.1%, únicamente una proporción reducida de viviendas dispone de este tipo de almacenamiento.

En conjunto, se observa una alta cobertura de servicios básicos como energía eléctrica, drenaje y servicios sanitarios, lo que refleja condiciones adecuadas de infraestructura urbana en la zona. No obstante, el acceso a agua entubada presenta una cobertura limitada, lo que se compensa parcialmente mediante el uso de sistemas de almacenamiento como tinacos, mientras que la baja presencia de cisternas o aljibes evidencia una dependencia del suministro regular de agua.

Para el desarrollo del proyecto, los servicios requeridos corresponden principalmente a energía eléctrica, agua y drenaje, los cuales se encuentran disponibles dentro del relleno sanitario CEMIRQ, que ya cuenta con infraestructura operativa, incluyendo áreas administrativas y de servicios. Por lo anterior, no se prevé la necesidad de ampliar redes de servicios ni generar infraestructura adicional fuera del sitio, lo que permite una adecuada integración del proyecto a las condiciones existentes.

Versión Publica

2.3 Características particulares del proyecto

2.3.1 Características de los equipos del proceso

Los principales equipos y sus características se enlistan a continuación:

Tabla 2.6 Características de los equipos Upgrading

Equipo	Cantidad	Características principales
Soplador de gas (KB-201)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: N/A • Caudal Nominal: 420 Sm^3/h, 1849.21 GPM • Presión de succión: 80 mbar • Presión de descarga: 580 mbar • Temperatura de succión: 58.4 °C **Instrumentación y componentes** • Voltaje: 460 V • Potencia Hidráulica / Termodinámica: 5.77 kW, 7.73 HP • Potencial al freno / Eje: 8.87 kW, 11.89 HP • Potencia motor: 11.2 kW, 15 HP • Tipo: Soplador negativo de canal lateral, multietapa • Instalación: Exterior • Válvula de alivio • Medición de presión • Medición de temperatura • Filtro de succión • Motor: Eléctrico • Frecuencia: 60 Hz • Fases: 3
Compresor de biogás (K-201)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: N/A • Caudal nominal: 370 Sm^3/h, 1,629.06 GPM • Presión de succión mínima: 50 mbarg • Presión de succion normal: 180 mbarg • Presión de succión máxima: 230 mbarg • Presión de descarga: 8,000 mbarg • Temperatura de succión: 15 °C • Temperatura de descarga: 48°C **Instrumentación y componentes** • Voltaje: 460 V • Potencia Hidráulica / Termodinámica: 29.02 kW, 38.9 HP • Potencia al freno / Eje: 48.36 kW, 64.83 HP • Potencia Motor: 44.8 kW, 60 HP • Tipo: Compresor de tornillo • Instalación: Exterior • Válvula de alivio • Medición de presión • Medición de temperatura

Versión Pública

Equipo	Cantidad	Características principales
		• Motor: Eléctrico • Fases: 3 • Frecuencia: 60 Hz
Secador refrigerativo primera etapa (D-201)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: N/A • Caudal nominal: 380 Sm^3/h, 1,673.09 GPM • Presión de entrada normal: 330 mbarg • Presión de entrada máxima: 600 mbarg • Temperatura de entrada: 40°C • Temperatura de salida máxima: 25°C **Instrumentación y componentes** • Voltaje: 460 V • Tipo: Secador refrigerativo • Caída de presión: ≤ 200 mbar • Válvula de alivio • Medición de presión • Medición de temperatura • Drenaje de condensado • Fases: 3 • Frecuencia: 60 Hz
Secador refrigerativo primera etapa (D-202)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: N/A • Caudal nominal: 370 Sm^3/h, 1,629.06 GPM • Presión de entrada: 8,000 mbarg • Temperatura de entrada: 48°C • Temperatura de salida máxima: 33°C **Instrumentación y componentes** • Tipo: Secador refrigerativo • Caída de presión: ≤ 200 mbar • Válvula de alivio • Medición de presión • Medición de temperatura • Drenaje de condensado • Fases:3 • Frecuencia: 60 Hz
Recipiente de absorción (V-201)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: 1.35 m^3 • Caudal nominal: 420 Sm^3/h, 1,849.21 GPM • Presión de diseño: 3.5 kg/cm^2 • Temperatura de operación: 68.4°C • Presión de operación: 0.65 kg/cm^2 (638 mbar) • Temperatura de diseño: 78.4 °C

Versión Publica

Equipo	Cantidad	Características principales
		Instrumentación y componentes • Tipo: Recipiente vertical • Código: ASME Sec VIII, Div, 1 • Diámetro: 0.7 m (2.3 ft) • Altura: 3.5 m (11.48 ft) • Peso vacío: 595 kg • Peso de operación: 2,027 kg • Diámetro de entrada de biogás: 4", clase 150 • Diámetro de entrada de solución alcalina: 3", clase 150 • Diámetro de salida de solución alcalina: 3", clase 150 • Diámetro de salida de biogás: 4", clase 150 • Diámetro de Dren: 1", clase 150 • Transmisor de nivel LT-203: 2", clase 150 • Válvula de seguridad (PSV-203): 2", clase 150 • Manómetro (PG-203): 2", clase 150 • PH-203: 2", clase 150 • Registro de inspección (M1, M2): 8", clase 150
Recipiente amortiguador (pulmón) (V-202)		**Condiciones de operación** • Capacidad: 1.61 m^3 • Caudal nominal: 370 Sm^3/h, 1,629.06 GPM • Presión de diseño: 10.98 kg/cm^2 (10,761.3 mbar) • Temperatura de diseño: 53°C • Presión de operación: 8.97 kg/cm^2 (8,800 mbar) • Temperatura de operación: 43°C **Instrumentación y componentes** • Tipo: Recipiente vertical • Código: ASME Sec VIII, Div, 1 • Diámetro: 1.04 m (3.41 ft) • Altura: 1.9 m (6.23 ft) • Peso vacío: 896 kg • Peso de operación: 896 kg • Diámetro de entrada de biogás: 2", clase 150 • Diámetro de salida de biogás: 2", clase 150 • Diámetro de Dren: 1", clase 150 • Válvula de seguridad (PSV-210): 4", clase 150 • Manómetro (PG-210): 2", clase 150 • Registro de mano (M1, M2): 8", clase 150
Tanque de solución alcalina (T-201)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: 5 m^3 • Caudal nominal: 30 Sm^3/h, 132.09 GPM **Instrumentación y componentes** • Material: Polietileno de alta densidad • Altura: 1.77 m • Diámetro: 2.20 m

Versión Publica

Equipo	Cantidad	Características principales
Filtro desecante A (FIL-201A)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: 0.18 m^3 • Caudal nominal: 370 Sm^3/h, 1,629.06 GPM • Presión de entrada: 7.6988 barg • Presión maxima de entrada: 10 barg • Temperatura de entrada: 33°C +/- 10°C • Temperatura de salida: 33°C **Instrumentación y componentes** • Drenaje • Medición de presión • Medición de temperatura • Válvula de alivio
Filtro desecante B (FIL-201B)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: 0.18 m^3 • Caudal nominal: 370 Sm^3/h, 1,629.06 GPM • Presión de entrada: 7.6988 barg • Presión maxima de entrada: 10 barg • Temperatura de entrada: 33°C +/- 10°C • Temperatura de salida: 33°C **Instrumentación y componentes** • Drenaje • Medición de presión • Medición de temperatura • Válvula de alivio
Torre de Adsorción Primera Etapa – Tren 1 (C-201A)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad:1.70 m^3 • Presión de diseño: 10.97 kg/cm^2 (8,800 mbar) • Temperatura de diseño: 53°C • Presión de operación: 9.87 kg/cm^2 • Temperatura de operación: 43°C **Instrumentación y componentes** • Tipo: Recipiente vertical • Código: ASME Sec VIII, Div, 1 • Diámetro: 0.6 m (1.97 ft) • Altura: 6 m (19.69 ft) • Peso vacío: 1,049 kg • Peso de operación: 3,608 kg • Diámetro de entrada de biogás: 2", clase 150 • Diámetro de salida de biogás: 2", clase 150 • Diámetro de salida $BioCO_2$: 2", clase 150 • Diámetro de Dren: 1.5", clase 150 • Válvula de seguridad (PSV): 4", clase 150 • Manómetro (PG): 2", clase 150 • PSL: 2", clase 150 • Registro de mano (M1 A/B, M2 A/B): 8", clase 150

Versión Publica

Equipo	Cantidad	Características principales
Torre de Adsorción Segunda Etapa – Tren 1 (C-201B)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad:1.70 m^3 • Presión de diseño: 10.97 kg/cm^2 (8,800 mbar) • Temperatura de diseño: 53°C • Presión de operación: 9.87 kg/cm^2 • Temperatura de operación: 43°C **Instrumentación y componentes** • Tipo: Recipiente vertical • Código: ASME Sec VIII, Div, 1 • Diámetro: 0.6 m (1.97 ft) • Altura: 6 m (19.69 ft) • Peso vacío: 1,049 kg • Peso de operación: 3,608 kg • Diámetro de entrada de biogás: 2", clase 150 • Diámetro de salida de biogás: 2", clase 150 • Diámetro de salida BioCO$_2$: 2", clase 150 • Diámetro de Dren: 1.5", clase 150 • Válvula de seguridad (PSV): 4", clase 150 • Manómetro (PG): 2", clase 150 • PSL: 2", clase 150 • Registro de mano (M1 A/B, M2 A/B): 8", clase 150
Torre de Adsorción Primera Etapa – Tren 2 (C-202A)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: 1.70 m^3 • Presión de diseño: 10.97 kg/cm^2 (8,800 mbar) • Temperatura de diseño: 53°C • Presión de operación: 9.87 kg/cm^2 • Temperatura de operación: 43°C **Instrumentación y componentes** • Tipo: Recipiente vertical • Código: ASME Sec VIII, Div, 1 • Diámetro: 0.6 m (1.97 ft) • Altura: 6 m (19.69 ft) • Peso vacío: 1,049 kg • Peso de operación: 3,608 kg • Diámetro de entrada de biogás: 2", clase 150 • Diámetro de salida de biogás: 2", clase 150 • Diámetro de salida BioCO$_2$: 2", clase 150 • Diámetro de Dren: 1.5", clase 150 • Válvula de seguridad (PSV): 4", clase 150 • Manómetro (PG): 2", clase 150 • PSL: 2", clase 150 • Registro de mano (M1 A/B, M2 A/B): 8", clase 150

Versión Pública

Equipo	Cantidad	Características principales
Torre de Adsorción Segunda Etapa – Tren 2 (C-202B)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad:1.70 m^3 • Presión de diseño: 10.97 kg/cm^2 (8,800 mbar) • Temperatura de diseño: 53°C • Presión de operación: 9.87 kg/cm^2 • Temperatura de operación: 43°C **Instrumentación y componentes** • Tipo: Recipiente vertical • Código: ASME Sec VIII, Div, 1 • Diámetro: 0.6 m (1.97 ft) • Altura: 6 m (19.69 ft) • Peso vacío: 1,049 kg • Peso de operación: 3,608 kg • Diámetro de entrada de biogás: 2", clase 150 • Diámetro de salida de biogás: 2", clase 150 • Diámetro de salida BioCO$_2$: 2", clase 150 • Diámetro de Dren: 1.5", clase 150 • Válvula de seguridad (PSV): 4", clase 150 • Manómetro (PG): 2", clase 150 • PSL: 2", clase 150 • Registro de mano (M1 A/B, M2 A/B): 8", clase 150
Bomba de solución alcalina (P-201)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: N/A • Caudal nominal: 30 Sm^3/h, 132.09 GPM **Instrumentación y componentes** • Voltaje: 460 V • Potencia Hidráulica / Termodinámica: 0.97 kW, 1.3 HP • Potencial al freno / eje: 1.62 kW, 2.17 HP • Potencia motor: 2.2 kW, 3 HP
Bomba de vacío BIOCO$_2$ (P-202)	1	**Condiciones de operación** • Capacidad: N/A • Caudal nominal: 140 Sm^3/h, 616.4 GPM • Presión de succión: -50mbarg • Presión de descarga: 80 mbar • Temperatura de succión: 33°C **Instrumentación y componentes** • Voltaje: 460 V • Potencial al freno / eje: 1.12 kW, 1.49 HP • Potencia motor: 1.5 kW, 2 HP • Válvula de alivio • Variador de frecuencia • Medición de presión • Medición de temperatura

Versión Pública

Tabla 2.7 Características de equipos de compresión de biometano

Equipo	Cantidad	Características principales
Compresor de biometano (K-301)	1	**Condiciones de operación** • Presión de diseño: 250,000 mbarg, 3,596.93 psig • Presión de succión min: 6,000 mbarg, 84.02 psig • Presión de succión Max: 7,500 mbarg, 108.78 psig • Presión de descarga: 250,000 mbarg, 3,596.93 psig • Caudal nominal min: 532 Sm^3/h • Caudal nominal max: 654 Sm^3/h • Temperatura de succión: 15°C • Temperatura de descarga: 48 °C **Instrumentación y componentes** • Tipo: Compresor de tornillo • Drenaje • Válvula de alivio • Medición de presión • Medición de temperatura • Voltaje: 460 V • Potencia Motor: 111.9 kW, 150 HP • Fases: 3 • Frecuencia: 60 Hz
Poste de llenado (FP-301)	1	**Condiciones de operación** • Caudal: 3,000 Sm^3/h • Presión de diseño: 300,000 mbarg, 4,351.13 psig • Presión de operación: 250,000 mbarg, 3,625.94 psig **Instrumentación y componentes** • Voltaje: 120 v 2 válvulas breakaways OPW en línea • Válvula de alivio de seguridad • Caudalímetro Coriolis • Filtros • Válvulas de bola accionadas neumáticamente para el control de llenado • Visualización de PLC y HMI para parámetros de llenado • 2 mangueras de 15´

Tabla 2.8 Características de equipo paquete de Licuefacción de BioCO$_2$

Equipo	Cantidad	Características principales
Torre desulfurización (T-401)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • S/I

Versión Pública

Equipo	Cantidad	Características principales
Torre de secado (T-402A/B)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • Voltaje: 460 v • Potencia motor: 6 kW, 8 HP
Compresor de CO_2 (K-401)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • Voltaje: 460v • Potencia motor: 11.2 kW, 15 HP
Cold Box (X-401)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • S/I
Compresor de refrigerante (K-402)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • Voltaje: 460 v • Potencia motor: 22.4 kW, 30 HP
Tanque Auxiliar Refrigerante (V-401)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • S/I
Tanque almacenamiento refrigerante (V-402)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • S/I
Bomba Refrigerante (P-401A/B)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • S/I

Versión Publica

Equipo	Cantidad	Características principales
Torre enfriamiento de agua (T-403)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • Potencia motor: 4.5 kW, 6 HP
Tanque almacenamiento LCO_2 (V-403)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • S/I
Bomba de carga LCO_2 (P-402)	1	**Condiciones de operación** • Caudal nominal: 30 Sm^3/h **Instrumentación y componentes** • S/I
Brazo de carga LCO_2 (X-402)	1	**Condiciones de operación** • S/I **Instrumentación y componentes** • S/I

Versión Publica

2.3.2 Instrumentación, medición y sistemas de control

La totalidad de la planta se encuentra instrumentada para la medición continua de variables críticas de proceso, incluyendo presión, temperatura, caudal, variables específicas y composición de gas.

Se dispone de:

- Analizador de gases en línea para el biogás de entrada y para las corrientes de salida de biometano y $BioCO_2$ de salida.
- Medidores de flujo másico en la recepción del biogás.
- Medición de flujo volumétrico de biometano en la entrada el sistema de compresión.
- Medición de flujo masico en el punto de entrega comercial (Poste de Carga).
- Sensores con diferentes niveles de seguridad (presión, temperatura, variables especificas).

El control operativo se realiza mediante un PLC centralizado, que ejecuta las lógicas de control automático, secuencias operativas y sistemas de seguridad instrumentada.

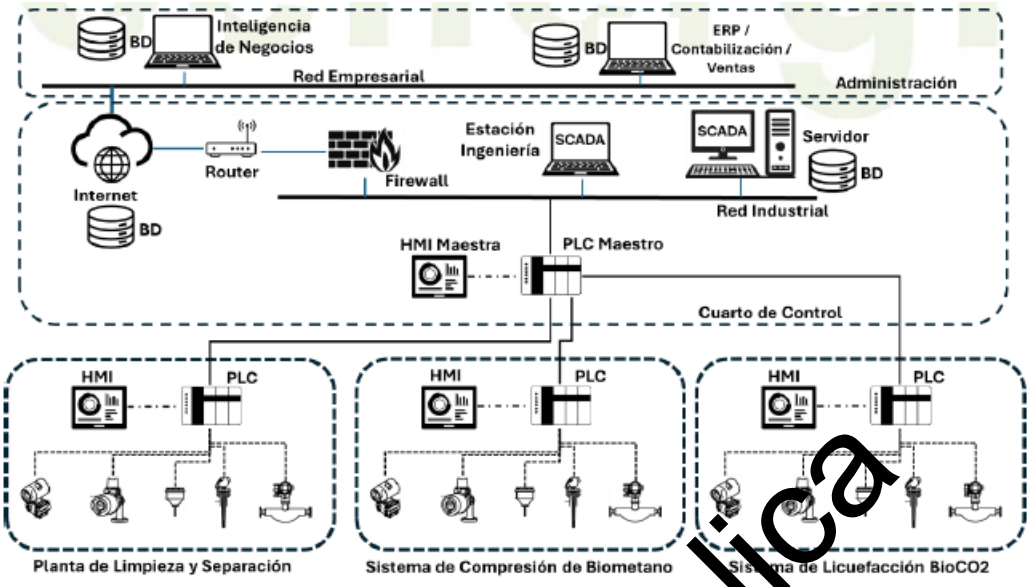


Figura 2.7 Arquitectura de Control

La supervisión y registro de variables se realiza mediante un sistema SCADA, que permite:

- Monitoreo en tiempo real del proceso.
- Control remoto de equipos y válvulas.
- Registro histórico de variables operativas.
- Contabilización del biocombustible producido y despachado.

2.3.3 Sistemas de Seguridad

2.3.3.1 Sistemas de Instrumentación

En un esquema multinivel, diseñado para garantizar redundancia, confiabilidad y respuesta oportuna ante desviaciones de las condiciones normales de operación.

Niveles de seguridad y control:

- Primer nivel: Instrumentación de campo, constituida por sensores locales (manómetros, termómetros e indicadores visuales), cuya función principal es proporcionar al operador información directa e inmediata de las variables de proceso en sitio, permitiendo un diagnóstico preliminar en campo.

- Segundo nivel: Transmisores analógicos y digitales que, además de proveer indicación local, transmiten en tiempo real las variables al sistema de control automático (PLC). Este nivel integra la Interfaz Hombre-Máquina (HMI), desde la cual se realiza la supervisión centralizada de las variables y del estado de los equipos. En este nivel se configuran y gestionan alarmas automáticas, que constituyen la primera línea de defensa ante desviaciones de los parámetros de operación establecidos.

Versión Pública

- Tercer nivel: Dispositivos de seguridad pasivos y estáticos, tales como válvulas de alivio de presión, interruptores termomagnéticos, sistemas de paro de emergencia (ESD) y otros actuadores de protección. Estos elementos operan de forma independiente del sistema de control, garantizando la protección del personal, equipos e instalaciones ante fallas en los niveles anteriores. Su acción consiste en liberar, aislar o interrumpir energía para evitar condiciones de riesgo crítico.

- Nivel superior de supervisión: Sistema centralizado de control y monitoreo que consolida la información proveniente de las tres áreas de proceso. Este sistema integra las variables operativas en una plataforma de control de mayor jerarquía, que permite la sincronización y coordinación segura de los procesos. Además, habilita la implementación de estrategias avanzadas de control, fortaleciendo la integración operacional y asegurando la continuidad bajo condiciones seguras.

La jerarquización de los sistemas de control y seguridad se observan en la arquitectura de control.

2.3.3.2 Sistema Contra Incendios

El sistema de protección contra incendio de la planta de upgrading de biogás y compresión de biometano y licuefacción de BioCO$_2$ se ha diseñado considerando las propiedades de los productos que se manejan y procesan en sus diferentes estados. En este sentido, el diseño del sistema se fundamenta en lo establecido en la NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad - Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo, que establece las medidas mínimas para prevenir y mitigar riesgos de incendio en instalaciones industriales.

De acuerdo con la clasificación de riesgo de incendio, la planta se ubica en un escenario de riesgo alto, debido a la presencia de gases combustibles a presión, compresores, líneas de conducción y equipos de upgrading. Por ello, se implementan las siguientes medidas:

- Extintores portátiles:

Se utilizan extintores de polvo químico seco (PQS) como medio principal de combate inicial de incendios, por su efectividad en fuegos tipo B y C (líquidos y gases inflamables, así como equipos eléctricos energizados). La distribución y cantidad de extintores se determina conforme a la NOM-002-STPS-2010, considerando la superficie total, la clasificación de riesgo y la distancia máxima de recorrido (no mayor a 15 metros en áreas críticas). Cada equipo cuenta con señalización fotoluminiscente, montaje en lugares visibles y accesibles, y mantenimiento preventivo y correctivo documentado.

2.3.3.3 Detectores de fugas y paros de emergencia (ESD)

Instalación de detectores de fugas y sistemas de paro de emergencia (ESD) para detener la operación y evitar atmósferas explosivas.

2.3.3.4 Plan de respuesta y mantenimiento

El sistema contra incendio se integra al plan de atención a emergencias de la planta, el cual incluye procedimientos de detección, notificación, evacuación y combate. Se realizan inspecciones mensuales

Versión Publica

y mantenimiento anual a todos los equipos de protección contra incendio, registrando cada actividad para garantizar la trazabilidad y cumplimiento normativo.

2.3.4 Sistema administrativo para gestión comercial y contractual

Para la gestión de contratos, clientes, proveedores y volúmenes comercializados, se implementa un sistema administrativo documental y digital de software, consistente en:

- Base de datos estructurada en hojas de cálculo y/o software ERP básico.
- Registro digital de contratos de suministro y venta de biometano y $BioCO_2$.
- Control de clientes y proveedores mediante registros maestros.
- Registro de volúmenes producidos, almacenados y despachados, vinculados a los datos del sistema SCADA.

La información es respaldada periódicamente y sujeta a auditorías internas y regulatorias.

2.3.5 Infraestructura informática y documental

La infraestructura informática está compuesta por:

- Servidor local y nube privada para almacenamiento de datos del SCADA.
- Base de datos histórica de variables de proceso y volúmenes contabilizados.
- Sistema de gestión documental digital para contratos, reportes regulatorios y bitácoras operativas.

Se garantiza la trazabilidad del producto, mediante la correlación entre:

- Datos del analizador de gas.
- Registros de medidores de flujo en puntos de entrega.
- Reportes del sistema SCADA.
- Registros administrativos de comercialización

2.4 Descripción del proceso

El proyecto desarrollado por BIOGE3 S. DE R.L. DE C.V., correspondiente al "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y $bioCO_2$ liquido en el relleno sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" comprende una serie de procesos integrados que inician con la identificación de la biomasa disponible en la celda # 1 para captura, recolección, conducción, y procesamiento del biogás que se produce por la descomposición anaeróbica de los residuos sólidos urbanos que son depositados y manejados en el relleno sanitario de Ezequiel Montes. Una vez que se conduce el biogás hacia la planta de limpieza, se obtendrán dos subproductos: Biometano (GNR) y $BioCO_2$. El Biometano pasará por la planta de compresión para su posterior comercialización y manejo como Biocombustible comprimido, y el $BioCO_2$ será dirigido a la planta de licuefacción para obtener un producto en estado líquido de grado industrial para posteriormente comercializarlo.

Versión Publica



Figura 2.8 Áreas involucradas en el proyecto

Versión Publica

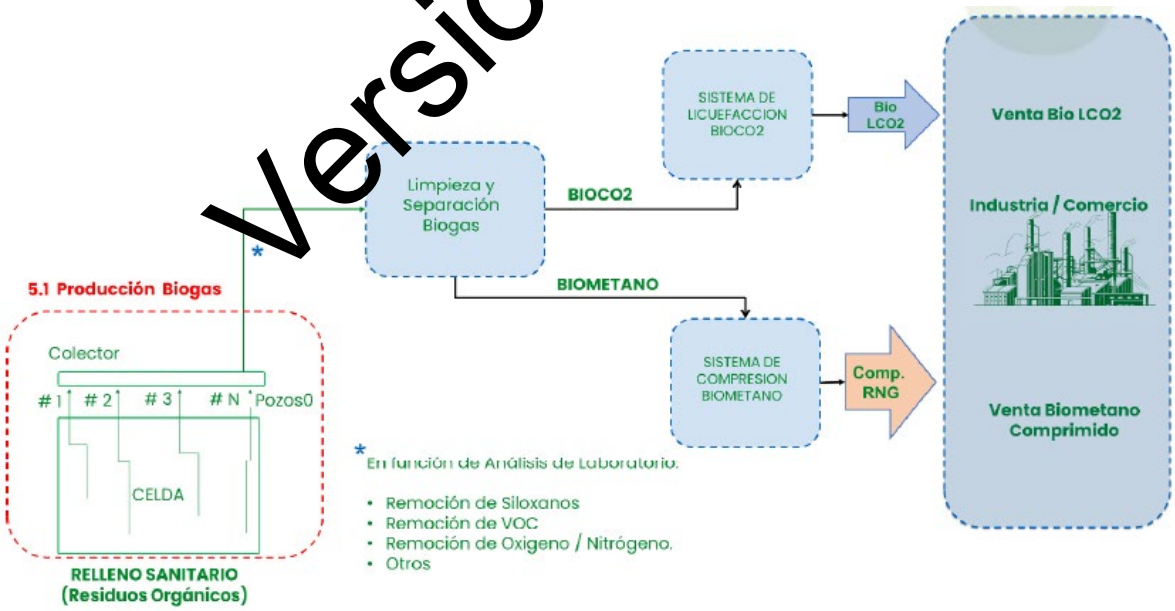


Figura 2.9 Diagrama de Proceso / Producción de Biogás

2.4.1 Estimación de la producción de Biogás

El desarrollo del proyecto tomará como base la estimación de producción de biogás para establecer la producción esperada de Biometano Comprimido y BioCO₂ líquido, que son los productos esperados del proyecto.

2.4.1.1 Biomasa

La biomasa dispuesta en la celda # 1 del relleno sanitario CEMIRQ será la fuente de producción de biogás por medio de la descomposición anaerobia de los RSU (fracción orgánica). A continuación, se muestran los datos de la cantidad de biomasa de la celda #1 y su caracterización:

Tabla 2.9 Biomasa disponible en Celda #1

Relleno Sanitario CEMIRQ CELDA #1				
Periodo de operación: jun-16 a mar-21				
Toneladas recibidas en el periodo 1,266,603.00 To				
Item	**Composición**	**Porcentaje**	**Masa**	
1	Residuos sólidos urbanos	47%	595,303.41	Ton
2	Residuos de pollo (orgánicos)	3%	37,998.09	Ton
3	Residuos vegetales (orgánicos)	1%	12,666.03	Ton
4	Residuos industriales	8%	101,328.24	Ton
5	Lodos PTAR urbana	41%	519,307.23	Ton
Total		100%	1,266,603.00	Ton

Tabla 2.10 Caracterización de residuos sólidos urbanos (ítem 1)

N°	Residuo	%	Masa	
1	Tela	8.8%	52,226.05	Ton
2	Cartón	7.2%	42,663.53	Ton
3	Papel	7.9%	47,077.00	Ton
4	Poliestireno (unicel)	1.2%	7,355.78	Ton
5	Pila	0.0%	-	
6	Tetrapac	1.4%	8,385.59	Ton
7	Polietileno de baja densidad (LDPE) (plástico de lámina)	10.3%	61,052.99	Ton
8	Hule	1.2%	7,135.11	Ton
9	Metal ferroso	0.8%	4,854.82	Ton
10	Madera	0.1%	735.58	Ton
11	Loza y cerámica	0.0%	-	

Versión Publica

N°	Residuo	%	Masa	
12	Hueso	0.0%	-	
13	Aluminio	0.3%	2,059.62	Ton
14	Polietileno Teleftalato (PET)	2.6%	15,300.03	Ton
15	Construcción	0.0%	-	
16	Tierra	0.0%	-	
17	Otros	23.7%	141,231.01	Ton
18	Residuos de jardín	4.6%	27,216.39	Ton
19	Polietileno de alta densidad (HDPE) Plástico DURO	5.8%	34,277.94	Ton
20	Alimentos	11.6%	69,144.35	Ton
21	Vidrio	4.6%	27,216.39	Ton
22	Pañal	8.0%	47,371.23	Ton

Una vez establecida la biomasa y sus características se procede a determinar los modelos o herramientas a utilizar para la estimación de producción del biogás.

2.4.1.2 Modelo de Emisiones de Gases de Vertedero (LandGEM)

El Modelo de Emisiones de Gases de Vertedero (LandGEM) es una herramienta interactiva en Microsoft Excel, que se puede utilizar para estimar las tasas de generación y emisión de gas de vertedero total (LFG), metano, dióxido de carbono, compuestos orgánicos no metánicos (NMOC) y otros contaminantes atmosféricos peligrosos (HAP) de los vertederos de residuos sólidos municipales (RSU).

Existen dos modos a utilizar Aplicabilidad NSPS o Inventario de emisiones. El modo de aplicabilidad de los Estándares de Desempeño de Nuevas Fuentes (NSPS) utiliza el enfoque descrito en la Ley de Aire Limpio (CAA) para determinar si un vertedero está sujeto a los requisitos de control de estas regulaciones según lo determinado por las estimaciones máximas de liberación de NMOC a la atmósfera, y será el método para utilizar en el proyecto. Este modo asume que no se controla la contaminación del aire en su lugar.

A partir de 2024, los cálculos utilizados en AP-42 para estimar la generación de metano en los vertederos ahora se ajustan a la sintaxis utilizada en el Programa de Informes de Gases de Efecto Invernadero (GHGRP) de la EPA, reemplazando el potencial de generación de metano (LO) con carbono orgánico degradable (DOC) y otros parámetros equivalentes. Ambos enfoques continúan utilizando ecuaciones cinéticas de decaimiento de primer orden (FOD), pero los parámetros y valores son ligeramente diferentes.

2.4.1.3 Cálculo de Biogás y Biometano

Versión Publica

El modo de aplicabilidad NSPS utiliza la siguiente ecuación FOD para estimar las emisiones anuales durante un período de tiempo especificado, como se muestra en la Ecuación:

$$Q_{CH4} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} kL_0(\frac{M_i}{10})e^{-kt_{i,j}}$$

Donde:

- **Q_{CH4}** es la generación anual de Biometano en el año del cálculo (m3/año)
- **i** es un incremento de tiempo de 1 año.
- **n** es (año del cálculo) - (año inicial de aceptación de residuos)
- **j** es un incremento de tiempo de 0.1 años.
- **k** es la tasa de generación de metano (año-1).
- **L_0** es el potencial de generación de metano (m^3/Mg).
- **Mi e**s la masa de residuos aceptada en el i-ésimo año (Mg).
- **$t_{i,j}$** es la edad de la j-ésima sección de la masa de residuos Mi aceptada en el i-ésimo año (años decimales, por ejemplo, 3.2 años).

Para la definición de los factores k y L0 se utilizaron las siguientes referencias específicas para México:

Table 2. Methane potential generation index (*Lo*) (Mexican model).

Annual rainfall (mm/Year)	Lo (m^3/Tons)
0 - 249	60
250 - 499	80
≥500	84

Source: [18].

Table 3. Methane potential generation index (*K*) (Mexican model).

Annual rainfall (mm/Year)	Lo (m^3/Tons)
0 - 249	0.040
250 - 499	0.050
500 - 999	0.065
>1000	0.080

Source: [18].

1463 Journal of Environmental Protection

Versión Publica

Figura 2.10 Factores k y Lo en modelos mexicanos. Fuente: Modelo Mexicano de Biogás – versión 2, Methane to Markets

Para el caso específico del estado de Querétaro, catalogado como estado Centro, con clima Moderado, Seco y Templado, se determina que las precipitaciones anuales promedio son 664 mm/año, teniendo como resultado valores de k = 0.065 m3/ton y L0 = 84 m3/ton.

Con los datos requeridos, se procede a usar la herramienta LandGEM-v3.1.xlsm, en donde se ingresan los valores requeridos para el cálculo:

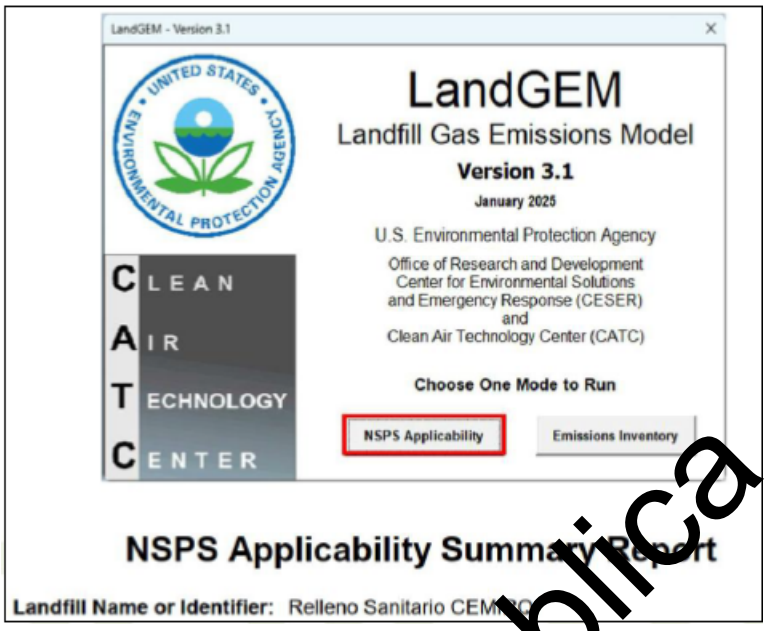


Figura 2.11 Plantilla de cálculo LandGEM v3.1

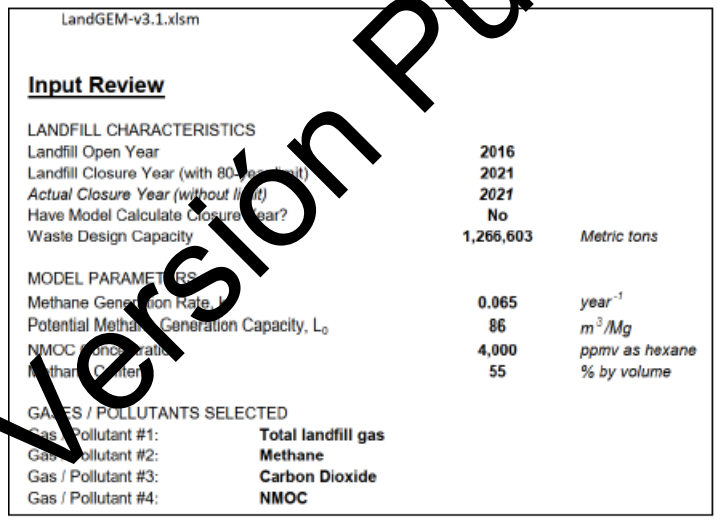


Figura 2.12 Datos iniciales para cálculo

A continuación, se presenta un resumen de los resultados:

Versión Pública

Year	Waste Accepted	Waste-In-Place	Total landfill gas		Methane		Carbon Dioxide	
	(Mg/year)	(Mg)	m3/day	m3/hr	m3/day	m3/hr	m3/day	m3/hr
2016	211,100.50	-	-	-	-	-	-	-
2017	211,100.50	211,100.50	5,709.76	237.91	3,140.37	130.85	2,569.39	107.06
2018	211,100.50	422,201.00	11,060.20	460.84	6,083.11	253.46	4,977.09	207.38
2019	211,100.50	633,301.50	16,073.91	669.75	8,840.65	368.36	7,233.26	301.39
2020	211,100.50	844,402.00	20,772.10	865.50	11,424.66	476.03	9,347.45	389.48
2021	211,100.50	1,055,502.50	25,174.63	1,048.94	13,846.04	576.92	11,328.58	472.02
2022	-	1,266,603.00	29,300.09	1,220.84	16,115.05	671.46	13,185.04	549.38
2023	-	1,266,603.00	27,456.16	1,144.01	15,100.89	629.20	12,355.27	514.80
2024	-	1,266,603.00	25,728.27	1,072.01	14,150.55	589.61	11,577.72	482.41
2025	-	1,266,603.00	24,109.13	1,004.55	13,260.02	552.50	10,849.11	452.05
2026	-	1,266,603.00	22,591.88	941.33	12,425.53	517.73	10,166.35	423.60
2027	-	1,266,603.00	21,170.11	882.09	11,643.56	485.15	9,526.55	396.94
2028	-	1,266,603.00	19,837.82	826.58	10,910.80	454.62	8,927.02	371.96
2029	-	1,266,603.00	18,589.38	774.56	10,224.16	426.01	8,365.22	348.55
2030	-	1,266,603.00	17,419.50	725.81	9,580.73	399.20	7838.78	326.62
2031	-	1,266,603.00	16,323.25	680.14	8,977.79	374.07	7,34[illegible]46	306.06
2032	-	1,266,603.00	15,295.99	637.33	8,412.79	35[illegible]53	[illegible]883.19	286.80
2033	-	1,266,603.00	14,333.37	597.22	7,883.35	32[illegible]47	6,450.02	268.75
2034	-	1,266,603.00	13,431.34	559.64	7,387.23	[illegible]7.80	6,044.10	251.84
2035	-	1,266,603.00	12,586.07	524.42	6,922.34	288.43	5,663.73	235.99

Figura 2.13 Estimación de Producción herramienta LandGEM v3.1

En la tabla se observa la producción estimada, sin embargo, en el flujo del proceso posterior a la generación del biogás, el mismo debe ser recolectado y conducido hacia el proceso de limpieza y separación, en este punto es importante considerar un término relevante, que es la eficiencia del sistema de recolección, que es medida por la habilidad que tiene el sistema para capturar el gas generado por el relleno sanitario. La eficiencia es el porcentaje aplicado a la proyección de generación de biogás para calcular la cantidad de biogás que puede ser capturado.

En respuesta a la incertidumbre concerniente a la eficiencia del sistema de recolección, la U. S. EPA (EPA, 1998) ha publicado lo que cree son eficiencias razonables para sistemas de recolección instalados en rellenos. De acuerdo con la U. S. EPA, la eficiencia de recolección en estos rellenos típicamente varía entre 60% y 85%, con un promedio de 75%.

Tabla 2.11 Eficiencia de recolección en rellenos sanitarios. Fuente: Manual de Usuario Modelo Centroamericano de Biogás Versión1.0

No.	Característica del Relleno Sanitario	Descuento de Eficiencia de Recolección	
		Rellenos que cumple con algunas características.	Rellenos que no cumplen con ninguna característica.
1	Disposición controlada de residuos, compactación de material y nivelación.	8%	15%
2	Profundidades de al menos 8 m, preferiblemente > 15 m	5%	10%
3	Cubierta diaria aplicada a los residuos dispuestos. Rellenos sanitarios clausurados deberán tener una cubierta final construida en los primeros años de clausura.	5%	10%

Versión Publica

No.	Característica del Relleno Sanitario	Descuento de Eficiencia de Recolección	
		Rellenos que cumple con algunas características.	Rellenos que no cumplen con ninguna característica.
4	Cubierta de la plantilla (base) consistiendo en material sintético (plástico) sobre 0.6 metros (2 pies) de arcilla o un material similar.	2%	10%
5	Sistema completo y bien diseñado de recolección de biogás con pozos verticales o recolectores horizontales que tengan una cobertura del 100% e instalado después de algunos años de haberse depositado los residuos	% área de disposición de pozos	
6	Un sistema de recolección de biogás operando eficientemente con todos los pozos de extracción operables y en un buen funcionamiento (ejemplo: relativamente libre de líquidos que afectan a la extracción del biogás)	% de pozos con mal funcionamiento o con altos niveles de lixiviados.	

Considerando que parte del alcance del proyecto implica el diseño e implementación de la red de colección, incluyendo recomendaciones para el recubrimiento final de la celda y la elaboración de los pozos, se tomaran en cuenta las recomendaciones y buenas practicas establecidas, por lo que se utilizará el valor promedio de eficiencia de 75%. Se realizó la inclusión de la eficiencia en la tabla de estimados de producción, resultando:

Collection Efficiency	Year	Total landfill gas		Methane		Carbon Dioxide	
		m3/day	m3/hr	m3/day	m3/hr	m3/day	m3/hr
75%	2016	-	-	-	-	-	-
75%	2017	4,282.32	178.43	2,355.28	98.14	1,927.05	80.29
75%	2018	8,295.15	345.63	4,562.33	190.10	3,732.82	155.53
75%	2019	12,055.43	502.31	6,630.49	276.27	5,424.95	226.04
75%	2020	15,579.08	649.13	8,568.49	357.02	7,010.59	292.11
75%	2021	18,880.97	786.71	10,384.53	432.69	8,496.44	354.02
75%	2022	21,977.36	915.72	12,086.29	503.60	9,888.78	412.03
75%	2023	20,592.12	858.00	11,325.66	471.90	9,266.45	386.10
75%	2024	19,291.20	804.01	10,612.91	442.20	8,683.29	361.80
75%	2025	18,081.76	753.41	9,945.01	414.38	8,136.83	339.03
75%	2026	16,959.91	706.00	9,319.15	388.30	7,624.76	317.70
75%	2027	15,877.59	661.57	8,732.67	363.86	7,144.91	297.70
75%	2028	14,878.37	619.93	8,183.10	340.96	6,695.27	278.97
75%	2029	13,942.04	580.92	7,668.12	319.50	6,273.92	261.41
75%	2030	13,064.63	544.36	7,185.55	299.40	5,879.08	244.96
75%	2031	12,242.44	510.10	6,733.34	280.56	5,509.10	229.55
75%	2032	11,471.99	478.00	6,309.59	262.90	5,162.40	215.10
75%	2033	10,750.03	447.92	5,912.52	246.35	4,837.51	201.56
75%	2034	10,073.50	419.73	5,540.43	230.85	4,533.08	188.88
75%	2035	9,439.55	393.31	5,191.75	216.32	4,247.80	176.99
Promedio 2025-2035		13,342.35	555.93				

Figura 2.14 Estimación de Producción corregida

Versión Publica

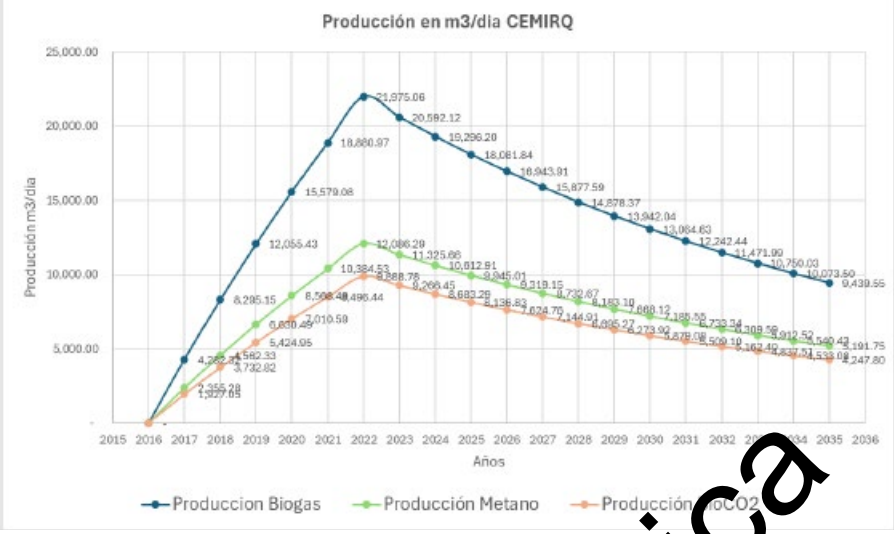


Figura 2.15 Producción estimada en m³/día corregido

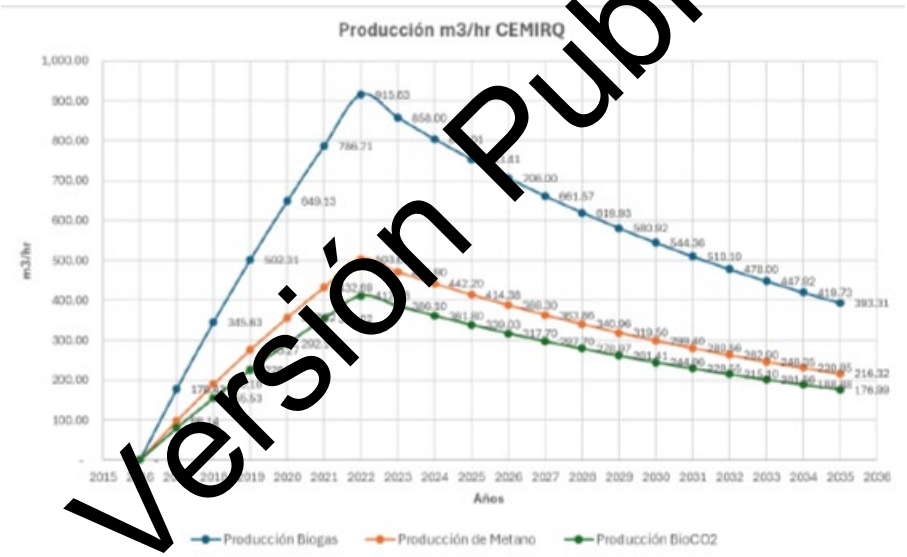


Figura 2.16 Producción estimada en m³/hora corregida

En función de los resultados obtenidos en este apartado, y considerando las necesidades actuales y en el tiempo estimado de producción del proyecto (10 años), se establecerán los siguientes valores como premisa para la ingeniería:

Versión Publica

Tabla 2.12 Producción de biogás Celda #1

Condiciones de producción del biogás					
Producto	Unidad	Valor		Presión (barg)	Temperatura °C
Biogás	m^3/h	551.75	@	0.8	50
Biogás	m^3/día	13,242.00	@	0.8	50
Biogás	Sm^3/h	431.95	@	1.013	15
Biogás	Sm^3/día	10,366.80	@	1.013	15

2.4.2 Celda, pozos y sistema de recolección de biogás (Producción de Biogás)

El relleno sanitario se encuentra organizado por Celdas (áreas), donde la conformación de celdas es un proceso fundamental para la gestión de residuos sólidos, en estas se busca maximizar la eficiencia en la disposición de los desechos y minimizar el impacto ambiental. A continuación, se describen las etapas clave del proceso, incluyendo la instalación de pozos y colectores para la extracción de biogás en las diferentes celdas del relleno.

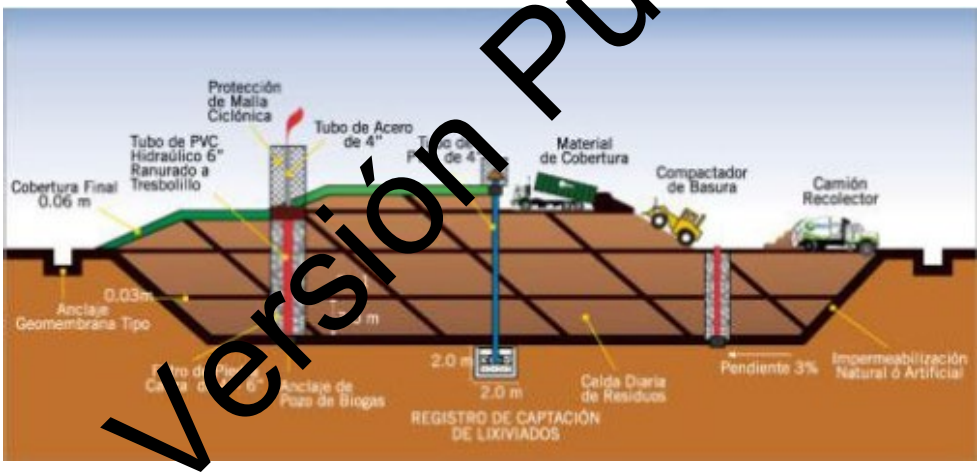


Figura 2.17 Estructura de una celda

2.4.2.1 Diseño de celda

El diseño inicial implica la planificación de su forma, tamaño y ubicación dentro del relleno, para lo cual se realiza la evaluación topográfica del terreno y así adecuar los drenajes de manera correcta y evitar inundaciones. Se utilizan materiales impermeables para evitar filtraciones de líquidos al suelo y así proteger posibles aguas subterráneas además del propio terreno.

2.4.2.2 Construcción de base de la celda

Se realiza la excavación e impermeabilización establecida en el diseño, utilizando geomembranas en el fondo y paredes de la excavación. Se construye en el fondo un sistema de drenaje de líquidos para la recolección de los lixiviados y su posterior retiro y traslado.

Versión Publica

2.4.2.3 Llenado de celda

Los residuos sólidos se van depositando en la celda de manera controlada y por capas, compactando dichos residuos para maximizar el uso del espacio y reducir el volumen de los desechos. En el proceso de llenado, se van aplicando capas de material de cobertura (tierra o material similar) periódicamente, para minimizar la emisión de olores y controlar la presencia de plagas.

2.4.2.4 Captación y Conducción de Biogás

Uno de los factores determinantes para la definición del Radio de Influencia y la Separación entre pozos, es la permeabilidad, que, para este fin, será la capacidad que tienen los gases de moverse dentro de la masa de residuos.

Existe una competencia entre el agua y el aire para ocupar los vacíos adentro de la celda, cuando la porosidad sea mayor y se tiene presencia de agua, se afectan las rutas de aire por las cuales el vapor se puede mover, para evitar esto importante diseñar correctamente, el tipo de pozo de captación, el espaciamiento entre los pozos y los diámetros a utilizar en las tuberías de conducción de biogás.

- **Pozos**

Para la correcta captación del biogás generado por el relleno, se diseñaron los siguientes pozos.

Parámetros Especificación:

- Material de la tubería: PEAD (HDPE) que cumpla con la norma ASTM F714-22 o PE4710 o equivalente.
- Diámetro de la tubería enterrada: Al menos 0,075 m (3 pulg.).
- Longitud de la tubería: Con el estudio topográfico podemos asumir que tendremos 3 alturas concéntricas, es decir, los pozos de la orilla del polígono estarán a 7.5 metros, seguidos de 11 m y al centro de 21 metros.
  - Validación en campo de que la longitud de la tubería será el 75 % de la profundidad de los residuos o la distancia desde la superficie del vertedero hasta el nivel freático, lo que sea menor.
- Las perforaciones a lo largo de las tuberías tendrán un diámetro de 0,012 m (1/2 pulg.).
- Se realizarán cuatro perforaciones en una fila horizontal alrededor de la tubería a intervalos de 90°.
- Las tuberías de pozo tendrán perforaciones a lo largo de los dos tercios inferiores de la tubería o no mayor a 3 metros desde la superficie.
- La separación horizontal entre cada fila de perforaciones será de 0,1 a 0,2 m (4 a 8 pulgadas).

Versión Publica

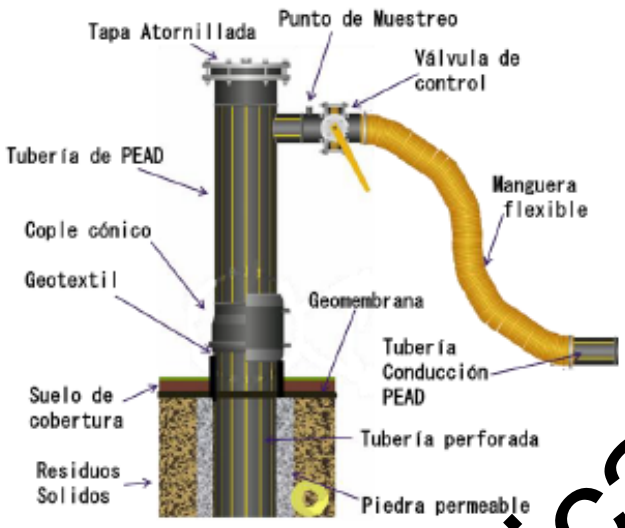


Figura 2.18 Detalle típico de pozo para extracción de biogás

Tabla 2.13 Especificaciones generales para pozos de extracción de biogás

Parámetro	Especificación
Diámetro del pozo	Al menos 0.6 m (2 ft) de diámetro.
Profundidad del pozo	Una profundidad igual al 75 por ciento de la profundidad de los residuos o la distancia desde la superficie del relleno sanitario hasta la parte superior del nivel freático, lo que sea menor. (Igual a la profundidad de la tubería del pozo).
Material de relleno Alrededor de las perforaciones de la tubería	Rellenar con grava de tamaño entre 2 a 7.5 cm (1 a 3 in) de diámetro hasta un nivel de 0.3 m (1 ft) por encima de la perforación superior
Material de relleno: Sobre las perforaciones de la tubería	Secuencia para agregar el material de relleno sobre la piedra triturada: (1) Al menos 1.2 m (47 in) de material de relleno (backfill). (2) Al menos 1.0 m (39 in) de bentonita. (3) Para el resto, material de cobertura o material de permeabilidad igual al material de cobertura existente.

Versión Publica

2.4.2.5 Distribución

Utilizando los parámetros de diseño internacionalmente aceptados para la implantación de pozos de captación de biogás, se considera un radio de influencia promedio (RDI) de 37,5 m. A partir de este valor, se aplica la siguiente relación geométrica para estimar la separación óptima entre pozos dentro de una disposición triangular:

$$x = 2\ x\ RDI\ x\ \cos(30°)$$

Sustituyendo los valores:

$$x = 2\ x\ 34\ m\ x\ \cos(30°) = 58.9 \sim 59\ m$$

Si se modela el área de la celda como un polígono de geometría rectangular, dividiéndola en 10 secciones longitudinales y 3 transversales, se obtiene una separación promedio de aproximadamente 65 m bajo un arreglo triangular.

Dado que la celda presenta irregularidades en su perímetro, se efectuaron ajustes en la ubicación de algunos pozos para optimizar la cobertura y garantizar que todos permanezcan dentro de los rangos de separación recomendados.

Como resultado del análisis geométrico y operativo, se determinó la instalación de 39 pozos distribuidos sobre una superficie cercana a 6.0 hectáreas, asegurando una captación eficiente y homogénea del biogás generado.

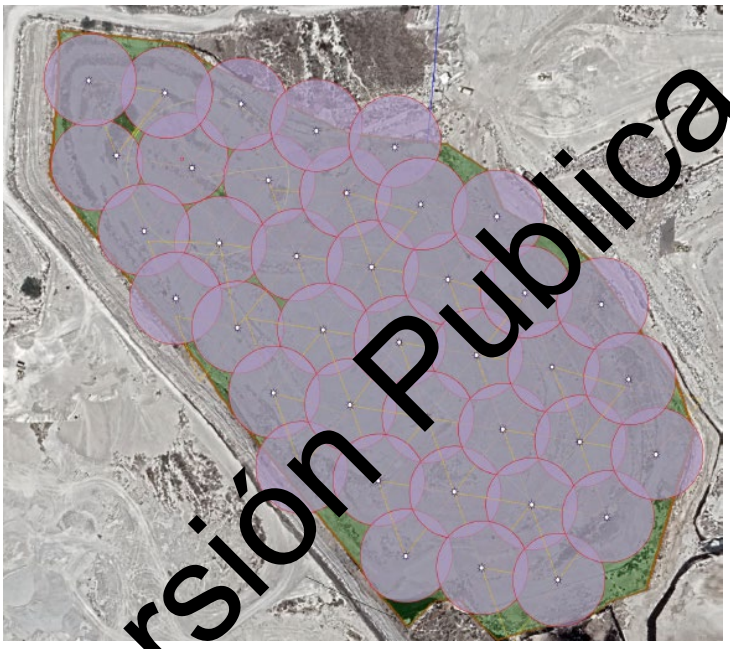


Figura 2. b) Planta de ubicación de pozos de extracción de biogás

Versión Publica

2.4.2.6 Dimensionamiento de la red de extracción

El sistema de conducción fue diseñado para 13 242 m^3/día o 551.75 m^3/h y así captar todo el biogás. Por lo que los datos de diseño quedaron de la siguiente manera:

- Una velocidad máxima en los colectores de 8 m/s.
- Pérdidas de carga calculadas utilizando la fórmula de Mueller.
- Pérdida de carga unitaria máxima de 8.33 mbar / 100 m de tubería.
- Propiedades del biogás (estimadas): densidad $\rho = 1.0758$ kg/m^3, viscosidad $\mu = 1.2 \cdot 10^{-5}$ Pa·s.
- Rugosidad HDPE: $\varepsilon = 1.5 \cdot 10^{-6}$ m.
- Coeficiente K por válvula = 0.08
- Cálculo de pérdida por fricción: Darcy–Weisbach
- Cabezales con factor de 1.2 y principales dimensionados sin factor de punta.

Las tablas siguientes muestran el dimensionamiento de las tuberías y colectores. Las velocidades se calcularon utilizando la siguiente fórmula:

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Y para la caída de presión, se usó Darcy–Weisbach, una vez calculados la rugosidad y el factor de fricción por sección de tubería.

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

Si bien las secciones enterradas de los pozos se han diseñado con un diámetro de DN 80, lo cual permite captar pasivamente el GNR conforme este se va generando. Es importante mencionar que las tuberías de extracción (superficiales) reducen su diámetro y el cálculo teórico es para un DN 25 para mantener la velocidad deseada con la extracción de los sopladores y, alineándose con el material comercialmente disponible, se ha optado por una tubería de DN 32 en el diámetro de cada pozo.

- Caudal por Pozo:

Para el diseño de la red de captación de biogás, considerando la disposición de diez filas de pozos, se definió la instalación de un cabezal principal dispuesto transversalmente al polígono, de manera que atraviese la zona intermedia entre dos filas de pozos. Esta configuración permite optimizar la recolección del biogás y equilibrar los caudales hacia el colector principal.

- Cabezal 1: 6 pozos
- Cabezal 2: 8 pozos
- Cabezal 3: 9 pozos
- Cabezal 4: 9 pozos
- Cabezal 5: 7 pozos

Tabla 2-4 Resultado de cálculo de tuberías de conducción

Cabezal	Q (m^3/h)	Q (m^3/s)	D req (mm)	DN sugerido (comercial)	DN lateral (mm)	Pérdida total (Pa)	Pérdida total (mbar)
1 (6 pozos)	85	0.024	61.2	DN65	63	1,181	11
2 (8 pozos)	113	0.031	70.6	DN80	75	1,488	14
3 (9 pozos)	127	0.035	74.9	DN80	75	1,524	15
4 (9 pozos)	127	0.035	74.9	DN80	75	1,536	15
5 (7 pozos)	99	0.027	66.1	DN65	75	1,511	15

Versión Publica

Cabezal	Q (m^3/h)	Q (m^3/s)	D req (mm)	DN sugerido (comercial)	DN lateral (mm)	Pérdida total (Pa)	Pérdida total (mbar)
Principal	550	0.153	155.9	DN150		4,000	40

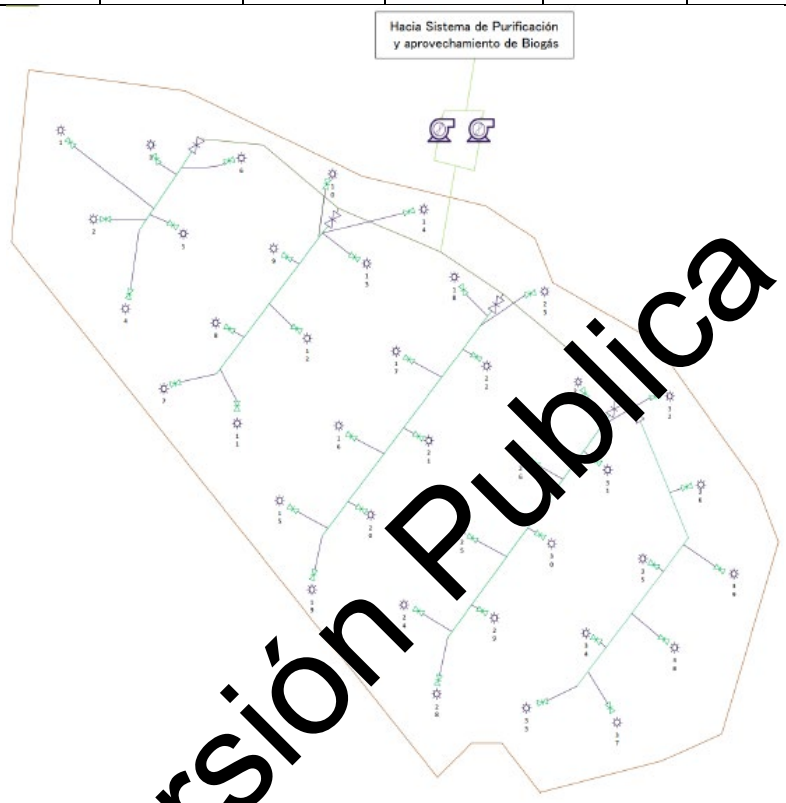


Figura 120 Red de tubería de conducción de biogás

Versión Publica

- Sopladores

Como fue indicado anteriormente, la red de extracción operará por succión creada por los sopladores en la planta de recuperación. Esta succión debe ser suficiente para crear una solución definitiva en los pozos de extracción. Debido a las pérdidas de presión en la red, la succión creada por los sopladores será mayor que la succión creada en los pozos.

La succión debe crear en los puntos de entrega por los sopladores deberá ser de por lo menos -120 mbar.

El biogás generado por la Celda #1 que fue recolectado en la red de captación, se transporta aproximadamente 700 m hasta la planta de limpieza y separación (Upgrading). En este recorrido existen cambios en la presión y temperatura que generan condensados y cambios de condiciones, por lo que, según el análisis termodinámico, las condiciones del biogás en la entrada de la planta de limpieza y separación (Upgrading) son las siguientes

Tabla 2.15 Condiciones de biogás entrada a Upgrading

Condiciones de producción del biogás					
Producto	Unidad	Valor		Presión (barg)	Temperatura °C
Biogás	m^3/h	496.55	@	0.8	26
Biogás	m^3/día	11,919.60	@	0.8	26
Biogás	Sm^3/h	420.00	@	1.013	15
Biogás	Sm^3/día	10,080.00	@	1.013	15

2.4.2.7 Cubierta final

Una vez que la celda está llena y ya no se suministran más residuos, se procede a su cierre, colocando una capa de material impermeable y se reforesta o se habilita para otros usos, asegurando que se minimice el impacto ambiental negativo.

2.4.3 Proceso de limpieza y separación de biogás

Siendo el biogás una mezcla de gases, el proceso de limpieza implica la retención y eliminación de componentes indeseables, en este caso, el H_2S, CO_2, oxígeno y humedad, entre otros, ya que, dependiendo de la biomasa y proceso de obtención del biogás, pueden llegar a tener diferentes contaminantes como Siloxanos y VOCs (en rellenos sanitarios), nitrógeno, amoniaco, etc.

Por tal motivo, es necesario para el diseño del proceso de limpieza y separación, determinar los contaminantes, y en función del resultado, diseñar los procesos adecuados para el tratamiento de cada contaminante.

La manera de tener la certeza en la composición del biogás es por medio de análisis de laboratorio, el cual permite conocer la composición de sus principales elementos, así como aquellos contaminantes que pueden estar presentes según la biomasa y proceso de obtención del biogás.

- Principales componentes esperados: Metano (CH_4), Dióxido de Carbono (CO_2), Nitrógeno (N_2), Oxigeno (O_2).
- Principales contaminantes esperados: Ácido Sulfhídrico (H_2S), Amoniaco (NH_3), Humedad.
- Principales contaminantes en rellenos sanitarios: Siloxanos Totales, VOCs Totales.

Durante la primera etapa del proyecto se llevaron a cabo las muestras y análisis del biogás que actualmente emite la Celda # 1 del CEMIRQ, con los siguientes resultados:

Tabla 2.16 Resultados análisis de laboratorio muestras de biogás

CH_4 (%)	CO_2 (%)	N_2 (%)	O_2 (%)	H_2S (ppmv)	NH_3 (ppmv)	Siloxanos totales ($mgSi/Nm^3$)	VOC totales (mg/m^3)	Humedad rel. (%)
59.11	37.45	3.22	0.22	37.00	(<1 ppmv)	5.77	6.65	46.30
56.57	41.55	1.70	0.18	34.00	2.40	5.03	5.20	46.51

Versión Pública

La siguiente tabla muestra los parámetros / consignas y resultados sobre los cuales se determinan los sistemas para establecer los módulos necesarios en el proceso de limpieza y producción del biogás provenientes del relleno sanitario:

Tabla 2.17 Parámetros de evaluación para biogás

Compuesto	Sistema de Remoción	
	Parámetro	Acción
CH_4 (%)	N/A	Producto
CO_2 (%)	N/A	Producto
N_2 (%)	>1.5	Sistema de Pressure Swing Absorption
O_2 (%)	>0.1	Sistema de Bioscrubbing (Absorción)
H_2S (ppmv)	>2 (Eq a 3mg/m^3)	Sistema de Bioscrubbing (Absorción)
NH_3 (ppmv)	>100(Eq. A 0.01%)	Sistema de Bioscrubbing (Absorción)
Siloxanos Totales (mgSi/Nm^3)	>12	Sistema de Adsorción por carbon activado / Absorción Avanzada de Silicio
VOC Totales (mg/m^3)	Etano >5%	
Humedad Relativa (%)	>0.47	Sistema de Secado / Deshumificación

Versión Publica

En función de los resultados obtenidos de las muestras y la evaluación de las premisas establecidas en la imagen anterior, se definen los siguientes procesos para la producción del biometano y $BioCO_2$.



Figura 2.21 Diagrama de proceso/Limpieza y Purificación de biogás

2.4.3.1 Limpieza y Purificación del Biogás

El proceso de limpieza y posterior separación del biogás inicia con su traslado desde los pozos y colectores, para lo cual se utiliza sopladores, los cuales generan una presión negativa (succión) y por diferencia de presión se logrará el flujo del biogás para iniciar la primera etapa de absorción. El biogás ingresa al tanque de absorción por la parte inferior, teniendo contacto con la solución alcalina interna (lixiviados provenientes de la celda y solución alcalina), dicha solución mantiene un pH alcalino, lo que hace que se retenga en su totalidad el H_2S presente en el biogás. En este proceso de absorción también ocurre una disminución de Oxígeno y Amoniaco, debido a la reacción que tiene el hidróxido sobre la amina (Amoniaco) produciendo una disminución de ésta y generando la formación de nitritos y nitratos.

La solución alcalina, al estar saturada por la remoción de H_2S, podrá ser reutilizada para el riego de la misma celda, evitando tener desperdicio y optimizando la operación al favorecer la biodegradación.

Al entrar en contacto con una solución alcalina, la corriente de biogás arrastrará trazas de líquido, para lo cual, se tiene una etapa posterior en la que por medio de filtros ciclónicos y coalescentes se busca la retención de cualquier liquido en la corriente de biogás; como paso posterior se encuentra un secador refrigerativo el cual tiene un doble efecto, el primero, seguir el proceso de secado de la corriente de biogás al ser sometida a bajas temperaturas, provocando la condensación de componentes no deseados, y como segundo efecto se tiene una corriente de biogás con una temperatura más baja, lo que favorece el posterior proceso de compresión.

En este punto se tiene una corriente de biogás seca a baja temperatura (por debajo de la temperatura ambiente), la cual pasará a un proceso de compresión para elevar la presión a 8 bar aproximadamente, lo cual es requerido para el posterior proceso de separación.

Producto del proceso de compresión, pueden presentarse condensados y una temperatura elevada, por tal motivo, la corriente de biogás pasa nuevamente por una etapa de secado por medio de un secador refrigerativo, logrando con esto una corriente de biogás seca y con temperatura por debajo de la temperatura ambiente, pero con una mayor presión a la inicial, condiciones que son requeridas para que el posterior proceso de separación ocurra satisfactoriamente.

Para garantizar la continuidad del proceso, y absorber variaciones en el flujo de gas por la naturaleza de la fuente (puede presentar variabilidad), se tiene un tanque amortiguador, el cual brindará un volumen compensatorio que permitirá absorber las pequeñas variaciones de la entrada, manteniendo al proceso de separación con un flujo y presión constantes.

2.4.3.2 Separación en Biometano y $BioCO_2$

El biogás se introduce en un lecho de adsorbente, contenido en torres de separación que se dividen en pares, una(s) están en proceso de adsorción y otra(s) están en proceso de desorción. Este proceso de adsorción se lleva a cabo en un sistema de lecho fijo, donde el biogás fluye a través del material adsorbente. Durante este proceso el $BioCO_2$ es adsorbido preferentemente por el material debido a interacciones fisicoquímicas, mientras que el biometano, que tiene una menor afinidad por el adsorbente, permanece en la fase gaseosa. A medida que el CO_2 es adsorbido, el Biometano se va concentrando en la corriente de salida. Una vez que el material adsorbente alcanza su capacidad

Versión Publica

máxima de adsorción, se procede a la desorción para recuperar el CO_2 adsorbido, realizándose por disminución de presión (desorción por vacío). Este proceso se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Desorción de $BioCO_2$: Al reducir la presión, el $BioCO_2$ se libera del adsorbente y se puede recoger como $BioCO_2$ en fase gaseosa.
- Recolección del Biometano: La corriente de biometano se mantiene en fase gas debido a la presión en el sistema, y sale por la parte superior de las torres. En este punto, ya es clasificado como Biometano ya que cumple con la composición característica para este Biocombustible.

Estos pasos del proceso son opuestos, (flujo por presión positiva / flujo por presión negativa), es por este motivo que las Torres trabajan en pares, y la cantidad de pares dependen del dimensionamiento de las torres y el flujo a procesar. En el momento que las torres en proceso de adsorción están presurizadas, se tiene la salida de biometano, mientras que las otras estarían en el proceso de desorción de $BioCO_2$, y cuando las torres en proceso de adsorción se saturen, cambiarán de estado con las que se encuentran en desorción, y estas últimas entrarían al proceso de adsorción repitiendo este ciclo continuamente.

2.4.3.3 Odorización del biometano

La corriente de biometano será sometida a un proceso de odorización, diseñado para la inyección controlada y continua de compuestos odorantes, con el propósito de garantizar la detección oportuna de fugas. Este proceso se llevará a cabo en la etapa final del acondicionamiento, antes de la compresión a alta presión y previo a su entrega a un tercero para su posterior distribución. El sistema contará con equipos de dosificación automática ajustados al flujo de gas, tanque de almacenamiento de odorante, dispositivos de inyección de alta precisión y elementos de monitoreo para asegurar una dosificación constante y segura. La dosificación del odorante se ajustará para garantizar que el gas sea perceptible por el olfato humano antes de alcanzar el veinte por ciento del límite inferior de explosividad. Para este proceso se tomarán como referencia las disposiciones aplicables al gas natural, en virtud de que el biometano presenta características fisicoquímicas equivalentes, lo cual permite aplicar criterios técnicos y de seguridad consistentes con la normativa vigente en materia de manejo, transporte y distribución de dicho energético.

El sistema de odorización incluirá un tanque para almacenamiento de odorante con capacidad de 120 litros.

2.4.3.4 Características de los productos

Los objetivos de los procesos establecidos de limpieza y separación del biogás son la obtención de Biometano y $BioCO_2$ con las características necesarias para sus posteriores procesos de Compresión y Licuefacción respectivamente.

En el caso del Biometano, siendo un Biocombustible de origen orgánico, no tiene una especificación definida a nivel normativo, sin embargo, como el objetivo es el posible reemplazo del uso de otros combustibles fósiles, y siendo el Gas Natural el combustible más cercano en cuanto a sus características fisicoquímicas, se toma como referencia los requerimientos mininos a cumplir solicitados para el Gas Natural NOM-001-SECRE-2010:

Versión Publica

Tabla 2.18 Composición química gas natural NOM-001-SECRE-2012

Propiedad	Unidades	Valor
Metano (CH_4)-Min.	%vol	84.00
Oxígeno (O_2)-Max.	%vol	0.20
Bióxido de Carbono (CO_2)-Max.	%vol	3.00
Nitrógeno (N_2)-Max.	%vol	4.00
Total de inertes (CO_2 y N_2)-Max.	%vol	4.00
Humedad (H_2O)-Max.	mg/m^3	110.00
Poder calorífico superior-Min.	MJ/m^3	37.30
Poder calorífico superior-Max.	MJ/m^3	43.60
Ácido sulfhídrico (H_2S)-Max.	mg/m^3	6.00
Azufre total (S)-Max.	mg/m^3	150.00

Para la evaluación del cumplimiento de las características de la composición del Biometano, se incluye en la planta de procesamiento un analizador portátil que permita realizar un seguimiento de las condiciones de la composición del Biometano de manera similar con la composición de la corriente del $BioCO_2$.

Para el presente proyecto, la tecnología aplicable en la licuefacción del $BioCO_2$ es de Destilación Criogénica de Doble Columna, la cual requiere las siguientes características en la corriente de entrada de $BioCO_2$:

Tabla 2.19 Requerimientos mínimos corriente $BioCO_2$ para licuefacción

Propiedad	Valor	Unidad
CO_2 Min	95.00	%(V/V)
CH_4 Max	4.00	%(V/V)
O_2	0.30	%(V/V)
N_2	0.70	%(V/V)
Otros	Trazas	
H_2S	<6 ppm	%(V/V)

Versión Publica

2.4.4 Proceso de Compresión del Biometano

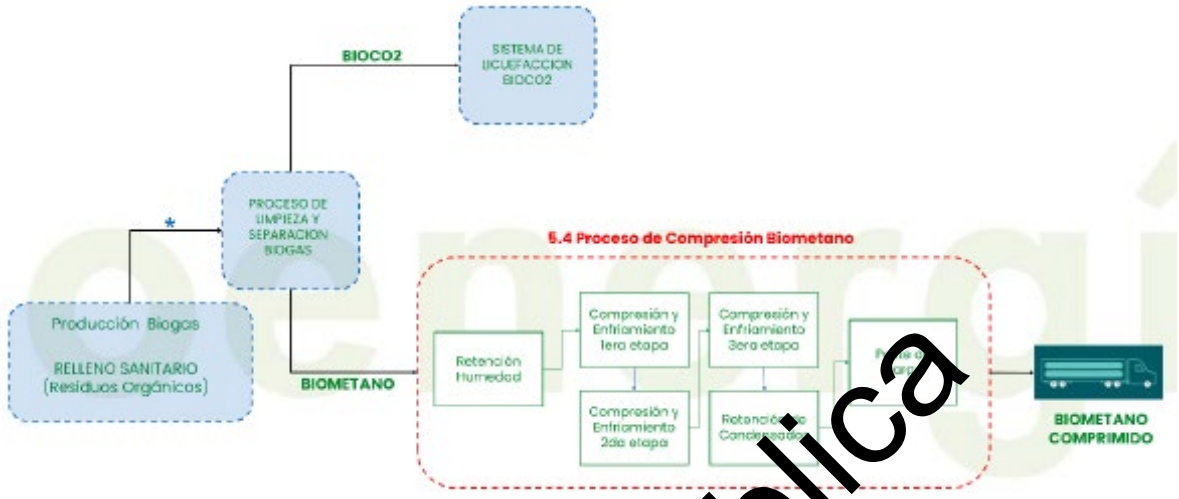


Figura 2.22 Diagrama del Proceso / Compresión de Biometano

El proceso de compresión inicia con el Biometano proveniente del proceso de separación del biogás. Debido al proceso de Adsorción al que fue sometido el biogás para la obtención del Biometano, este puede tener trazas del adsorbente, y por eso el primer subproceso es la remoción de humedad.

2.4.4.1 Remoción de humedad

Mediante este proceso de filtrado se busca eliminar la presencia de trazas de cualquier liquido presente en el flujo del Biometano, para que la corriente de Biometano sea sometida al proceso de compresión y esta cuente con características de humedad menor a 110 mg/m^3, además de no presentar condensados ni otros contaminantes.

Para este proceso se utiliza un Filtro Coalescente el cual retendrá la humedad, condensados y trazas en estado líquido que pudieran afectar el proceso de compresión del Biometano.

2.4.4.2 Etapa de compresión y enfriamiento

Para este proceso se utiliza una(s) unidad(es) de compresión de biometano reciprocante a bajas revoluciones, con tecnología libre de aceite, lo que garantiza una mínima o casi nula introducción de aceite al Biometano, evitando con esto los efectos nocivos del aceite en el gas (máximo 10 ppm o menos).

El Biometano al ingresar a la unidad compresora, una vez filtrado, pasa por otro filtro para la eliminación de pequeñas partículas de suciedad y/o polvo, dicho filtro también amortigua los pulsos de presión creados por el movimiento alternativo de los pistones para la protección de los trasmisores / reguladores que lo conforman.

Luego de su filtrado el Biometano entra en la primera etapa del compresor; donde se eleva la presión, proceso durante el cual la temperatura del gas aumenta, por lo que se hace fluir a través de los intercambiadores de calor, para enfriarlo antes de pasar a la siguiente etapa de compresión.

Versión Pública

La admisión de la segunda etapa cuenta con un recipiente eliminador de condensados y pulsaciones antes de elevar nuevamente la presión y nuevamente la temperatura del gas aumenta durante el proceso, siendo necesario refrigerarlo haciéndolo fluir por otro intercambiador de calor dispuesto para este fin. Este proceso se repite tantas veces como etapas de compresión tenga la unidad compresora.

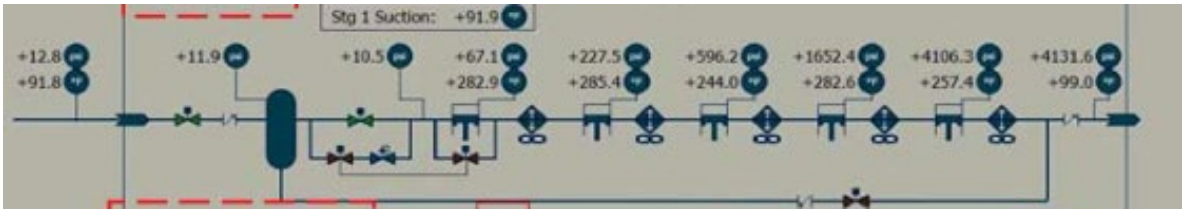


Figura 2.23 Etapas de compresión y enfriamiento

El objetivo de este proceso es elevar la presión del Biometano desde el valor de salida del proceso de limpieza y separación (aprox. 6 bar) hasta 200 bar y con una temperatura cercana a la temperatura ambiente, con la intención de hacer posible el proceso de carga de los módulos de almacenamiento transportables.

2.4.4.3 Poste de carga

En este proceso, el Biometano proveniente de la unidad compresora es direccionado de manera controlada y medida, por medio del Poste de carga hacia módulos de almacenamiento transportables (MAT) para el transporte del producto.

El poste de carga tiene la instrumentación necesaria para controlar la carga/despacho del Biometano, monitoreando las variables de presión, temperatura y flujo, siendo capaz de tomar acciones automáticas si alguna de las variables sale de su rango seguro de operación. Esta es la interfaz entre el proceso de compresión y el módulo de almacenamiento transportable (MAT) de Biometano.

El proceso de carga terminará cuando se alcance el llenado del valor máximo permisible de los módulos de almacenamiento transportables, que es de aproximadamente 200 bar, teniendo igualmente el objetivo que la temperatura este alrededor de la temperatura ambiente. En este punto culmina el proceso de carga, se desconecta la operación y el módulo de almacenamiento transportable se encuentra cargado con Biometano a 200 bar disponible para su traslado/transporte, y el volumen cargado dependerá de la capacidad del módulo, la cual puede variar en función del tipo de cilindros utilizados y su configuración. El sistema de control cuenta con la información detallada de los volúmenes despachados, y esta información será transmitida al sistema SCADA para su manejo de acuerdo con las normativas fiscales y administrativas pertinentes. En este punto termina el proceso de la planta de compresión, y estará lista para iniciar un nuevo proceso de carga.

Versión Publica

2.4.5 Proceso de Licuefacción de BioCO₂

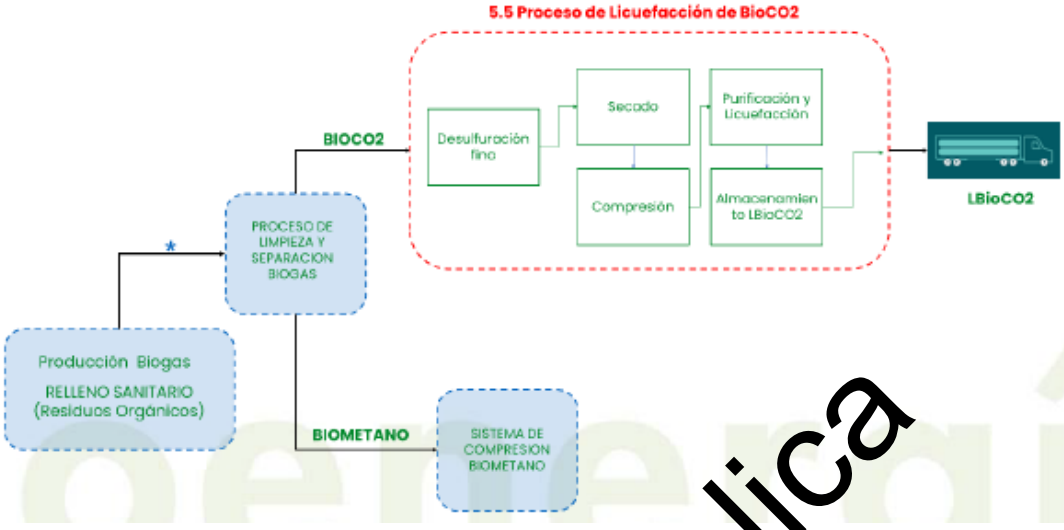


Figura 2.24 Diagrama de Proceso / Licuefacción de BioCO₂

El proceso de licuefacción inicia con el BioCO₂ proveniente del proceso de separación del biogás. Debido al proceso de Adsorción al que fue sometido el biogás para la retención del BioCO₂, este puede tener trazas del lecho adsorbente, además de otros componentes como sulfuro de hidrógeno, humedad, hidrocarburos, oxígeno y nitrógeno, y con el fin de cumplir los requisitos de impurezas en el producto final, todos los componentes anteriores deben eliminarse del gas de alimentación y por consiguiente de la licuefacción, para así obtener BioCO₂ líquido con una pureza del 99,998% como producto final.

2.4.5.1 Desulfuración fina

Debido al posible contenido de H2S en el gas de alimentación (biogás proveniente de la recolección de las celdas) de aproximadamente 6 ppm, para lograr el mínimo contenido de azufre en el producto final (LBioCO₂), es necesario eliminarlo a H2S ≤0.1ppm, para lo cual se utiliza un desulfurador fino de carbón activado para eliminar el azufre en el gas de alimentación por debajo 0.1 ppm.

El agente desulfurador lleno, dentro de la torre de desulfuración es carbón activo, cuyo volumen es de aproximadamente 1 m3, y el ciclo de reemplazo es de aproximadamente dos años.

2.4.5.2 Secado

En este punto del proceso, la corriente de BioCO₂ puede contener un bajo contenido de humedad, por lo cual se utiliza un desecante de alúmina activada para remover cualquier traza de condensado y/o liquido presente, y así el gas deshidratado se introduce en el compresor de BioCO₂.

2.4.5.3 Compresión de BioCO₂

El gas de alimentación limpio, aguas arriba, alimenta el compresor de BioCO₂ para su compresión.

La producción de BioCO₂ tiene alta presión (6.5 ~ 7.0MPa), presión media (3.5 ~ 4.5MPa), y baja presión (1.5 ~ 2.4MPa), tres rutas.

Versión Publica

El consumo de energía de la ruta de alta presión es alto, rara vez se utiliza.

La ruta de media presión y la ruta de baja presión tienen un consumo de energía similar, la ruta de presión media tiene ventajas de operación estable, pero la no condensación de la solubilidad del gas es mayor que la ruta de baja presión, la pureza del producto de $BioCO_2$ solo se alcanza el 99.5% en la ruta de media presión.

La ruta de baja presión consume menos energía para la compresión, pero necesita más frío y energía para la licuefacción de $BioCO_2$, y la temperatura de licuefacción es menor a la vía de media presión. Sin embargo, la ruta de baja presión tiene la ventaja de que la pureza del $BioCO_2$ es alta.

2.4.5.4 Purificación y licuefacción

a) Eliminación de componentes pesados por destilación criogénica.

Después de la compresión, el gas de alimentación todavía contiene algunos contaminantes, con el fin de eliminar estas impurezas, se utiliza la tecnología de lavado por destilación criogénica para eliminar estos componentes cuyo punto de ebullición es superior al $BioCO_2$.

Después de la destilación criogénica, todos los componentes pesados se retirarán y descargan en la parte inferior de la primera columna de destilación criogénica.

b) Licuefacción de $BioCO_2$

En la parte superior de la primera columna de destilación criogénica, el gas $BioCO_2$ sale y entra al Condensador de $BioCO_2$, la mayor parte del $BioCO_2$ se condensa en dióxido de carbono líquido ($LBioCO_2$).

Se utiliza un refrigerante para proporcionar la energía para el condensador y poder licuar el gas $BioCO_2$ en $LBioCO_2$.

c) Eliminación de gas no condensable por destilación criogénica

Después de la licuefacción todavía hay una pequeña cantidad de gases no condensables en $LBioCO_2$, a través de la destilación criogénica, se eliminan los gases no condensables, el $LBioCO_2$ es purificado aún más y alcanza la calidad de $LBioCO_2$ de grado alimenticio, la pureza del $LBioCO_2$ será mayor al 99.998%.

2.4.5.5 Almacenamiento de $LBioCO_2$

El producto de $LBioCO_2$ se envía a un tanque de almacenamiento criogénico para su acopio. Este es dimensionado según la producción de la planta y la logística de almacenamiento y transporte. La capacidad de almacenamiento es de 25 m^3, siendo aproximadamente una producción de 3 días a 24 horas de trabajo.

2.4.6 Diagramas de Flujo de Procesos

2.4.6.1 Sistema de Limpieza y Purificación de Biogás

Versión Publica

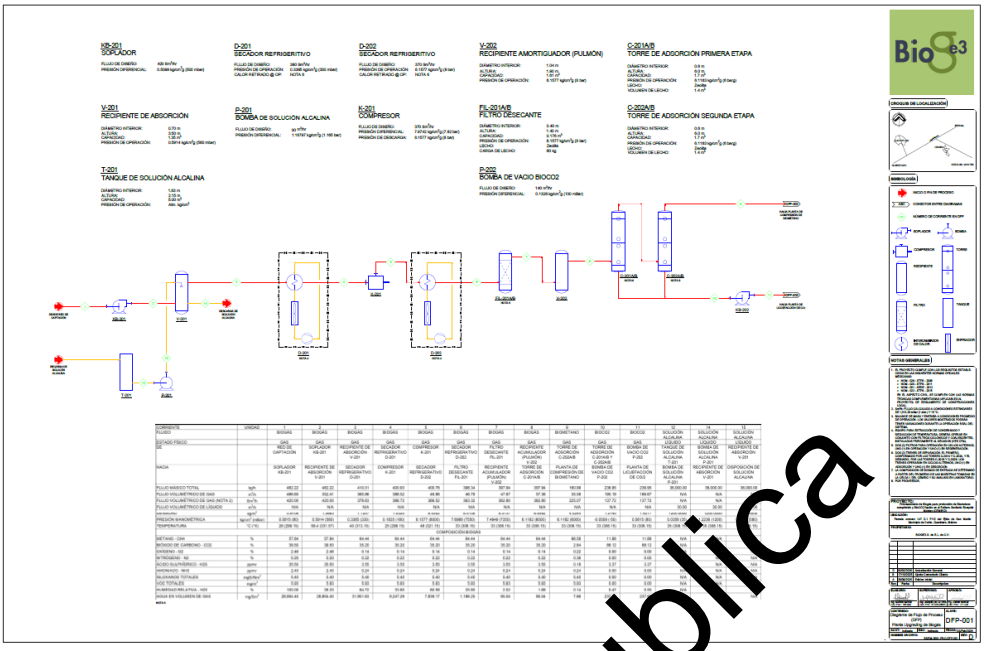


Figura 2.25 Diagrama de Flujo de Proceso de Sistema de Limpieza y Purificación de Biogás

2.4.6.2 Proceso de Compresión del Biometano

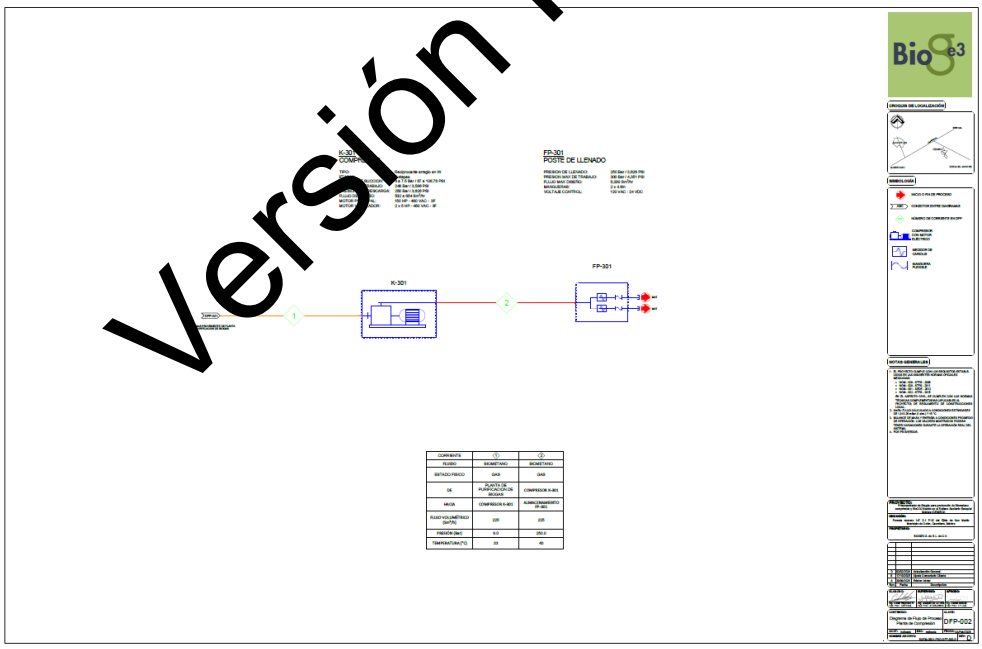


Figura 2.26 Diagrama de Flujo de Proceso del Proceso de Compresión de Biometano

Versión Publica

2.4.6.3 Proceso de Licuefacción de BioCO$_2$

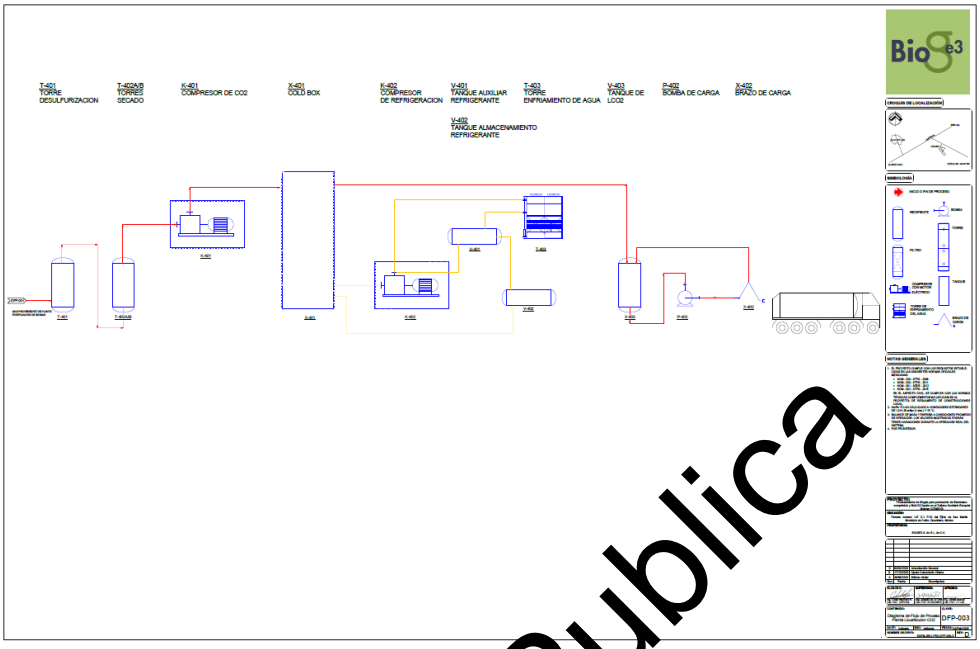


Figura 2.27 Diagrama de Flujo de Proceso de Proceso de Licuefacción de BioCO$_2$

En el ANEXO II- se presentan la ingeniería del proyecto (Memoria Técnica Descriptiva, planos, fichas técnicas, entre otros)

Versión Publica

2.5 Programa general de trabajo

La "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" contempla todas las etapas que presentan a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, desde sus inicios, hasta su conclusión eventual. Si bien no corresponde a una etapa deseada por el promovente, debe valorarse de forma preventiva para prever posibles contingencias que pudieran derivar en su ejecución, en tanto conllevan impactos ambientales. Dichas etapas se enlistan a continuación y se representan en su programación calendarizada mediante un diagrama de Gantt.

- ✓ Preparación del sitio
- ✓ Construcción
- ✓ Operación y Mantenimiento
- ✓ Cierre, Desmantelamiento y Abandono
- ✓ Es importante considerar que cada una de las actividades planteadas en dicho programa estarán sujetas a diferentes condiciones ambientales, antropológicas, climatológicas, entre otras, debido al lugar en el que se desarrollará el proyecto.

En la siguiente tabla se describen las obras y actividades asociadas al desarrollo de las diferentes etapas del proyecto.

Tabla 2.20 Descripción de obras y/o actividades por etapa

Obra / actividad	Cantidad	Descripción
Preparación del Sitio		
Delimitación física del área del proyecto	1 actividad	Consiste en la delimitación del Área del Proyecto (AP) mediante señalización y/o referencias físicas, conforme a la ingeniería del proyecto.
Limpieza y despalme del terreno (retiro de material superficial y residuos)	Según superficie del AP (2,523.24 m^2)	Retiro de material superficial, residuos y acondicionamiento del terreno para su intervención.
Trazo y nivelación del terreno conforme a planos de diseño	1 actividad	Definición de la geometría del proyecto en campo y adecuación del terreno conforme a los planos de diseño.
Excavaciones, rellenos y compactación para conformación de plataformas	Según requerimientos de obra	Movimientos de tierra necesarios para conformar plataformas y adecuar el terreno para la instalación de infraestructura.
Preparación de bases y cimentaciones para la instalación de infraestructura.	Según diseño del proyecto	Adecuación del terreno y construcción de bases para soportar equipos e instalaciones.
Habilitación de accesos internos y áreas de maniobra	Según diseño del proyecto	Adecuación de caminos internos y espacios para circulación de personal, maquinaria y equipo.
Instalación de sistemas de drenaje y manejo de escurrimientos	Según diseño del proyecto	Implementación de obras para conducción y control de escurrimientos pluviales dentro del área del proyecto.
Ejecución de obras auxiliares necesarias para el desarrollo del proyecto	Según requerimientos del proyecto	Instalación de elementos complementarios requeridos para la correcta ejecución de las actividades constructivas.
Construcción		
Montaje de la planta de limpieza y separación	Según diseño del proyecto	Instalación y ensamblaje de los equipos que integran la planta de limpieza y separación de biogás, conforme a la ingeniería del proyecto.
Instalación del sistema de compresión de biometano	Según diseño del proyecto	Instalación de los equipos de compresión de biometano y sus componentes asociados.
Instalación de la planta de licuefacción de BioCO$_2$	Según diseño del proyecto	Instalación de los equipos necesarios para la licuefacción de dióxido de carbono recuperado.

Versión Publica

Obra / actividad	Cantidad	Descripción
Instalación de equipos auxiliares	Según diseño del proyecto	Colocación de equipos complementarios necesarios para la operación del sistema.
Instalación de instrumentación, control y supervisión	Según diseño del proyecto	Integración de sistemas de monitoreo, control y supervisión del proceso.
Realización de ensayos y pruebas	Según diseño del proyecto	Ejecución de pruebas para verificar el correcto funcionamiento de los equipos e instalaciones.
Limpieza de tuberías	Según diseño del proyecto	Limpieza interna de tuberías previo a su operación, para asegurar condiciones adecuadas del sistema.
Ejecución de pruebas hidrostáticas/neumáticas	Según diseño del proyecto	Pruebas de presión para verificar la hermeticidad e integridad de las tuberías instaladas.
Actividades de puesta en marcha previas al inicio de operación	Según diseño del proyecto	Verificación integral del sistema y arranque inicial conforme a los procedimientos establecidos.
Operación y mantenimiento		
Operación del sistema de limpieza y separación del biogás	Continuo	Operación continua del sistema de limpieza y separación del biogás conforme a los parámetros de diseño
Operación de las unidades de compresión y biometano	Continuo	Funcionamiento de los equipos de compresión para el acondicionamiento del biometano.
Operación de la planta de licuefacción de BioCO$_2$	Continuo	Operación de los equipos para la licuefacción del dióxido de carbono recuperado.
Monitoreo permanente de variables de proceso	Continuo	Supervisión constante de parámetros operativos del sistema
Control automático y registro operativo mediante PLC y SCADA	Continuo	Control y registro de las variables del proceso mediante sistemas automatizados.
Ejecución de programas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo	Continuo	Implementación de rutinas de mantenimiento conforme a los requerimientos de los equipos.
Mantenimiento de equipos mecánicos, eléctricos, criogénicos, instrumentación y sistemas de seguridad	Continuo	Actividades de mantenimiento para asegurar la operatividad de los equipos e instalaciones.

Versión Publica

Obra / actividad	Cantidad	Descripción
Calibración de sensores	Continuo	Ajuste y verificación de sensores para garantizar la precisión de mediciones.
Control y gestión de refacciones	Continuo	Administración y disponibilidad de refacciones necesarias para el manteni
Integración de bitácoras operativas	Continuo	Registro sistemático de la operación y mantenimiento del sistema.
Atención de emergencias	Continuo	Ejecución de acciones correctivas ante eventos no programados.
Cierre, desmantelamiento y abandono		
Retiro de equipos, tuberías, accesorios e instalaciones eléctricas	Por definir	Retiro ordenado y seguro de los equipos e instalaciones asociadas al proyecto.
Desmantelamiento de sistemas de control y demás infraestructura asociada	Por definir	Desinstalación de sistemas de control y demás componentes del sistema.
Limpieza de sitio	Por definir	Retiro de materiales remanentes y acondicionamiento general del área intervenida.
Manejo y disposición de materiales y residuos generados	Por definir	Manejo y disposición de residuos conforme a la normatividad aplicable.
Desconexión de servicios	Por definir	Suspensión y desconexión de los servicios utilizados durante la operación del proyecto.
Aseguramiento de las áreas intervenidas	Por definir	Implementación de medidas para garantizar condiciones seguras en el sitio.
Rehabilitación de superficies afectadasConsiste en la delimitación del Área del Proyecto (AP) mediante señalización y/o referencias físicas, conforme a la ingeniería del proyecto.	Por definir	Restauración y acondicionamiento del terreno conforme a su condición final.

Versión Publica

Por lo que BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. tomando en cuenta lo anterior, propone los tiempos estipulados en la ejecución de cada etapa, de forma que reduzca el riesgo a la alteración de los periodos programados para llevar a cabo cada actividad. Asimismo, el programa incluye el tiempo requerido para la implementación de las medidas y estrategias consideradas dentro de la presente Manifestación de Impacto Ambiental modalidad Particular.

A continuación, se presenta el resumen de la duración del proyecto por etapas, así como el programa general de trabajo

Tabla 2.21 Periodos de ejecución del proyecto

	Preparación de Sitio	Construcción	Operación y mantenimiento	Cierre y desmantelamiento
Tiempo para su ejecución	4.7	8 meses	20 años	2 meses

En el ANEXO II INFORMACIÓN DEL PROYECTO se adjunta el plan de trabajo en formato PDF para su mejor apreciación

.

Versión Publica

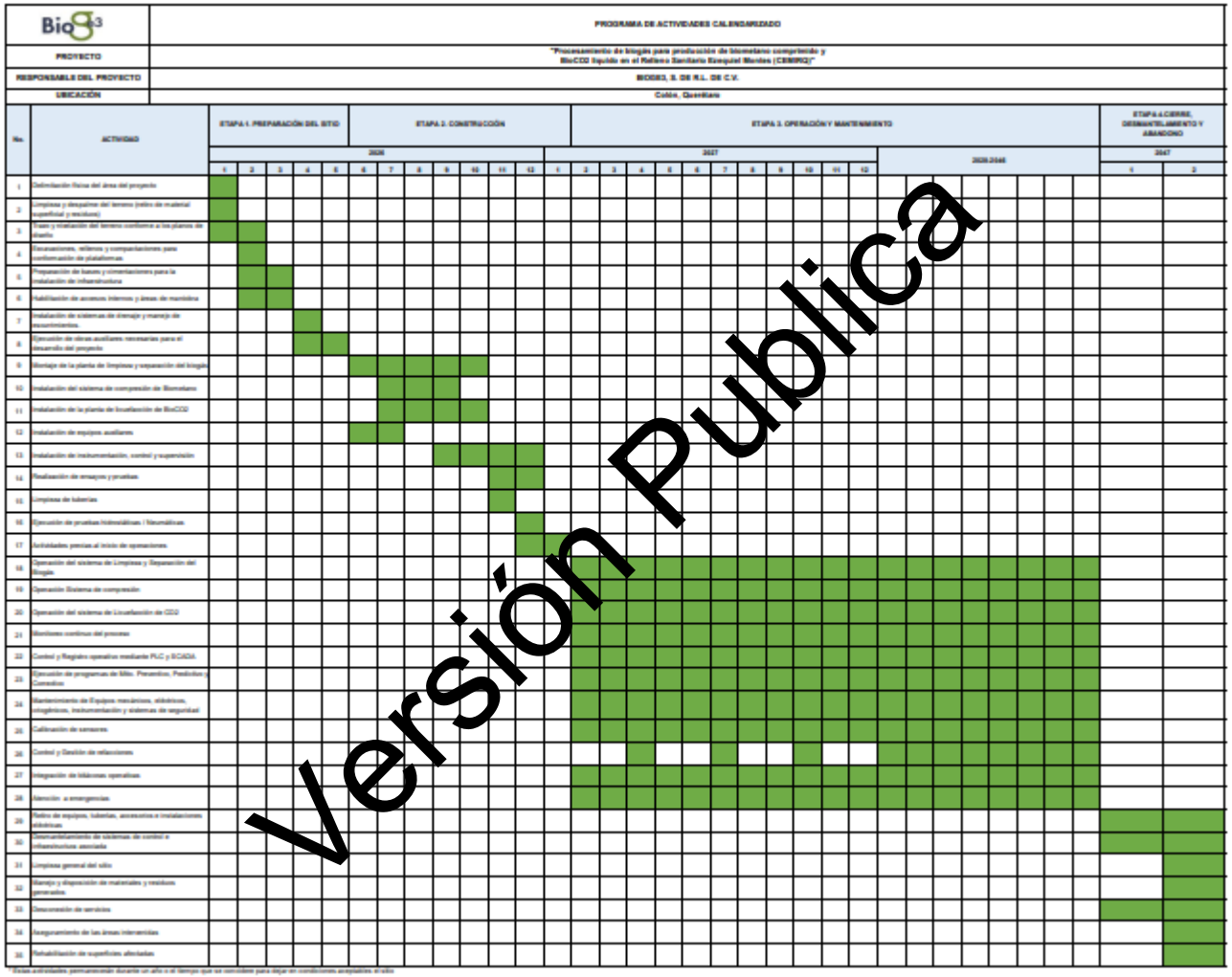


Figura 2.28 Programa de trabajo (Diagrama de Gantt)

2.6 Etapas del proyecto

2.6.1 Etapa de Preparación del Sitio

La etapa de preparación del sitio comprende las actividades preliminares necesarias para acondicionar el Área del Proyecto (AP) y permitir la instalación de la infraestructura conforme a la ingeniería del proyecto.

En primera instancia, se llevará a cabo la delimitación física del área del proyecto, mediante señalización y referencias en campo que permitan identificar con precisión los límites del polígono autorizado. Posteriormente, se realizará la limpieza del terreno, que consiste en el retiro de materiales superficiales, residuos y cualquier elemento ajeno al sitio que pudiera interferir con las actividades constructivas.

Una vez acondicionada la superficie, se ejecutarán las actividades de trazo, mediante las cuales se trasladará al terreno la distribución de la infraestructura definida en los planos de diseño, asegurando la correcta ubicación de los distintos componentes del proyecto. De manera paralela, se realizará la nivelación del terreno y la adecuación de la superficie, con el fin de generar condiciones homogéneas que permitan la correcta instalación de los equipos.

Como parte de los trabajos de movimiento de tierras, se contemplan excavaciones, rellenos y compactaciones, necesarios para la conformación de plataformas y la estabilización del terreno. Estas actividades permitirán la preparación de bases y cimentaciones destinadas a soportar la infraestructura del proyecto, conforme a los requerimientos técnicos establecidos en la ingeniería.

Asimismo, se considera la habilitación de accesos internos y áreas de maniobra, que faciliten el ingreso y operación de maquinaria, equipo y personal durante las etapas subsecuentes. De igual forma, se llevará a cabo la instalación de sistemas de drenaje y manejo de escurrimientos, con el propósito de conducir adecuadamente las aguas pluviales dentro del área del proyecto.

De manera complementaria, se ejecutarán las obras auxiliares necesarias para el desarrollo del proyecto, las cuales comprenden aquellos elementos de apoyo indispensables para la correcta ejecución de las actividades constructivas.

Finalmente, durante esta etapa se realizarán las gestiones técnicas, administrativas y documentales requeridas para la obtención de las licencias, autorizaciones y permisos aplicables para la construcción, incluyendo los trámites correspondientes ante las autoridades municipales, estatales y federales competentes, a fin de asegurar el cumplimiento de la normatividad vigente.

2.6.2 Etapa de Construcción

La etapa de construcción comprende la ejecución de las obras necesarias para la instalación de la infraestructura del proyecto, integrando trabajos de carácter civil, mecánico, eléctrico y de control, conforme a la ingeniería definida.

En primer término, se llevará a cabo el montaje de la planta de limpieza y separación de biogás, mediante la instalación y ensamblaje de los equipos que conforman este sistema, de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto. De manera complementaria, se realizará la instalación del sistema de compresión de biometano, así como de la planta de licuefacción de BioCO$_2$, integrando los distintos componentes requeridos para su operación.

Versión Pública

Asimismo, se contempla la instalación de equipos auxiliares necesarios para el funcionamiento del sistema, así como la integración de los sistemas de instrumentación, control y supervisión, los cuales permitirán el monitoreo y regulación de las variables operativas del proceso.

Una vez instalados los equipos, se llevarán a cabo las actividades de ensayos y pruebas, orientadas a verificar el correcto funcionamiento de los sistemas. Estas actividades incluyen la limpieza de tuberías, con el fin de asegurar condiciones adecuadas para su operación, así como la ejecución de pruebas hidrostáticas/neumáticas para comprobar la hermeticidad e integridad de las líneas instaladas.

Finalmente, se realizarán las actividades de puesta en marcha previas al inicio de operación, consistentes en la verificación integral del sistema y el arranque inicial de los equipos, conforme a los procedimientos establecidos en la ingeniería del proyecto.

Todas estas actividades se desarrollarán en apego a la ingeniería del proyecto y a la normatividad aplicable.

2.6.3 Etapa de Operación y Mantenimiento

La etapa de operación y mantenimiento comprende el funcionamiento continuo de la infraestructura instalada para el aprovechamiento del biogás, incluyendo el sistema de limpieza y separación, así como las unidades de compresión de biometano y la planta de licuefacción de $BioCO_2$, conforme a las condiciones de diseño del proyecto.

Durante esta etapa, se llevará a cabo el monitoreo permanente de las variables de proceso, a fin de asegurar la estabilidad y eficiencia operativa del sistema. Dicho monitoreo se realizará mediante sistemas de control automático y registro operativo, a través de plataformas PLC y SCADA, que permiten la supervisión en tiempo real de los parámetros de operación.

De manera paralela, se implementarán programas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, orientados a conservar el adecuado funcionamiento de los equipos e instalaciones. Estas actividades abarcan equipos mecánicos, eléctricos, criogénicos, así como la instrumentación y los sistemas de seguridad asociados al proceso.

Asimismo, se realizarán actividades de calibración de sensores, con el objetivo de garantizar la precisión de las mediciones, así como el control y gestión de refacciones necesarias para el mantenimiento de los equipos. Se llevará a cabo la integración de bitácoras operativas, donde se registrará de manera sistemática la información relevante de la operación y mantenimiento del sistema.

Adicionalmente, se contempla la atención de emergencias, mediante la implementación de acciones correctivas ante eventos no programados que pudieran presentarse durante la operación.

2.6.4 Etapa de Cierre, desmantelamiento y abandono

La etapa de cierre y desmantelamiento comprende el conjunto de actividades orientadas al retiro ordenado y seguro de la infraestructura asociada al aprovechamiento del biogás que deje de operar, así como a la restitución de las condiciones del sitio.

En primera instancia, se llevará a cabo el retiro de equipos, tuberías, accesorios e instalaciones eléctricas, así como el desmantelamiento de los sistemas de control y demás componentes del sistema,

Versión Publica

conforme a procedimientos que garanticen condiciones seguras durante su ejecución. Estas actividades se realizarán de manera progresiva, asegurando la correcta desconexión de los elementos que integran la infraestructura.

De forma paralela, se realizará la limpieza del sitio, mediante el retiro de materiales remanentes y residuos generados durante las actividades de desmantelamiento. El manejo y disposición de dichos materiales y residuos se efectuará conforme a la normatividad aplicable, considerando su adecuada clasificación y destino final.

Asimismo, se contempla la desconexión de los servicios utilizados durante la operación del proyecto, así como el aseguramiento de las áreas intervenidas, a fin de prevenir riesgos posteriores a la clausura.

Una vez concluido el retiro de la infraestructura, se llevará a cabo la rehabilitación de las superficies afectadas, mediante el acondicionamiento del terreno. En los casos que resulte aplicable, se realizará la colocación de cubiertas o materiales de protección, así como la ejecución de acciones de restauración, reforestación o acondicionamiento del área, de acuerdo con el destino final definido para el sitio.

2.6.5 Obras y actividades provisionales del proyecto

2.6.5.1 Utilización de explosivos

En el desarrollo del proyecto de la **"**Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)**"**, NO fue necesaria la utilización de explosivos de ningún tipo.

2.7 Generación, manejo y disposición de residuos sólidos

2.7.1 Gestión de residuos

En la presente sección se describe la gestión de los residuos generados durante la operación de las unidades que integran el proyecto, incluyendo la planta de limpieza y purificación, el sistema de compresión de biometano y la planta de licuefacción de CO_2. Para cada una de estas unidades se identifican, de manera específica, los residuos asociados a sus procesos y las medidas de manejo correspondientes.

Durante el desarrollo del proyecto se contempla la generación de residuos peligrosos, los cuales serán manejados conforme a los procedimientos establecidos y en apego a la normatividad aplicable. La responsabilidad del cumplimiento de dichos procedimientos, así como del resguardo y custodia de la documentación asociada —incluyendo bitácoras, manifiestos de transporte y disposición final de residuos peligrosos—, recaerá en el personal de mantenimiento y en el responsable de seguridad.

El personal de mantenimiento será responsable de la recolección, clasificación, segregación y almacenamiento adecuado de los residuos peligrosos generados en las distintas áreas del proyecto, incluyendo las actividades propias de operación, así como las áreas de despacho, almacenamiento y oficinas.

Por su parte, el operador responsable de la planta tendrá a su cargo la verificación de las condiciones del almacén temporal de residuos peligrosos, asegurando que éste se mantenga en condiciones

Versión Publica

adecuadas de orden y limpieza. Asimismo, será responsable de coordinar la recolección y entrega de los residuos para su transporte y disposición final mediante prestadores de servicio autorizados.

El proyecto será dado de alta ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) como **microgenerador** de residuos peligrosos, con el propósito de dar cumplimiento a lo establecido en la NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos, asegurando su correcta gestión conforme a la normatividad ambiental aplicable.

Una vez identificados y clasificados los residuos generados, se evaluará la viabilidad de su aprovechamiento mediante esquemas de segundo uso, en apego a los principios de economía circular, siempre que las condiciones técnicas y normativas lo permitan.

Derivado de lo anterior, a la planta le será asignado un Número de Registro Ambiental (NRA), en el cual se establecerá la identificación y clasificación de los residuos peligrosos generados en los procesos del proyecto. A través de este registro, se formaliza el compromiso de la empresa para llevar a cabo un manejo interno adecuado y garantizar su correcta disposición final mediante prestadores de servicios autorizados.

Los residuos peligrosos identificados corresponden a los siguientes:

Tabla 2.22 Clasificación de residuos peligrosos

Identificación y Clave del Residuo	CRETIB
Número de Registro Ambiental (NRA)	
1. Aceito sucio, O1	TI
2. Botes de aceite, SO2	T
3. Trapo impregnado, SO1	TI
4. Cubetas Impregnadas, O	T
5. Filtros Contaminados, SO2	TI
6. Tierra contaminada, O	TI
7. Líquidos residuales. No corrosivos, O1	T
8. Solventes Orgánicos, S1	T
9. Aceite Sucio, O2, O3	T
10. Refacciones Usadas, SO2	T

A continuación, se especifica cada uno de los residuos de acuerdo con su identificación asignada:

Versión Publica

1. Aceite Sucio. Correspondiente a los lubricantes utilizados como parte del sistema de lubricación de los diferentes equipos rotativos, compresores, sopladores, bombas, motores entre otros.
2. Botes de Aceite. Corresponden a los contenedores de aceite de desecho o que tuvieron contacto con algún lubricante o material contaminante.
3. Trapo Impregnado. Aquí debemos considerar trapos o pedacería que haya sido utilizada en algún proceso y estos tengan contacto directo con aceites o materiales tóxicos.
4. Cubetas Impregnadas. Son todos envases que hayan contenido aceites, líquidos para frenos, refrigerantes, solventes, gasolinas, desengrasantes, pinturas entre otros.
5. Filtros contaminados. Son todos aquellos filtros que han sido utilizados en algún proceso de producción.
6. Tierra Contaminada. Es toda aquella tierra que tuvo contacto con aceite, líquidos tóxicos, refrigerantes, pinturas, solventes entre otros.
7. Líquidos Residuales No Corrosivos. Son todos aquellos líquidos, que por el mismo proceso de la planta tienen contacto con algún componente tóxico y deben ser almacenados para no contaminar los mantos friáticos.
8. Solventes Orgánicos. Son compuestos volátiles que se utilizan solos o en combinación con otros agentes para disolver materias primas, productos o materiales residuales.
9. Aceite Sucio. Aquí se les da otra clasificación a los aceites hidráulicos o solubles.
10. Refacciones usadas. Son todas aquellas refacciones industriales que de alguna manera han estado expuestas a contaminantes.

Para el control y almacenaje temporal de los residuos peligrosos se debe contar con un área especial y controlada específica para este fin, donde se mantendrán en todo momento bien identificados y tapados. Este almacén temporal de residuos peligrosos deberá contar con un medio de contención para derrames, equipo para atención de derrames, ventilación adecuada, instalación eléctrica a prueba de explosión, señalamiento de los materiales que contiene y señalamiento externo de restricción de acceso, así como un extintor para combatir fuego tipo ABC de 9 Kg, el cual debe estar accesible e instalado de acuerdo con lo indicado en la norma NOM-002-STPS 2010Planta de limpieza y purificación de Biogás

- Reutilización de lixiviados en el proceso de Upgrading de biogás

El sistema de upgrading diseñado para la planta, contempla un proceso de absorción en el que tradicionalmente se emplean soluciones químicas o medios líquidos preparados. Sin embargo, para esta planta se implementa la reutilización de lixiviados generados en el propio relleno sanitario como parte de la mezcla para el medio absorbente, lo que representa una medida de optimización de recursos y alineación con los principios de economía circular para el aprovechamiento de residuos.

Beneficios técnicos y económicos:

- Sustitución de insumos químicos externos: el lixiviado presenta una composición con capacidad de absorción adecuada para la captura de compuestos presentes en el biogás (H2S, NH3, O2), reduciendo la necesidad de soluciones comerciales. Esto se traduce en menores costos de: materia prima y operativos.

Versión Pública

- Cierre de ciclos internos de materia: al incorporar un flujo residual del propio relleno en el proceso de upgrading, se reduce la generación de residuos líquidos a tratar como subproductos y se les da un uso funcional dentro del mismo sistema.
- Optimización de operación: cuando el lixiviado alcanza niveles de saturación, se reincorpora a las celdas como líquido de recirculación, lo que contribuye a mantener la humedad en la masa de residuos, favoreciendo la biodegradación y, en consecuencia, la generación de biogás, cumpliendo los criterios para el manejo de lixiviados y su recirculación controlada indicados en la NOM-083-SEMARNAT-2003.

- **Impactos ambientales positivos:**
  - Disminución de la huella ambiental: al evitar la producción, transporte y uso de reactivos químicos externos, se reduce la huella de carbono asociada al ciclo de vida de dichos insumos y se promueve la economía circular.
  - Mejora en la gestión integral de lixiviados: la recirculación controlada dentro del relleno contribuye a estabilizar la celda, acelera la descomposición de la materia orgánica y disminuye los volúmenes que requieren tratamiento final.
  - Contribución a la sostenibilidad del relleno: el uso multifuncional del lixiviado (absorbente y recirculante) convierte a este flujo en un recurso, cerrando el ciclo y disminuyendo pasivos ambientales asociados.
- **Regeneración y disposición de la Zeolita**

La regeneración es un proceso clave que busca restaurar la capacidad de adsorción de la zeolita, para que pueda ser reutilizada en el sistema de separación. Las zeolitas, al ser materiales porosos, pueden saturarse con impurezas, principalmente contaminantes presentes en el biogás, como el dióxido de carbono (CO2) y sulfuro de hidrógeno (H2S). Las torres de adsorción de la planta cuentan con la instrumentación y sistema de control necesario para lograr un óptimo proceso de desorción, lo que se traduce en un aumento de la vida útil. Si la zeolita ya no es viable para la regeneración, ya sea por daño estructural o por la presencia de contaminantes difíciles de eliminar, se realizará su disposición clasificándola adecuadamente y gestionando su desecho de forma segura y sostenible.

- **Sistema de Compresión**

Los residuos generados en el sistema de compresión se encuentran considerados en el punto "Generales" de esta misma sección.

- **Sistema de Licuefacción**

Durante el proceso normal de operación, la planta no genera residuos. En cuanto a los agentes y productos de separación y limpieza, el Carbón Activado es el agente utilizado para la remoción de H2S, y en la hidrólisis es la Sílica Gel, ambos productos, una vez termine su vida útil, serán dispuestos como residuos controlados.

Versión Pública

2.8 Sustancias involucradas

De acuerdo con la descripción del proceso antes señalada, la sustancia involucrada en este proyecto es el Biogás, Biometano, $BioCO_2$ y Terbutil-mercaptano. El resumen de las sustancias peligrosas involucradas en el proceso del presente proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y $bioco_2$ liquido en el relleno sanitario Ezequiel Montes (CEMIRG)" propiedad de [Compañía] se muestra a continuación.

Conforme al segundo "Listado de Actividades Altamente Riesgosas", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 4 de mayo de 1992 se presenta la cantidad a reportar.

Tabla 2.23 Resumen de Sustancias Peligrosas

Sustancia	No. CAS	Riesgo químico[1]					Concentración	Capacidad total[2]			Tipo de almacenamiento
		C	R	E	T	I		PR	TR	ALM	
Biometano	74-82-8					x	100%	3,876.015 kg/h	NA	NA	NA
Biogás	N/A	x			x	x	100%	482.22 kg/h	NA	NA	NA
$BioCO_2$	124-38-9						100%	236.95 kg/h* 142.5 kg/h**	NA	28,500 kg	1 Tanque de almacenamiento de 25 m^3
Terbutil-mercaptano	75-66-1				x	x	100%	NA	NA	97.5 kg	1 Tanque de almacenamiento de 0.12 m^3

A continuación, se muestran las características de la sustancia antes mencionada, así como sus peligros.

[1] Riesgo de las sustancias, de acuerdo con sus características de Corrosión (C), Reactividad (R), Explosividad (E), Toxicidad (T) e Inflamabilidad (I).
[2] Capacidad Máxima para el Proceso (PR), el Transporte (TR) y el Almacenamiento (ALM). *$BioCO_2$ en fase gas, **$BioCO_2$ en fase liquida

Versión Publica

2.8.1 Características de biometano y biogás

El biometano es una mezcla de hidrocarburos (principalmente metano) producido a través de una digestión anaerobia, en fase gaseosa, que a condiciones atmosféricas permanece en fase gaseosa. Puede encontrarse mezclado con algunas impurezas o sustancias que no son hidrocarburos, tales como ácido sulfhídrico, nitrógeno o bióxido de carbono en bajas concentraciones.

El biogás es un combustible renovable que se produce mediante la descomposición anaerobia (sin oxígeno) de materia orgánica, como residuos agrícolas, estiércol, desechos municipales, aguas residuales y basura orgánica.

En la Tabla 2.23 se presentan los principales constituyentes del gas.

Tabla 2.24 Composición de biometano y biogás

Sustancia	Componente	Cantidad (%)
BIOMETANO	Metano	96.58
	Dióxido de Carbono	2.84
	Nitrógeno	0.36
	Oxigeno	0.22
	Ácido sulfhídrico	0.18 ppmv
BIOGAS	Metano	57.84
	Dióxido de Carbono	39.50
	Ácido sulfhídrico	35.50 ppmv
	Amoniaco	2.40 ppmv
	Nitrógeno	0.20
	Oxigeno	2.46
	Siloxanos totales	5.40 mgSi/Nm^3
	VOC totales	5.93 mg/m^3

Versión Publica

Como muchos gases, el biometano es un fluido homogéneo de baja densidad y viscosidad. Es inodoro, pero se utilizan aditivos odorizantes durante su preparación, para permitir la detección de fugas. El biometano es uno de los gases inflamables más estables. Presenta signos de inflamabilidad dentro de límites de mezclas con aire desde el 5 hasta el 15%, y su temperatura de ignición se encuentra entre 594 y 927 ºC. Normalmente, el biometano tiene un poder calorífico de 8,900 kcal/m^3 (1000 Btu/scf).

El metano y el resto de los hidrocarburos que forman la mezcla, reaccionan fácilmente con el oxígeno liberando calor, y formando bióxido de carbono y agua principalmente. La reacción de combustión se muestra a continuación:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

Esta reacción es exotérmica y libera una energía de 50 kJ/g (12 kcal/g) de metano reaccionado. La energía se puede liberar incrementando la temperatura de la mezcla metano-aire a su temperatura de ignición, en donde la reacción se vuelve autosuficiente produciendo productos de reacción de alta temperatura. A la presión atmosférica, las reacciones son autosuficientes en mezclas metano-aire para concentraciones que van de 5.4 a 14 %vol. En la Tabla 2.24 se presentan las propiedades físicas más comunes de biometano en México.

Tabla 2.25 Propiedades físicas del biometano en México

Propiedad	Biometano
Densidad a 25°C	~0.85 - 1.1 kg/m³
Punto de ebullición	-161°C
Punto de fusión	-182.96°C
Presión de vapor	No se aplica (gas)
Calor específico a 25°C	~2.2 - 2.7 kJ/kg·K
Conductividad Térmica	~0.03 - 0.05 W/(m·K)
Viscosidad cinemática a 0°C	~15 - 20 mm²/s
Solubilidad en agua	Baja

Secretaría de Energía (SENER) - Gobierno de México, Información sobre Energías Renovables y Biometano, 2023.

Tabla 2.26 Propiedades físicas del biogás

Propiedad	Biometano
Contenido energético	6.0-6.5 kWh/ m³
Equivalente de combustible	0.60-0.65 L petróleo/m³ biogás
Límite de explosión	6-12% de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750°C
Presión critica	74-88 atm
Temperatura critica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg/m³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)

Deublein y Steinhauser (2008)

Versión Publica

2.8.2 Peligros del biometano y biogás

Con base en sus propiedades fisicoquímicas, el biometano se considera una sustancia altamente inflamable y bajo ciertas condiciones explosivas, clasificada como Clase II División 2.1 de acuerdo con el sistema de la ONU. En cuanto a los riesgos a la salud y reactividad, el biometano no presenta peligro alguno. La Asociación Nacional de Protección Contra Fuego (NFPA por sus siglas en inglés), según el rombo de clasificación de materiales peligrosos, clasifica al biometano con 4 en inflamabilidad, y 1 a la salud. El biometano es un asfixiante simple que no tiene propiedades peligrosas inherentes, ni presenta efectos tóxicos específicos, pero actúa como excluyente para los pulmones. El efecto de los gases asfixiantes simples es proporcional al grado en que disminuye el oxígeno en el aire que se respira. En altas concentraciones puede producir asfixia.

El biometano presenta características de inflamabilidad cuando una mezcla de gas con oxígeno se encuentra entre los límites superior e inferior de inflamabilidad y encuentra una fuente de ignición. Debido a que esta sustancia se utiliza como una fuente confiable de energía para la industria y sociedad, grandes cantidades de gas se almacenan, transportan y distribuyen a lo largo del país. Sin embargo, el manejo inadecuado de esta sustancia puede ocasionar graves accidentes de incendio y explosión causando graves daños a la población y el ambiente.

El biogás representa un riesgo por Contaminación Microbiana (Bacterias y Patógenos) Proliferación de Bacterias; ya que, durante la producción y manejo de biogás a partir de residuos orgánicos, puede haber proliferación de bacterias y patógenos provocando enfermedades, riesgo de infecciones y enfermedades gastrointestinales al manejar el material orgánico.

El biogás puede causar irritación y corrosión en los ojos, la piel y el tracto respiratorio, pues tiene compuestos corrosivos.

De acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado (GHS por sus siglas en inglés), el tipo de pictograma para su identificación es para "gas inflamable" categoría 1, "gas a presión" categoría gas comprimido y para sustancias con peligros a la salud por corrosión / irritación cutánea categoría 2, y lesiones oculares graves / irritación ocular, categoría 2a.

Versión Publica



Figura 2.29 Programas de GHS (Biometano)



Figura 2.30 Pictogramas del GHS (Biogás)

Los principales peligros que presenta el biometano son los causados por la dispersión de una nube inflamable y radiación térmica. Comparado con otros hidrocarburos, el biometano es menos peligroso que el gas licuado de petróleo (GLP) y el etileno licuado, los cuales presentan: (1) mayores gravedades específicas, (2) una mayor tendencia a formar nubes de vapor explosivas, (3) menores energías de ignición, y (4) mayores velocidades de incendio. El biometano no es tóxico y se evapora rápidamente, por lo tanto, a largo plazo los impactos ambientales provenientes de una liberación son despreciables si no se presenta la ignición de los vapores de biometano.

La Tabla 2.26 resume los peligros a la salud identificados para el biometano y biogás, de acuerdo con las recomendaciones de la ECHA:

Tabla 2.27 Clasificación de riesgos a la salud de acuerdo con ECHA

Combustible	Indicación de peligro
Biometano	H315 Provoca irritación cutánea H319 Provoca irritación ocular grave
Biogás	H315 Provoca irritación cutánea H319 Provoca irritación ocular grave H330 Toxicidad aguda

Existen 2 tipos de fuego que se pueden observar en situaciones donde se maneje biometano y biogás, los más importantes a considerar son:

- **Chorro de fuego (Jet fire):** Si gases comprimidos o licuados se liberan de recipientes o tuberías, los materiales que se descargan a través del orificio formarán un chorro de gas que sale y se mezcla con el aire del ambiente. Si el material encuentra una fuente de ignición cuando se forma una nube de gas en el rango de inflamabilidad, existe la posibilidad de que se produzca un chorro de fuego.
- **Flamazo (Flash fire):** Cuando un material volátil inflamable se libera a la atmósfera, se forma y dispersa una nube de vapor. Si la nube de vapor resultante se enciende antes de que esta se diluya por debajo de su límite inferior de inflamabilidad, podría ocurrir un incendio instantáneo de la mezcla en forma de flamazo. La combustión normalmente ocurre dentro de algunas porciones de la nube de vapor (donde el material se mezcla con aire en concentraciones de inflamabilidad) más que toda la nube. Un flamazo podría incendiarse de regreso al punto de liberación, resultando en una alberca o chorro de fuego, pero es poco probable que se generen daños de sobrepresión (explosión) cuando no se encuentra confinado.

2.8.3 Características del BioCO₂

El BioCO₂ es el dióxido de carbono generado como subproducto en procesos biológicos anaerobios, principalmente durante la digestión de materia orgánica en sistemas como biodigestores o rellenos sanitarios. Este gas forma parte del biogás y se encuentra típicamente acompañado de metano (CH_4), ácido sulfhídrico (H_2S), vapor de agua y trazas de otros compuestos.

El BioCO₂ presenta propiedades similares al dióxido de carbono de origen fósil, siendo un gas incoloro, inodoro en condiciones puras y no inflamable. Su densidad es superior a la del aire, lo que favorece su acumulación en zonas bajas o confinadas, representando un riesgo potencial en espacios cerrados o con ventilación limitada.

Puede representar entre el 30% y 50% del volumen total del biogás, dependiendo de las condiciones operativas del proceso anaerobio, tales como el tipo de sustrato, el tiempo de residencia, la temperatura y la eficiencia microbiológica. Una mayor proporción de dióxido de carbono reduce el poder calorífico del biogás, afectando su eficiencia en aplicaciones energéticas como la generación eléctrica o térmica.

Versión Publica

Desde el punto de vista químico, el dióxido de carbono es un gas ácido que, en presencia de agua, puede formar ácido carbónico (H_2CO_3). Este fenómeno puede generar condiciones de corrosión en tuberías, equipos y sistemas de almacenamiento, especialmente cuando coexiste con compuestos como el ácido sulfhídrico, incrementando la agresividad del medio.

Tabla 2.28 Composición del BioCO₂

Sustancia	Componente	Cantidad (%)
BioCO₂	CO_2 Min	95.00
	CH_4 Max	4.00
	O_2	0.30
	N_2	0.70
	H_2S	[illegible] ppm
	Otros	Trazas

2.8.4 Peligros del BioCO₂

El BioCO₂ es un gas no inflamable y químicamente estable, por lo que no participa directamente en fenómenos de combustión como incendios tipo flash fire, jet fire o explosiones. Sin embargo, su presencia dentro de mezclas gaseosas influye significativamente en el comportamiento de otros componentes combustibles, particularmente el metano, al actuar como gas diluyente y modificar los límites de inflamabilidad.

Uno de los principales peligros del BioCO₂ es su capacidad de actuar como asfixiante simple. Debido a su mayor densidad en comparación con el aire, tiende a acumularse en zonas bajas, espacios confinados, fosas, registros y áreas con ventilación deficiente. En estos entornos, el desplazamiento del oxígeno puede generar atmósferas peligrosas para el personal, incluso sin que existan señales perceptibles, ya que el gas es incoloro e inodoro. La exposición a concentraciones elevadas puede provocar síntomas como incremento en la frecuencia respiratoria, dolor de cabeza, mareo, desorientación, pérdida de la conciencia y, en casos extremos, la muerte por asfixia.



Figura 2.31 Pictogramas del GHS (BioCO₂)

Otro peligro relevante está asociado a su comportamiento en presencia de humedad. El BioCO₂ puede disolverse en agua formando ácido carbónico, lo cual contribuye a procesos de corrosión en tuberías, válvulas y equipos. Este efecto se ve intensificado cuando coexiste con otros contaminantes del biogás, como el ácido sulfhídrico, generando ambientes altamente agresivos que pueden comprometer la integridad mecánica de los sistemas y derivar en fugas o liberaciones no controladas.

En caso de liberaciones súbitas, puede generarse enfriamiento rápido del gas debido a la expansión, lo que favorece la formación de nubes frías y densas que se desplazan a nivel del suelo. Estas nubes

Versión Publica

pueden incrementar el alcance de zonas con atmósferas deficientes de oxígeno, ampliando el impacto potencial sobre el personal y las instalaciones.

Su liberación en grandes cantidades puede contribuir a la acumulación local de gases en zonas deprimidas, representando un riesgo para fauna, personal operativo y comunidades cercanas en condiciones específicas de topografía y meteorología.

Existen 3 tipos de escenarios que se pueden observar en situaciones donde se maneje $BioCO_2$, los más importantes a considerar son:

- **Dispersión de nube asfixiante:** El escenario de dispersión de una nube asfixiante de $BioCO_2$ se origina a partir de la liberación no controlada de dióxido de carbono desde un sistema de conducción, almacenamiento o procesamiento, como consecuencia de fallas mecánicas (ruptura de tuberías, fugas en bridas o válvulas), sobrepresión en el sistema o errores operativos. Dado que el $BioCO_2$ es un gas con densidad superior a la del aire, una vez liberado al ambiente tiende a desplazarse y acumularse en zonas bajas, siguiendo la topografía del terreno. Durante la etapa inicial del evento, el gas liberado forma una nube que se dispersa por efecto de la diferencia de presión entre el sistema y la atmósfera, así como por condiciones meteorológicas como la velocidad del viento, la estabilidad atmosférica y la temperatura ambiente. A medida que la nube se expande, el CO_2 desplaza el oxígeno presente en el aire, generando una atmósfera con deficiencia de oxígeno. El desarrollo del fenómeno se caracteriza por la propagación horizontal de la nube, con una mayor persistencia en áreas confinadas o con ventilación limitada, tales como fosas, zanjas, cárcamos o espacios cerrados. En estas condiciones, la dispersión natural se ve reducida, incrementando la duración del evento y la concentración del gas. Las consecuencias principales están asociadas a la exposición del personal a atmósferas asfixiantes. La disminución del oxígeno por debajo de niveles seguros puede provocar síntomas como hiperventilación, mareo, pérdida de la coordinación, inconsciencia y, en casos severos, la muerte. Este escenario es particularmente crítico debido a la naturaleza imperceptible del gas, ya que no presenta olor ni color que adviertan su presencia.

- **Formación de nube fría por expansión:** Este escenario se origina cuando el $BioCO_2$ es liberado desde condiciones de alta presión o estado licuado, como puede ocurrir en sistemas de almacenamiento presurizado, líneas de conducción o equipos de compresión. La liberación súbita provoca una expansión rápida del gas, generando un descenso significativo de la temperatura debido al efecto Joule-Thomson. En la fase inicial, el gas liberado experimenta un enfriamiento abrupto que puede llevar a la formación de una mezcla bifásica (gas-sólido), generando partículas de CO_2 sólido (hielo seco) y una nube visible por la condensación de la humedad del aire. Esta nube fría tiende a ser más densa que el aire, por lo que se desplaza a nivel del suelo y puede recorrer distancias considerables dependiendo de las condiciones ambientales. A medida que el fenómeno se desarrolla, la nube fría mantiene temperaturas significativamente bajas, lo que puede ocasionar efectos térmicos adversos tanto en personas como en materiales. El contacto directo con el gas o con superficies enfriadas puede provocar quemaduras por congelación (lesiones criogénicas), mientras que en equipos e infraestructura puede inducir fragilización de materiales, contracción térmica y posibles fallas estructurales. Adicionalmente, la nube fría comparte características con el escenario de dispersión

Versión Publica

asfixiante, ya que el CO_2 continúa desplazando el oxígeno del ambiente, incrementando el riesgo para el personal. La visibilidad reducida generada por la nube puede también dificultar la evacuación y respuesta ante emergencias.

- **Liberación por sobrepresión:** El escenario de liberación por sobrepresión se origina cuando un sistema que contiene $BioCO_2$ opera por encima de sus condiciones de diseño, ya sea por fallas en sistemas de control, obstrucciones en líneas, exposición a fuentes de calor o mal funcionamiento de dispositivos de alivio de presión. Esta condición puede derivar en la ruptura súbita de equipos o tuberías, liberando el gas de manera violenta. En la etapa inicial del evento, la energía acumulada en forma de presión se libera de manera instantánea, generando una onda de presión localizada y la proyección de fragmentos o partes del equipo (en caso de falla catastrófica). Este tipo de liberación no implica una explosión química, sino un fenómeno físico asociado a la expansión rápida del gas comprimido. Durante el desarrollo del evento, el gas liberado se expande rápidamente hacia la atmósfera, pudiendo combinar efectos de enfriamiento (si se encuentra a alta presión) y dispersión. La magnitud del evento dependerá del volumen contenido, la presión de operación y el tamaño de la falla. Las consecuencias principales incluyen daños mecánicos a la infraestructura circundante, riesgo de impacto por fragmentos proyectados y exposición del personal a la liberación súbita de gas. Adicionalmente, el evento puede dar lugar a la formación de nubes de CO_2 que, como se describió anteriormente, representan riesgos de asfixia.

2.8.5 Mercaptano/Terbutil-Mercaptano

El terbutil-mercaptano (2-metilpropano-2-tiol) es un compuesto orgánico sulfurado perteneciente a la familia de los mercaptanos, ampliamente utilizado como odorante en gas natural y gas L.P. debido a su alta intensidad odorífera. Se presenta como un líquido volátil, incoloro, con un olor extremadamente penetrante y desagradable, característico del azufre reducido, detectable a concentraciones muy bajas, lo que permite identificar fugas de gas de manera oportuna. Presenta alta inflamabilidad, con un punto de inflamación bajo (menor a 0 °C), lo que incrementa el riesgo de incendios tipo flash fire o pool fire en caso de liberación accidental. Sus vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire dentro de un amplio rango de concentraciones, y al ser más pesados que el aire, tienden a acumularse en zonas bajas o confinadas, aumentando el riesgo en espacios poco ventilados. Además, presenta toxicidad por inhalación, pudiendo causar irritación en vías respiratorias, ojos y piel, así como síntomas como cefalea, mareos y náuseas ante exposiciones a concentraciones elevadas. En presencia de oxígeno, el terbutil-mercaptano puede oxidarse, generando óxidos de azufre (SO_x), los cuales tienen efectos adversos sobre la calidad del aire y el medio ambiente. Debido a su alta volatilidad y potencia odorífera, incluso pequeñas liberaciones pueden generar molestias significativas a la población circundante, sin necesariamente representar concentraciones peligrosas desde el punto de vista toxicológico

Versión Pública

3 Vinculación con los instrumentos de planeación y ordenamientos jurídicos aplicables

En el marco de la Reforma Constitucional en materia energética publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de enero de 2025, por la cual fueron modificados los artículos 25, 27 y 28, se destaca la importancia y relevancia de la creación de la nueva Ley de Biocombustibles (Ley), la cual abroga la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB).

En tal sentido, uno de los cambios significativos que podremos observar en la Ley, es la incorporación de nuevas definiciones, además de establecer procedimientos para obtener permisos y autorizaciones, así como un procedimiento administrativo en caso de la comisión de infracciones a las disposiciones contenidas en la Ley.

Para la presente modificación y con el propósito de evidenciar el cumplimiento de la normatividad vigente ante esa autoridad se presenta la vinculación de las actividades sometidas a modificación con la Ley de Biocombustibles y su reglamento.

3.1 Leyes Federales

3.1.1 Ley de Biocombustibles

La Ley de Biocombustibles tiene por objeto regular y promover la producción, almacenamiento, transporte, distribución, comercialización y uso de biocombustibles en el territorio nacional, estableciendo las bases para su incorporación ordenada y sostenible dentro del sistema energético mexicano. Sus disposiciones son de orden público e interés social, y buscan impulsar el aprovechamiento de materias primas de origen biológico bajo criterios de sustentabilidad, eficiencia energética y reducción de emisiones contaminantes.

Dicha Ley establece lineamientos para garantizar que la producción de biocombustibles se realice sin comprometer la seguridad energética, la soberanía alimentaria ni el equilibrio ecológico, promoviendo el uso de residuos orgánicos y subproductos como insumos prioritarios, así como la coordinación entre autoridades competentes del sector energético y ambiental.

Tabla 3.1. Vinculación del Proyecto con la Ley de Biocombustibles

Artículo	Vinculación
Artículo 1.- La presente Ley es de orden público e interés social, de observancia general en los Estados Unidos Mexicanos y tiene por objeto regular y promover el desarrollo sustentable de los Biocombustibles, con el fin de coadyuvar con la soberanía, justicia y autosuficiencia energética, como parte de la diversificación y de la transición energética, y establece las bases para: I. Promover el aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos para la Producción de Biocombustibles; II. Promover la producción sustentable de Biomasa para la Producción de Biocombustibles en Suelos Marginales que no provengan de insumos primarios de origen vegetal destinados para el consumo	El proyecto de "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" se vincula directamente con lo establecido en dicho artículo, toda vez que contempla la producción de un biocombustible gaseoso a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos mediante procesos biológicos, lo que contribuye a la generación de energía a partir de fuentes renovables. Este proceso permite valorizar residuos orgánicos que de otra manera podrían convertirse en fuentes de emisión de gases de efecto invernadero, promoviendo su aprovechamiento energético bajo principios de economía circular.

Versión Publica

Artículo	Vinculación
humano, salvo los provenientes de los excedentes de caña de azúcar y del sorgo; III. Desarrollar e impulsar mecanismos para incentivar el uso directo de la Biomasa como Biocombustible; la Producción, importación, exportación, Almacenamiento, Transporte, Comercialización, Distribución, y el Expendio al Público de Biocombustibles; IV. Contribuir con la reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera, así como de gases y compuestos de efecto invernadero, mediante el desarrollo sustentable de los Biocombustibles, y V. Coordinar acciones entre los Gobiernos Federal, de las entidades federativas, de los municipios y las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, así como la concertación con los sectores social y privado para el aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos para la Producción de Biocombustibles y el desarrollo sustentable de los Biocombustibles.	Asimismo, el desarrollo del proyecto favorece la diversificación de la matriz energética y la reducción de emisiones contaminantes, al generar biometano que puede sustituir parcial o totalmente combustibles fósiles convencionales. De esta manera, el proyecto se alinea con el objeto de la Ley al impulsar el desarrollo de biocombustibles mediante el uso sostenible de la biomasa, contribuyendo al fortalecimiento del sector energético bajo criterios de sustentabilidad y eficiencia ambiental.
Artículo 6.- Para los efectos de la presente Ley, la SEMARNAT, tiene las siguientes facultades: (…) VI. La evaluación del impacto ambiental de la construcción y operación de las instalaciones para la Producción, Almacenamiento, Transporte, Comercialización, Distribución y el Expendio al Público de los Biocombustibles, de conformidad con las disposiciones legales aplicables; (…)	El proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" se vincula con la Ley de Biocombustibles, toda vez que contempla la producción de biocombustible gaseoso a partir del aprovechamiento de biomasa orgánica. En este sentido, las instalaciones destinadas a su generación constituyen infraestructura asociada a la producción de biocombustibles, por lo que su construcción y operación deben someterse al procedimiento de evaluación del impacto ambiental a cargo de la SEMARNAT. Bajo este marco, la autorización en materia de impacto ambiental y las condicionantes establecidas por la autoridad competente representan el mecanismo regulatorio mediante el cual se asegura que el desarrollo del proyecto se realice conforme a los principios de prevención, mitigación y control de los impactos ambientales, en apego al marco jurídico aplicable.

Version Publica

3.1.2 Ley de Planeación y Transición Energética

La Ley de Planeación y la Ley de Transición Energética constituyen instrumentos rectores de la política pública en materia de desarrollo nacional y del sector energético, estableciendo las bases para una planeación estratégica orientada al crecimiento económico sustentable, la seguridad energética y la reducción progresiva de emisiones.

Estos ordenamientos promueven la incorporación de energías limpias y tecnologías de baja intensidad de carbono dentro de la matriz energética nacional, así como el cumplimiento de metas de eficiencia energética y transición hacia fuentes renovables.

Tabla 3.2 Vinculación del Proyecto con la Ley de Planeación y Transición Energética

Artículo	Vinculación
Artículo 1.- La presente Ley es reglamentaria de los artículos 25, párrafo tercero; 27, párrafos sexto y séptimo; 28, párrafo cuarto, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, es de orden público e interés social y de observancia general en los Estados Unidos Mexicanos. Tiene por objeto establecer y regular la planeación vinculante en el Sector Energético y el fortalecimiento de la Transición Energética, así como el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, el cumplimiento de las obligaciones en materia de Energías Limpias y la reducción de Emisiones Contaminantes, manteniendo la competitividad de los sectores productivos, con el fin de coadyuvar con la soberanía, justicia y autosuficiencia energética.	En este sentido, el proyecto de "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" se vincula directamente con lo establecido en dicho artículo, ya que contempla la producción de un combustible renovable a partir del aprovechamiento de residuos sólidos urbanos. Este tipo de tecnología contribuye al aprovechamiento sustentable de la energía y a la reducción de emisiones contaminantes, al capturar y utilizar metano que de otra manera sería liberado a la atmósfera y al sustituir parcialmente combustibles fósiles. Asimismo, el proyecto se alinea con los objetivos de la transición energética al fomentar el desarrollo de tecnologías energéticas más limpias y eficientes, promoviendo la diversificación de las fuentes de energía y contribuyendo a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo anterior, se considera que el desarrollo del proyecto es compatible con los principios y disposiciones establecidos en la Ley de Planeación y Transición Energética.

3.1.3 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer diversas bases para "garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar".

Dentro de la presente Ley se contemplan diversos instrumentos de Política Ambiental, entre los que se encuentra la Evaluación en Materia de Impacto Ambiental, por lo que al respecto el proyecto se vinculará con las disposiciones relacionadas con la evaluación, así como con otras disposiciones que guardan relación con el mismo.

Tabla 3.3 Vinculación del Proyecto con la LGEEPA

Artículo	Vinculación con el proyecto
"Artículo 15. (…) IV. Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique." (…)	A través de la elaboración de la presente MIA-P se ha llevado a cabo un estudio minucioso de los diferentes impactos que se generarán, para lo cual, se han implementado una serie de medidas tendientes a compensarlos y mitigarlos, las cuales se encuentran descritas en el capítulo VI del presente documento para su mejor apreciación.

Versión Pública

Artículo	Vinculación con el proyecto
"**Artículo 28. (…)** quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría: (…) **XIII.-** Obras o actividades que correspondan a asuntos de competencia federal, que puedan causar desequilibrios ecológicos graves e irreparables, daños a la salud pública o a los ecosistemas, o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas relativas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección del ambiente.	Para el proyecto se presenta la MIA para su evaluación y dar cumplimiento con el presente artículo.
"**Artículo 30**. Para obtener la autorización a que se refiere el artículo 28 de esta Ley, los interesados deberán presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental, la cual deberá contener, por lo menos, una descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o actividad de que se trate, considerando el conjunto de los elementos que conforman dichos ecosistemas, así como las medidas preventivas, de mitigación y las demás necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente. Cuando se traten de actividades altamente riesgosas en los términos de la presente Ley la manifestación deberá incluir el estudio de riesgo correspondiente. (…)"	El Proyecto, cumplirá lo establecido en el presente artículo, ya que a partir de la elaboración de la presente MIA-P y el contenido en sus diversos capítulos se han considerado los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por las obras y actividades que se desarrollarán durante todas las etapas del Proyecto.
"Artículo 110.- Para la protección a la atmósfera se considerarán los siguientes criterios: I. La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país; y II. Las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico."	Dada la naturaleza del Proyecto y su actividad, se considera una fuente fija de jurisdicción federal, razón por la cual, contará con los equipos de control necesarios para la reducción de contaminantes, además de observar lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas aplicables y que más adelante se describirán, con el propósito de evidenciar el cumplimiento a dicha regulación ante esa autoridad.
"ARTÍCULO 111 BIS. - Para la operación y funcionamiento de las fuentes fijas de jurisdicción federal que emitan o puedan emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, se requerirá autorización de la Secretaría. Para los efectos a que se refiere esta Ley, se consideran fuentes fijas de jurisdicción federal, las industrias químicas, del petróleo y petroquímica, de pinturas y tintas, automotriz, de celulosa y papel, metalúrgica, del vidrio, de generación de energía eléctrica, del asbesto, cementera y calera y de tratamiento de residuos peligrosos. El reglamento que al efecto se expida determinará los subsectores específicos pertenecientes a cada uno	Dada la naturaleza del Proyecto y las actividades que se realizarán, si se considera como una fuente fija de jurisdicción federal, por lo que, de acuerdo con lo señalado en el presente artículo, se observará lo dispuesto en el Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.

Versión Publica

Artículo	Vinculación con el proyecto
de los sectores industriales antes señalados, cuyos establecimientos se sujetarán a las disposiciones de la legislación federal, en lo que se refiere a la emisión de contaminantes a la atmósfera."	
"Artículo 151.- La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera. En el caso de que se contrate los servicios de manejo y disposición final de los residuos peligrosos con empresas autorizadas por la Secretaría y los residuos sean entregados a dichas empresas, la responsabilidad por las operaciones será de éstas independientemente de la responsabilidad que, en su caso, tenga quien los generó."	Durante todas las etapas de Proyecto, se atenderá lo dispuesto en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento, así como a lo previsto en la normatividad aplicable. En tal sentido, se llevará un adecuado manejo de éstos de acuerdo con lo que se establezca en los distintos ordenamientos para un adecuado manejo desde la generación de los residuos hasta su disposición final, por lo que, en líneas posteriores, se evidenciará la forma en que se cumplirá durante todas las etapas del proyecto.

3.1.4 Ley General de Vida Silvestre

La presente Ley reglamentaria del párrafo tercero del artículo 27 y de la fracción XXIX, inciso G del artículo 73 constitucionales. Su objeto es establecer la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los Estados y de los Municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, relativas a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat en el territorio de la República Mexicana y en las zonas donde la Nación ejerce su jurisdicción.

Debido a su ámbito de aplicación, a continuación se vincula con el proyecto los artículos que se han considerado guardan relación con el mismo.

Tabla 3.4 Vinculación del Proyecto con la Ley General de Vida Silvestre

Artículo	Vinculación con el proyecto
"Artículo 4°. Es deber de todos los habitantes del país conservar la vida silvestre, queda prohibido cualquier acto que implique su destrucción, daño o perturbación, en perjuicio de los intereses de la Nación. Los propietarios o legítimos poseedores de los predios en donde se distribuye la vida silvestre tendrán derechos de aprovechamiento sustentable sobre sus ejemplares, partes y derivados en los términos prescritos en la presente Ley y demás disposiciones aplicables. Los derechos sobre los recursos genéticos estarán sujetos a los tratados internacionales y a las disposiciones sobre la materia".	Para dar cumplimiento con lo establecido en el presente artículo, se realizará un Programa de Prevención Ambiental realizado para la construcción de la planta del cliente. Cabe señalar que el proyecto no tiene por objeto el aprovechamiento de ningún tipo de vida silvestre.
"Artículo 18. Los propietarios y legítimos poseedores de predios en donde se distribuye la vida silvestre tendrán el derecho a realizar su aprovechamiento sustentable y la obligación de contribuir a conservar el hábitat conforme a lo establecido en la presente Ley; asimismo podrán transferir esta prerrogativa a terceros, conservando	En el caso del proyecto, no se contempla el aprovechamiento, uso o manejo de flora y fauna silvestre, ya que las actividades se limitan al aprovechamiento energético del biogás dentro de un relleno sanitario previamente impactado. Además, el sitio no presenta condiciones de hábitat natural ni presencia significativa de especies silvestres, por lo que no se generan acciones que impliquen

Versión Publica

Artículo	Vinculación con el proyecto
el derecho a participar de los beneficios que se deriven de dicho aprovechamiento. Los propietarios y legítimos poseedores de dichos predios, así como los terceros que realicen el aprovechamiento, serán responsables solidarios de los efectos negativos que éste pudiera tener para la conservación de la vida silvestre y su hábitat."	responsabilidad sobre su aprovechamiento o conservación en los términos que establece el artículo. El proyecto no realiza actividades de aprovechamiento de vida silvestre ni interviene en ecosistemas naturales; sin embargo, se reconoce de manera indirecta el cumplimiento del principio de no afectación, al desarrollarse en un área ya degradada y sin impacto adicional sobre la biodiversidad.
"Artículo 19. Las autoridades que, en el ejercicio de sus atribuciones, deban intervenir en las actividades relacionadas con la utilización del suelo, agua y demás recursos naturales con fines agrícolas, ganaderos, piscícolas, forestales y otros, observarán las disposiciones de esta Ley y las que de ella se deriven, y adoptarán las medidas que sean necesarias para que dichas actividades se lleven a cabo de modo que se eviten, prevengan, reparen, compensen o minimicen los efectos negativos de las mismas sobre la vida silvestre y su hábitat. (...)"	La observancia del presente artículo corresponde a las autoridades a las que se encuentra dirigido su cumplimiento, sin embargo, para efectos de coadyuvar a su observancia, como ya se ha mencionado, se contará con un programa, el cual se ha detallado en el capítulo VI de la presente MIA-P.
"Artículo 106. Sin perjuicio de las demás disposiciones aplicables, toda persona que cause daños a la vida silvestre o su hábitat, en contravención de lo establecido en la presente Ley o en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, estará obligada a reparar los en los términos del Código Civil para el Distrito Federal en materia del Fuero Común y para toda la República en materia del Fuero Federal, así como en lo particularmente previsto por la presente Ley y el reglamento. Los propietarios y legítimos poseedores de los predios, así como los terceros que realicen el aprovechamiento, serán responsables solidarios de los efectos negativos que éste pudiera tener para la conservación de la vida silvestre y su hábitat."	Al respecto durante todas las etapas del proyecto se ejecutarán programas y medidas tendientes a atenuar, mitigar y compensar los impactos que con motivo de su ejecución se ocasionen. Asimismo, se instrumentarán y ejecutarán dichos programas, los cuales se encuentran descritos en el capítulo VI de la presente MIA-P.

Versión Publica

3.1.5 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Peligrosos

La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el derecho a toda persona a medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación, así como el establecimiento de diversas bases, por lo que el promovente ha observado diversas disposiciones ponderando la siguiente vinculación:

Tabla 3.5 Vinculación del Proyecto con la LGPGIR

Artículo	Vinculación con el proyecto
"Artículo 16. La clasificación de un residuo como peligroso, se establecerá en las normas oficiales mexicanas que especifiquen la forma de determinar sus características, que incluyan los listados de estos y fijen los límites de concentración de las sustancias contenidas en ellos, con base en los conocimientos científicos y las evidencias acerca de su peligrosidad y riesgo."	El proyecto se ajusta al precepto establecido en el artículo en cita, ya que de los residuos que se generen, se propone en la presente modificación un Programa de Manejo Integral de Residuos en línea con el previamente aprobado. En él se proponen las acciones de identificación, clasificación y disposición final de los mismos acordes a la normatividad aplicable, dando así cumplimiento a dicha disposición. Los residuos serán almacenados de acuerdo con su clasificación en contenedores rotulados y cerrados, se vigilará que estos contenedores se mantengan en buen estado, tapados y en áreas alejadas designadas.
"Artículo 19. Los residuos de manejo especial se clasifican como se indica a continuación, salvo cuando se trate de residuos considerados como peligrosos en esta Ley y en las normas oficiales mexicanas correspondientes: (…) **VII.** Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general; (…)"	El Programa de Manejo Integral de Residuos, descrito en el capítulo VI de la presente MIA-P, considera el manejo de los residuos peligrosos, de manejo especial y sólidos urbanos. Por lo que en tal sentido el manejo de estos al momento de su generación, no permanecerán por periodos mayores a 6 meses en almacenamiento temporal y su disposición final será por medio de empresas debidamente autorizadas y sitios de disposición final con sus autorizaciones correspondientes para tal efecto. Se llevará a cabo la recolección y la disposición final de los residuos de manejo especial, residuos peligrosos y residuos sólidos urbanos por proveedores autorizados.
"Artículo 21.- Con objeto de prevenir y reducir los riesgos a la salud y al ambiente, asociados a la generación y manejo integral de residuos peligrosos, se deberán considerar cuando menos alguno de los siguientes factores que contribuyan a que los residuos peligrosos constituyan un riesgo: **I.** La forma de manejo; **II.** La cantidad; **III.** La persistencia de las sustancias tóxicas y la virulencia de los agentes infecciosos contenidos en ellos; **IV.** La capacidad de las sustancias tóxicas o agentes infecciosos contenidos en ellos, de movilizarse hacia donde se encuentren seres vivos o cuerpos de agua de abastecimiento; **V.** La biodisponibilidad de las sustancias tóxicas contenidas en ellos y su capacidad de bioacumulación; **VI.** La duración e intensidad de la exposición, y **VII**. La vulnerabilidad de los seres humanos y demás organismos vivos que se expongan a ellos."	Con la intención de prevenir y reducir los riesgos a la salud y al ambiente, que pudieran generarse por la producción de residuos durante el desarrollo del proyecto, se implementará el Programa de Manejo Integral de Residuos descrito en el capítulo VI, en el que se considerarán los factores de riesgo citados, con la finalidad de prevenir cualquier eventualidad ya sea de carácter ambiental o salud humana, tales acciones serán difundidas entre todos y cada uno de los actores participantes en el proyecto. El procedimiento considera: - Forma de manejo: separación en contenedores rotulados y cerrados. - Cantidad: Registro en bitácoras de generación y almacenamiento y manifiestos de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos. - Persistencia y toxicidad: Clasificación de residuos de acuerdo con sus características CRIT y almacenamiento temporal no mayor

Versión Publica

Artículo	Vinculación con el proyecto
	a 6 meses. (Durante ninguna de las etapas se prevé la generación de RPBI). - Prevención de movilización y exposición: Almacenamiento en áreas controladas y retiro por empresas autorizadas.
"**Artículo 40.-** Los residuos peligrosos deberán ser manejados conforme a lo dispuesto en la presente Ley, su Reglamento, las normas oficiales mexicanas y las demás disposiciones que de este ordenamiento se deriven. En las actividades en las que se generen o manejen residuos peligrosos, se deberán observar los principios previstos en el artículo 2 de este ordenamiento, en lo que resulten aplicables."	Para el cumplimiento de dicho artículo, dentro de las acciones ambientales que se han considerado para el proyecto, se implementará un Programa de Manejo Integral de Residuos Peligrosos, el cual se ha realizado en observancia de la normatividad (NOM´s) y legislación aplicable, a fin de prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente, el cual está incluido en la presente MIA-P. (Véase el Capítulo VI). Este programa contempla la identificación, clasificación y almacenamiento temporal en contenedores que se encuentren en buen estado, los cuales deben de estar rotulados y tapados , colocados en áreas designadas, además se asegurará que el almacenamiento no supere el plazo legal, por otra parte la recolección y transporte de los residuos será mediante empresas autorizadas, asegurando que en cada retiro se residuos se pida un manifiesto el cual deberá de estar firmado por el proveedor y se llevar un registro a través de una bitácora de residuos.
"Artículo 41.- Los generadores de residuos peligrosos y los gestores de este tipo de residuos, deberán manejarlos de manera segura y ambientalmente adecuada conforme a los términos señalados en esta Ley."	Se establecerá un plan de manejo integral enfocado en garantizar la seguridad y la protección ambiental durante todo el ciclo de los residuos. El documento define responsabilidades precisas para el Coordinador de Regulación y Normatividad y el Supervisor de Producción, quienes aseguran la implementación del plan. El plan considera un manejo integral que abarca reducción en la fuente, separación, almacenamiento, transporte y disposición final de los residuos peligrosos de forma segura, usando contenedores en buen estado y en áreas autorizadas. Asimismo, se establecen bitácoras de generación, manifiestos de recolección, auditorías internas y la existencia de recintos de almacenamiento temporal acondicionados para prevenir cualquier riesgo de contaminación. En conjunto, estas medidas garantizan que los residuos sean manejados conforme a los términos establecidos en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), cumpliendo el Artículo 41.
"Artículo 42.- Los generadores y demás poseedores de residuos peligrosos, podrán contratar los servicios de manejo de estos residuos con empresas o gestores autorizados para tales efectos por la Secretaría, o bien transferirlos a industrias para su utilización	El PMIR establece que la gestión de residuos contempla la contratación de empresas debidamente autorizadas para realizar la disposición final, conforme a la legislación ambiental aplicable. Se indica que los residuos, tanto peligrosos como de

Versión Publica

Artículo	Vinculación con el proyecto
como insumos dentro de sus procesos, cuando previamente haya sido hecho del conocimiento de esta dependencia, mediante un plan de manejo para dichos insumos, basado en la minimización de sus riesgos. La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera. En el caso de que se contraten los servicios de manejo y disposición final de residuos peligrosos por empresas autorizadas por la Secretaría y los residuos sean entregados a dichas empresas, la responsabilidad por las operaciones será de éstas, independientemente de la responsabilidad que tiene el generador. Los generadores de residuos peligrosos que transfieran éstos a empresas o gestores que presten los servicios de manejo, deberán cerciorarse ante la Secretaría que cuentan con las autorizaciones respectivas y vigentes, en caso contrario serán responsables de los daños que ocasione su manejo."	manejo especial, se entregarán a empresas con permisos vigentes garantizando trazabilidad y cumplimiento. Además, el plan contempla bitácoras de generación y manifiestos de recolección, que documentan cada transferencia de residuos y sirven para verificar las autorizaciones de los gestores involucrados. Las responsabilidades están definidas: el Supervisor de Producción se encarga del registro y supervisión, mientras que el Coordinador de Regulación y Normatividad verifica la correcta aplicación del plan, cumpliendo así con la responsabilidad del generador y la obligación de verificar la legalidad de los gestores contratados.
"Artículo 54.- Se deberá evitar la mezcla de residuos peligrosos con otros materiales o residuos para no contaminarlos y no provocar reacciones, que puedan poner en riesgo la salud, el ambiente o los recursos naturales. La Secretaría establecerá los procedimientos a seguir para determinar la incompatibilidad entre un residuo peligroso y otro material o residuo."	La identificación y clasificación de residuos peligrosos generados durante el desarrollo de las diferentes obras sujetas a evaluación se llevarán a cabo de a la normatividad aplicable y atendiendo al artículo en comento. El Programa de manejo integral de residuos contempla desde la generación hasta la disposición final, garantizando que ningún tipo de residuo se mezcle. Estos serán identificados, clasificados y almacenados temporalmente en contenedores rotulados y tapados.

Versión Publica

3.2 Reglamentos Federales

3.2.1 Reglamento de la Ley de Biocombustibles

El Reglamento de la Ley de Biocombustibles tiene por objeto desarrollar y precisar las disposiciones establecidas en la Ley, definiendo los procedimientos administrativos, requisitos técnicos, atribuciones de las autoridades competentes y lineamientos operativos aplicables a la producción, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de biocombustibles en el territorio nacional.

Dicho Reglamento establece los mecanismos para asegurar que las actividades relacionadas con biocombustibles se realicen bajo criterios de seguridad industrial, eficiencia energética, trazabilidad de insumos y cumplimiento ambiental, así como las disposiciones para la obtención de permisos y autorizaciones correspondientes ante las autoridades del sector energético.

Tabla 3.6 Vinculación con el Reglamento de la Ley de Biocombustibles

Artículo	Vinculación
Artículo 1. El presente Reglamento es de observancia general en los Estados Unidos Mexicanos y tiene por objeto establecer las disposiciones que regulan la Ley de Biocombustibles y las actividades de Producción, Almacenamiento, Transporte, importación, exportación, Comercialización, Distribución y el Expendio al Público de Biocombustibles.	El proyecto de "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" se vincula directamente con lo establecido en este artículo, toda vez que contempla la producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos mediante procesos biológicos, actividad que forma parte del sector de los biocombustibles regulado por este marco normativo. El desarrollo del proyecto contribuye al aprovechamiento energético de biomasa y al impulso de combustibles renovables, alineándose con el objeto del Reglamento al promover la producción y manejo de biocombustibles bajo criterios de regulación, control y sustentabilidad.
Artículo 27. Las solicitudes de permisos se deben presentar en los formatos autorizados por la SENER, y deben detallar para cada caso, al menos, la siguiente información además de lo previsto en la Ley, el Reglamento y demás normatividad aplicable: (…) IV. En su caso, acuse de recepción o autorización en materia de impacto ambiental, emitida por la autoridad competente, así como cualquier documento que lo modifique o sustituya; (…)	Dada la naturaleza del Proyecto, al contemplar la producción de biocombustibles, éste se somete al procedimiento de evaluación de impacto ambiental mediante la presentación de la presente MIA-P, en términos de lo dispuesto en el artículo 6, fracción VI de la Ley de Biocombustibles, en correlación con lo establecido en el artículo 28, fracción XIII de la LGEEPA, que prevén la evaluación ambiental de las obras y actividades relacionadas con la producción y manejo de bioenergéticos.
Artículo 36. El Permiso de Producción de Biocombustibles es otorgado para realizar las actividades y los procesos de acondicionamiento y transformación necesarios para el Aprovechamiento de la Biomasa como Biocombustible en un volumen e instalaciones determinadas y puede incluir las actividades de Almacenamiento en las instalaciones donde se producen y la interconexión con sistemas de Transporte o Distribución.	Sobre el particular, el Promovente ha presentado ante la Secretaría de Energía la solicitud de Permiso para la producción de biocombustibles, señalando que no se llevará a cabo ninguna obra o actividad relacionada con el proyecto hasta en tanto no se cuente con la autorización correspondiente en materia de impacto ambiental emitida por la autoridad competente.

Versión Pública

3.2.2 Reglamento de la Ley de Planeación y Transición Energética

El Reglamento de la Ley de Transición Energética desarrolla las bases establecidas en la Ley para la planeación e implementación de políticas públicas orientadas al incremento de energías limpias, la eficiencia energética y la reducción de emisiones en el sector energético nacional.

Este ordenamiento define los mecanismos de seguimiento, evaluación y cumplimiento de metas de participación de energías limpias, así como los criterios técnicos y administrativos para la integración de proyectos que contribuyan a la transición energética del país, en congruencia con la planeación nacional del desarrollo.

Tabla 3.7 Vinculación con el Reglamento de la Ley de Planeación y Transición Energética

Artículo	Vinculación
Artículo 1. El presente Reglamento es de observancia general en los Estados Unidos Mexicanos y tiene por objeto reglamentar las disposiciones de la Ley de Planeación y Transición Energética en lo que se refiere a la planeación vinculante del Sector Energético, el fortalecimiento de la Transición Energética, así como el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, las obligaciones en materia de Energías Limpias y la reducción de emisiones contaminantes, manteniendo la competitividad de los sectores productivos, con el fin de contribuir con la soberanía, justicia y autosuficiencia energética	El Proyecto se vincula con lo establecido en este artículo, toda vez que contempla la producción de un biocombustible a partir del aprovechamiento energético de residuos orgánicos, lo que contribuye al uso sustentable de la energía y a la diversificación de las fuentes energéticas. Asimismo, el aprovechamiento y valorización del biogás para la generación de biometano favorece la reducción de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero, alineándose con los objetivos de transición energética y sostenibilidad establecidos en el Reglamento. Por lo anterior, el desarrollo del proyecto es compatible con las disposiciones del Reglamento de la Ley de Planeación y Transición Energética, al promover el uso de energías limpias, el aprovechamiento sustentable de recursos energéticos y la implementación de tecnologías que contribuyen a la mitigación de emisiones y al fortalecimiento del sector energético nacional.
Artículo 2. La planeación vinculante del Sector Energético la realiza la Secretaría de Energía y se materializa mediante lo establecido en los Instrumentos de Planeación del Sector Energético y el cumplimiento de las disposiciones administrativas de carácter general para la planeación vinculante que esta expida. La Secretaría de Energía cuenta con el apoyo del Consejo de Planeación Energética para la coordinación y seguimiento de la planeación vinculante.	
Artículo 22. Los Instrumentos de Planeación del Sector Energético constituyen los documentos rectores de la política energética nacional. Estos permiten a la Secretaría ordenar la planeación del Sector Energético en un horizonte de corto, mediano y largo plazo. La planeación de corto plazo debe cubrir seis años, la de mediano plazo quince años, y la de largo plazo como mínimo treinta años. Los contenidos de corto plazo que derivan de estos instrumentos realizados al inicio de cada periodo del Ejecutivo Federal deben corresponder al periodo de su encargo.	El presente Proyecto se alinea con lo establecido en el PROSENER, por lo que se vincula el apartado correspondiente con el propósito de evidenciar su congruencia con los objetivos y directrices establecidos en dicho instrumento de planeación del sector energético.
Artículo 27. Las estrategias, líneas de acción, programas y proyectos previstos en los Instrumentos de Planeación del Sector Energético constituyen las políticas públicas de la Secretaría para alcanzar las metas establecidas en la planeación vinculante del Sector Energético.	
Artículo 36. La Estrategia es el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo en materia de Transición Energética, Aprovechamiento Sustentable de la Energía, Eficiencia Energética, Energías Limpias, Justicia Energética, innovación, desarrollo tecnológico y formación de los recursos humanos del Sector Energético. La Estrategia debe contener, además de lo señalado en el artículo 24 de la Ley, los elementos que se indican a continuación: I. Marco normativo del Sector Energético; II.	A través del presente Proyecto coadyuva con el cumplimiento del presente artículo, al contribuir con la descarbonización energética promoviendo el uso de energías limpias a través del consumo de un biocombustible generado a partir de residuos orgánicos.

Versión Pública

Artículo	Vinculación
Diagnóstico del Sector Energético; III. Escenarios de mediano y largo plazo del Sector Energético; IV. Objetivos, estrategias y líneas de acción; V. Indicadores y metas, y VI. Anexos	

3.2.3 Reglamento de la LGPGIR

El presente ordenamiento tiene por objeto reglamentar la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la Nación ejerce su jurisdicción y su aplicación corresponde al Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En observancia del presente Reglamento se vincula el proyecto con las siguientes disposiciones.

Tabla 3.8 Vinculación del Proyecto con el Reglamento de la LGPGIR

Artículo	Vinculación con el proyecto
Capítulo IV, Criterios de Operación en el Manejo Integral de Residuos Peligrosos Artículos 82, 83 y 84, de la Sección I, Almacenamiento y centros de acopio de residuos peligrosos.	La vinculación de esta Ley con el proyecto, se orienta al cumplimiento de los preceptos establecidos prioritariamente en la etapa constructiva, que es en la etapa que se generará mayor volumen de residuos, ya que en la etapa operativa habrá una disminución drástica en tanto que los pocos residuos que se generen serán provenientes de los trabajos de mantenimiento, por lo que éstos serán manejados en observancia de las los artículos citados así como en lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas que sean aplicables. Los residuos generados serán almacenados temporalmente en contenedores rotulados con tapa y alejados de las áreas administrativas y operativas. Además, se asegurará que el almacenamiento no supere el plazo legal.
Artículos 85 y 86, de la Sección II, Recolección y Transporte de Residuos Peligrosos	Durante las etapas del proyecto se ejecutará el PMIR donde describe de forma estructurada el proceso de recolección y transporte de los residuos generados. Se establece que la empresa contará con recintos acondicionados para el almacenamiento temporal, con un tiempo máximo de resguardo de seis meses, asegurando el control ambiental y la prevención de fugas o derrames. El documento también señala que la recolección será realizada por terceros autorizados, mediante manifiestos de transporte, garantizando así la trazabilidad del movimiento de residuos hasta su disposición final.
"Artículo 87. Los envases que hayan estado en contacto con materiales o residuos peligrosos podrán ser reutilizados para contener el mismo tipo de materiales o residuos peligrosos u otros compatibles con los envasados originalmente, siempre y cuando	El PMIR identifica de forma explícita los envases, botes, cubetas, trapos y guantes contaminados como residuos peligrosos y define su destino dentro del

Versión Pública

Artículo	Vinculación con el proyecto
dichos envases no permitan la liberación de los materiales o residuos peligrosos contenidos en ellos. (…)"	esquema de valorización o disposición final mediante gestores autorizados. Estos materiales se registran en las bitácoras de generación de residuos y se entregan para tratamiento o disposición, lo que evita su liberación al ambiente y cumple con la obligación de garantizar la contención segura. Además, se establece la gestión controlada de los envases contaminados, asegurando que no se mezclen ni se reutilicen de manera inadecuada. Se realizará el manejo integral de los residuos, que incluye la separación, clasificación y almacenamiento individualizado de los residuos según su tipo (peligrosos o de manejo especial). Este control operativo previene mezclas incompatibles durante las etapas de almacenamiento y recolección.
"Artículo 88.- La Secretaría expedirá las normas oficiales mexicanas que establezcan los criterios y procedimientos técnicos para determinar la incompatibilidad entre un residuo peligroso y otro material o residuo, con la finalidad de evitar mezclas. En tanto no se expidan esas normas oficiales mexicanas, los interesados podrán efectuar los análisis correspondientes para determinar dicha incompatibilidad conforme a la Ley Federal de Metrología y Normalización."	
Artículo 90, de la Sección IV, Tratamiento de residuos peligrosos	El PMIR da cumplimiento a este artículo al incluir dentro del concepto de manejo integral una amplia gama de opciones de tratamiento: reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, además del acopio, almacenamiento y disposición final. El documento establece que cada tratamiento se seleccionará con base en las condiciones específicas de cada sitio y en la naturaleza del residuo.
Artículos 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98 y 99 de la Sección V, Disposición final de residuos peligrosos	La empresa que preste sus servicios durante las etapas de desarrollo del proyecto deberá darle una disposición final a los residuos que se generen, en cumplimiento de las disposiciones jurídicas citadas, precisando que el almacenamiento de residuos peligrosos será temporal, sin que se exceda del periodo permitido de 6 meses. Se realizarán las maniobras para retirar estos residuos, para posteriormente transportarlos y disponer de estos de acuerdo con las normas aplicables. Se solicitará el manifiesto al proveedor de cada una de las ocasiones en la que son retirados estos residuos y se hará el registro de los manifiestos.

Version Publica

3.3 Instrumentos de Planeación alineados al Plan Nacional de Desarrollo

3.3.1 Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030

El Eje General 4 "Desarrollo Sustentable" del Plan Nacional de Desarrollo (PND) establece como prioridad nacional la construcción de un modelo de desarrollo que garantice el equilibrio entre el crecimiento económico, el bienestar social y la protección ambiental, con el objetivo de preservar los recursos naturales y evitar daños irreversibles al medio ambiente. Este enfoque reconoce que el desarrollo del país debe realizarse bajo principios de justicia ambiental, disminución de la huella ecológica y respeto a los ciclos naturales que sustentan la vida.

Dentro de este eje estratégico se plantea la necesidad de impulsar políticas públicas orientadas a la transición energética, el uso sustentable de los recursos naturales y la reducción de emisiones contaminantes, promoviendo la integración de fuentes de energía renovables en la matriz energética nacional. Asimismo, se reconoce la importancia de fortalecer la economía circular mediante el aprovechamiento energético de residuos orgánicos, el reciclaje de materiales y la gestión eficiente de los residuos, con el propósito de reducir la contaminación y optimizar el uso de los recursos.

El eje también establece que la soberanía energética del país debe alcanzarse bajo un enfoque de sustentabilidad ambiental, fomentando el desarrollo de tecnologías limpias, la innovación en el sector energético y la diversificación de las fuentes de generación de energía. En este sentido, se reconoce la necesidad de acelerar la transición hacia energías renovables y reducir la dependencia de combustibles fósiles, a fin de contribuir al cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de cambio climático.

Adicionalmente, el PND señala la importancia de fortalecer la protección de los ecosistemas, el cumplimiento de la normatividad ambiental y el desarrollo de infraestructura sustentable que permita equilibrar el crecimiento económico con la conservación del patrimonio natural del país.

El proyecto de "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y $BioCO_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" se vincula con los principios establecidos en el Eje General 4 "Desarrollo Sustentable", toda vez que promueve el aprovechamiento energético de residuos orgánicos mediante procesos biológicos, contribuyendo al desarrollo de esquemas de economía circular y a la reducción de impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de residuos.

La producción de biometano comprimido y $BioCO_2$ liquido constituye una alternativa energética renovable que permite valorizar residuos orgánicos y generar un combustible limpio, lo cual contribuye a disminuir emisiones de gases de efecto invernadero, reducir la dependencia de combustibles fósiles y fomentar la diversificación de la matriz energética nacional. De igual forma, el proyecto incorpora tecnologías que favorecen el uso eficiente de los recursos y la mitigación de impactos ambientales, en congruencia con los principios de sustentabilidad y responsabilidad ambiental promovidos por el Plan Nacional de Desarrollo.

En este sentido, el desarrollo del proyecto contribuye al cumplimiento de los objetivos del Eje General 4, al promover un modelo energético más sustentable, impulsar el aprovechamiento responsable de los recursos naturales y fomentar el uso de tecnologías que permiten reducir la huella ambiental del sector energético.

3.3.2 Programa Sectorial de Energía (PROSENER)

6.2 Relevancia del objetivo 2: Impulsar proyectos estratégicos de energías renovables, el fomento a la eficiencia energética, y la innovación tecnológica para mitigar el impacto ambiental y reducir la dependencia de combustibles fósiles, priorizando regiones y sectores históricamente marginados

El Programa Sectorial de Energía (PROSENER) establece en su Objetivo 6.2 el impulso a proyectos estratégicos de energías renovables, el fomento a la eficiencia energética y el desarrollo de innovación tecnológica como mecanismos para mitigar el impacto ambiental asociado a la generación y uso de la energía, así como para reducir la dependencia de combustibles fósiles en el país.

Versión Pública

Este objetivo reconoce que, si bien el gas natural continúa siendo el principal energético utilizado en la generación eléctrica en México, la participación de energías limpias ha ido incrementándose, alcanzando aproximadamente 24.32% de la generación en 2024, lo cual evidencia la necesidad de fortalecer la transición energética mediante el desarrollo de tecnologías y proyectos que promuevan el aprovechamiento de fuentes renovables

Asimismo, el objetivo se encuentra alineado con el Plan Nacional de Desarrollo (PND), particularmente con el Eje 4 "Desarrollo sustentable" y el Eje transversal de innovación tecnológica, los cuales establecen como prioridad la sustitución progresiva de combustibles fósiles por energías renovables, la promoción de tecnologías limpias y el aprovechamiento sustentable de los recursos energéticos del país. En este contexto, el PROSENER impulsa la integración de energías limpias en las cadenas de valor del sector energético, la generación para autoconsumo en los sectores productivos y el desarrollo de infraestructura energética más eficiente y sostenible.

De igual forma, el programa establece la importancia de fortalecer la eficiencia energética en los procesos productivos y en el consumo final de energía, mediante el desarrollo de tecnologías más eficientes, el fortalecimiento de la normatividad en materia de eficiencia energética y la promoción de una cultura de uso racional de los recursos energéticos.

El proyecto de "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" se vincula directamente con lo establecido en el Objetivo 6.2 del PROSENER, toda vez que contempla la producción de un combustible renovable mediante el aprovechamiento energético de residuos orgánicos, lo que contribuye al desarrollo de proyectos estratégicos de energías renovables y al fortalecimiento de la transición energética en el país.

El biometano constituye una alternativa energética que permite valorizar residuos orgánicos y generar energía limpia, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la disminución de la dependencia de combustibles fósiles convencionales. Asimismo, el proyecto incorpora procesos tecnológicos que permiten el aprovechamiento eficiente de la biomasa, alineándose con los principios de eficiencia energética y desarrollo tecnológico promovidos por el PROSENER.

En este sentido, el desarrollo del proyecto coadyuva al cumplimiento de los objetivos de política energética nacional, al fomentar el uso de fuentes de energía renovable, impulsar la innovación tecnológica en el sector energético y promover el aprovechamiento sustentable de los recursos energéticos, en congruencia con los lineamientos establecidos en el Programa Sectorial de Energía y el Plan Nacional de Desarrollo.

3.4 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Artículo 4° Constitucional

[…]

Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.

[…]

Versión Publica

El proyecto "Planta de Generación de Biometano", además de contribuir al desarrollo económico del estado de Chihuahua, propone en todas sus etapas de ejecución medidas de prevención y mitigación de los impactos negativos inherentes al mismo, con el objetivo de mantenerlos al mínimo. Dando cumplimiento a las leyes y reglamentos en todos los niveles a los que aplique y atendiendo los requerimientos a que sea acreedor.

3.5 Leyes generales, federales y sus reglamentos

Tabla 3.9 Vinculación con leyes generales, federales y sus reglamentos

Ley general, federal o reglamento	Vinculación con el proyecto
Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)	SECCION V Evaluación del Impacto Ambiental ARTÍCULO 28.- La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente, preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Para ello, en los casos en que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría: ..." ARTÍCULO 30.- Para obtener la autorización a que se refiere el artículo 28 de esta Ley, los interesados deberán presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental, la cual deberá contener, por lo menos, una descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o actividad de que se trate, considerando el conjunto de los elementos que conforman dichos ecosistemas, así como las medidas preventivas, de mitigación y las demás necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente. Cuando se trate de actividades consideradas altamente riesgosas en los términos de la presente Ley, la manifestación deberá incluir el estudio de riesgo correspondiente. Bajo lo anteriormente establecido BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. en cumplimiento con sus obligaciones tuvo a bien desarrollar el presente Manifiesto de Impacto Ambiental modalidad Particular (MIA-P) para el proyecto "Planta de Generación de Biometano", el cual incluye un Estudio de Riesgo (ER).
Ley General de Vida Silvestre (LGVS)	"…relativa a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat en el territorio de la República Mexicana y en las zonas en donde la Nación ejerce su jurisdicción. El aprovechamiento sustentable de los recursos forestales maderables y no maderables y de las especies cuyo medio de vida total sea el agua, será regulado por las leyes forestal y de pesca, respectivamente, salvo que se trate de especies o poblaciones en riesgo. El proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" no se contemplan actividades que impliquen el aprovechamiento, extracción, captura, traslado o comercialización de

Versión Publica

Ley general, federal o reglamento	Vinculación con el proyecto
	especies de flora o fauna silvestre. Adicionalmente, el proyecto se desarrolla dentro de un relleno sanitario previamente impactado, donde no existen condiciones de hábitat natural ni presencia significativa de fauna nativa, y no se identificaron especies listadas en la NOM-059. Por lo tanto, no se prevé afectación directa a poblaciones silvestres ni a sus hábitats. Sin embargo, el proyecto se reconoce su cumplimiento de manera indirecta, al no generar impactos sobre la biodiversidad ni promover acciones contrarias a su conservación.
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR)	Tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación. El proyecto de la "Planta de Generación de Biometano" contempla durante todas las etapas del proyecto contar con un plan de manejo integral de los residuos, así como medidas preventivas y de mitigación que permitan reducir al mínimo los impactos producidos por la generación de dichos residuos.
Ley General de Cambio Climático (LGCC)	"…establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático. Es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de protección al ambiente, desarrollo sustentable, preservación y restauración del equilibrio ecológico. El proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" en todas sus etapas contemplará medidas preventivas y de mitigación encaminadas al cumplimiento de las metas de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), cabe mencionar que para la etapa de operación y mantenimiento que es la etapa más extensa en tiempo, se contará con procedimientos de detección y atención a fugas. Por otro lado, se proponen medidas acordes a las etapas del proyecto para la gestión adecuada de los residuos que se prevean puedan llegar a generarse.
Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB)	Se cumple con lo establecido, debido a que como se menciona en la fracción II del artículo 13 se somete a evaluación de impacto ambiental la presente instalación para el aprovechamiento de bioenergéticos, al ser un gas que se obtiene por la conversión biológica de la biomasa como resultado de su descomposición y aprovecharse como un bioenergético.
Reglamento de la ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA)	CAPÍTULO II De las obras o actividades que requieren autorización en materia de impacto ambiental y de las excepciones. BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. en cumplimiento con el art. 4° en cuanto a la competencia de la autoridad federal, por conducto de la SEMARNAT para evaluar el impacto ambiental y emitir las resoluciones correspondientes considerando según lo dispuesto por el art. 5°: F) Industria Química:

Versión Pública

Ley general, federal o reglamento	Vinculación con el proyecto
	Construcción de parques o plantas industriales para la fabricación de productos químicos orgánicos; así como almacenamiento y distribución de sustancias químicas. En cuanto a los art.10° y 12° la presente manifestación de impacto ambiental en su modalidad particular y conforme lo señalado en el art. 17° se incluirá el Estudio de Riesgo Ambiental (ERA) señalado bajo el mencionado Reglamento.
Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre (RLGVS)	Durante el levantamiento en sitio y con base a información del SNIB de CONABIO, en el proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" no se identificó algún ejemplar enlistado en la NOM-059-SEMARNAT- 2010. En relación con el proyecto, no se contemplan actividades que impliquen el manejo, aprovechamiento, traslado o afectación directa de especies de flora y fauna silvestre. Además, el sitio se encuentra previamente impactado y no presenta condiciones de hábitat natural que alberguen poblaciones relevantes de vida silvestre, ni se identificaron especies bajo alguna categoría de protección. Por lo tanto, no se considera vinculante, ya que el proyecto no se encuentra dentro del ámbito de aplicación directo de este reglamento.
Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (RLGPGIR)	El proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" contemplará durante todas las etapas del proyecto las medidas preventivas y de mitigación que permitan reducir al mínimo los impactos producidos por la generación de dichos residuos.
Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones (RNE)	El proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" en todas sus etapas contemplará medidas preventivas y de mitigación encaminadas al cumplimiento de las metas de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), cabe mencionar que para la parte de operación y mantenimiento que es la etapa más extensa en tiempo, se contará con procedimientos de detección y atención a fugas. Por otro lado, se proponen medidas acordes a las etapas del proyecto para la gestión adecuada de los residuos que se prevean puedan llegar a generarse.

Versión Pública

3.6 Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

Tabla 3.10 Normas Oficiales Mexicanas aplicables

Norma	Vinculación con el proyecto
NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.	BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. en cuanto a su prospección futura, no rebasará los criterios establecidos en la norma. La "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" contempla durante las etapas pertinentes del proyecto las medidas preventivas y de mitigación que permitan reducir al mínimo los impactos

Norma	Vinculación con el proyecto
	producidos por la generación de dichos residuos durante todas las etapas del proyecto.
NOM-161-SEMARNAT-2011: Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.	BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. en cuanto a su prospección futura, no rebasará los criterios establecidos en la norma. La "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" contempla durante las etapas pertinentes del proyecto las medidas preventivas y de mitigación que permitan reducir al mínimo los impactos producidos por la generación de dichos residuos durante las etapas de construcción y desmantelamiento.
NOM-002-STPS-2010: Condiciones de seguridad- Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.	El proyecto de "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" se apegará a los criterios establecidos en las normas enlistadas, una vez que inicie la etapa de operación y mantenimiento. Aunado a lo anterior se dará capacitación constante al personal que labore en el desarrollo del proyecto en temas se seguridad e higiene en los centros de trabajo.
NOM-005-STPS-1998: Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.	BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. se apegará a las condiciones de seguridad e higiene para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas, para prevenir y proteger la salud de los trabajadores y evitar daños al centro de trabajo según lo describe la norma.
NOM-026-STPS-2008: Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.	Durante la etapa de construcción se tomarán en cuenta las medidas marcadas en dicha norma.
NOM-025-STPS-2008: Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.	BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. se apegará a los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores según lo describe la norma.
Aguas residuales	
NOM-001-SEMARNAT-2021: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	No vinculante, debido a que el proyecto no involucra descargas directas a aguas y bienes nacionales.
NOM-002-SEMARNAT-1996: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas marinas y zonas federales marítimas.	No vinculante ya que no habrá descarga de aguas residuales en este tipo de aguas.
NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de	El proyecto se desarrolla dentro de un relleno sanitario en operación, por lo que se encuentra directamente relacionado con esta norma. Aunque no implica la construcción del sitio, sí mejora sus condiciones operativas mediante la captación

Versión Pública

Norma	Vinculación con el proyecto
disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.	y aprovechamiento del biogás, lo que contribuye a reducir emisiones y fortalecer el control ambiental del relleno. Por lo anterior, contribuye al cumplimiento de sus objetivos en materia de control de emisiones y manejo adecuado del sitio.
Residuos	
NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.	BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. en cuanto a su prospección futura, no rebasará los criterios establecidos en la norma. La "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" contempla durante las etapas pertinentes del proyecto las medidas preventivas y de mitigación que permitan reducir al mínimo los impactos producidos por la generación de dichos residuos durante todas las etapas del proyecto.
NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.	BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. en cuanto a su prospección futura, no rebasará los criterios establecidos en la norma. La "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" contempla durante las etapas pertinentes del proyecto las medidas preventivas y de mitigación que permitan reducir al mínimo los impactos producidos por la generación de dichos residuos durante las etapas de construcción y desmantelamiento.
Emisiones	
NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002: Establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera.	El proyecto de "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" en todas sus etapas contempla medidas preventivas y de mitigación encaminadas al cumplimiento de las metas de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), cabe mencionar que para la parte de operación y mantenimiento que es la etapa más extensa en tiempo, se contará con procedimientos de detección y atención a fugas.
Ruido y vibraciones	
NOM-081-SEMARNAT-1994: Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente de fuentes fijas y su método de medición.	El proyecto de "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" en todas sus etapas contempla medidas preventivas, principalmente la de construcción para los equipos maquinarias que generen ruido, manifestando que en las actividades de preparación del sitio y construcción se establecerá un programa de mantenimiento a la maquinaria que será utilizada durante todas las etapas del proyecto. Aunado a lo anterior se proporcionará Equipo de Protección Personal (EPP) al personal que forme parte de las obras, así como capacitación en el uso y manejo del mismo.
NORMA Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.	
Suelo	

Versión Pública

Norma	Vinculación con el proyecto
NOM-004-SEMARNAT-2002: Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.	No vinculante, sin embargo, BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. como buena práctica realizará una bitácora de control de lodos y biosólidos, así como un muestreo periódicamente para poder determinar la disposición final de estos.

3.7 Ordenamiento Ecológico de Territorio

De conformidad con el artículo 3, fracción XXIV, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) el Ordenamiento Ecológico, es el instrumento de la política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso de suelo y las actividades productivas con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.

La LGEEPA define cuatro modalidades de ordenamiento ecológico, considerando la competencia de los tres órdenes de gobierno, así como los alcances de acuerdo con el área territorial de aplicación.

a) El general, cuya formulación, expedición, ejecución y evaluación de este programa es de competencia del Gobierno Federal y tiene como objetivo vincular las acciones y programas de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, cuyas actividades inciden en el patrón de ocupación del territorio nacional y es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional.
b) El marino, donde su formulación, aplicación, expedición, ejecución y evaluación de estos programas es de competencia del Gobierno Federal. Tiene por objeto establecer los lineamientos y las previsiones a que deberá sujetarse el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, el mantenimiento de los bienes y servicios ambientales y la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad en las zonas marinas mexicanas y sus zonas federales adyacentes.
c) Por cuanto hace al regional, su formulación, expedición, ejecución y evaluación es competencia del Gobierno Estatal, cuando la región incluye parte o la totalidad del territorio de un estado. Cuando la región a ordenar incluye el territorio de dos o más entidades federativas, el gobierno federal, se coordina con los gobiernos estatal y municipal, según el caso, en el ámbito de sus respectivas competencias, mediante la firma de convenios de coordinación. Cuando la región incluye un área Natural Protegida de competencia Federal, está deberá participar en su formulación y aprobación.
   Tiene como objetivo orientar el desarrollo de los programas sectoriales hacia los sitios, con mayor aptitud y menor impacto ambiental, identificar áreas de atención prioritaria, optimizar el gasto público, asegurar la continuidad de las políticas ambientales locales.
   Define una regionalización ecológica en la que se identifican áreas de atención prioritaria, áreas de aptitud sectorial y lineamientos y estrategias ecológicas aplicadas a dichas áreas.
d) Finalmente, el ordenamiento local, su formulación, expedición, ejecución y evaluación es competencia del Gobierno Municipal cuando el área incluye parte o la totalidad de un municipio. Cuando el área incluye un área Natural Protegida de competencia Federal, está deberá participar en su formulación y aprobación.

Versión Pública

[redacted]

Tiene como objetivo regular los usos del suelo fuera de los centros de población y establecer los criterios de regulación ecológica dentro de los centros de población para la protección, preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Por otra parte, los planes y programas de Desarrollo Urbano deberán considerar los ordenamientos ecológicos y los criterios generales de regulación ecológica de los Asentamientos Humanos establecidos en el artículo 23 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y en las normas oficiales mexicanas en materia ecológica.

La Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, establece que los Planes y Programas municipales de Desarrollo Urbano señalarán las acciones específicas necesarias para la Conservación, Mejoramiento y Crecimiento de los Centros de Población, asimismo establecerán la zonificación correspondiente.

Las entidades federativas y los municipios promoverán la elaboración de programas parciales y polígonos de actuación que permitan llevar a cabo acciones específicas para el crecimiento, mejoramiento y conservación de los centros de población, para la formación de conjuntos urbanos y barrios integrales.

Dichos programas parciales serán regulados por la legislación estatal y podrán integrar los planteamientos sectoriales del desarrollo urbano, en materias tales como: centros históricos, movilidad, medio ambiente, vivienda, agua y saneamiento, entre otras.

En conclusión, en este apartado se evidencia la observancia y congruencia del proyecto con los lineamientos, criterios, estrategias y políticas marcadas en los instrumentos de ordenamiento ecológico aplicables, así como de ordenamiento urbano.

3.7.1 Programa de Ordenamiento Ecológico General de Territorio (POEGT)

El Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT) fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de septiembre de 2012. Tiene el propósito de regionalizar ecológicamente el territorio nacional en su conjunto, para poder determinar claramente los lineamientos y estrategias ecológicas que preserven, protejan, restauren y propicien el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a través de acciones coordinadas e integrales entre los distintos niveles de gobierno y la sociedad, que permitan la articulación de las políticas, programas y acciones para enfrentar los retos en materia ambiental, frenar el deterioro y avanzar en la conservación y aprovechamiento sustentable del territorio nacional. El Acuerdo por el que se expide el POEGT, establece, entre otros puntos, lo siguiente:

- El POEGT es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y vinculará las acciones y programas de la Administración Pública Federal y las entidades paraestatales en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática, quienes deberán observarlo en sus programas operativos anuales, en sus proyectos de presupuestos y en sus programas de obra pública.
- El POEGT promueve un esquema de coordinación y corresponsabilidad entre los sectores de la Administración Pública Federal –a quienes está dirigido este Programa- que permite generar sinergias y propiciar un desarrollo sustentable en cada una de las regiones ecológicas identificadas en el territorio nacional.

Versión Publica

- Por su escala y alcance, el POEGT no tiene como objetivo autorizar o prohibir el uso del suelo para el desarrollo de actividades sectoriales. Cada sector tiene sus prioridades y metas, sin embargo, en su formulación e instrumentación, los sectores adquieren el compromiso de orientar sus programas, proyectos y acciones de tal forma que contribuyan al desarrollo sustentable de cada región.

De lo anterior se desprende que le corresponde a la Administración Pública Federal y a las Entidades Paraestatales, la formulación e instrumentación del POEGT; no obstante, y a la escala en la que se presentan las Unidades Ambientales Biofísicas (1:2,000,000), se llevó a cabo la revisión de este instrumento de planeación identificando que el proyecto se encuentra ubicado dentro de la Región Ecológica 18.20, particularmente en la Unidad Ambiental Biofísica 52 (UAB 52), como se puede apreciar en la siguiente imagen:

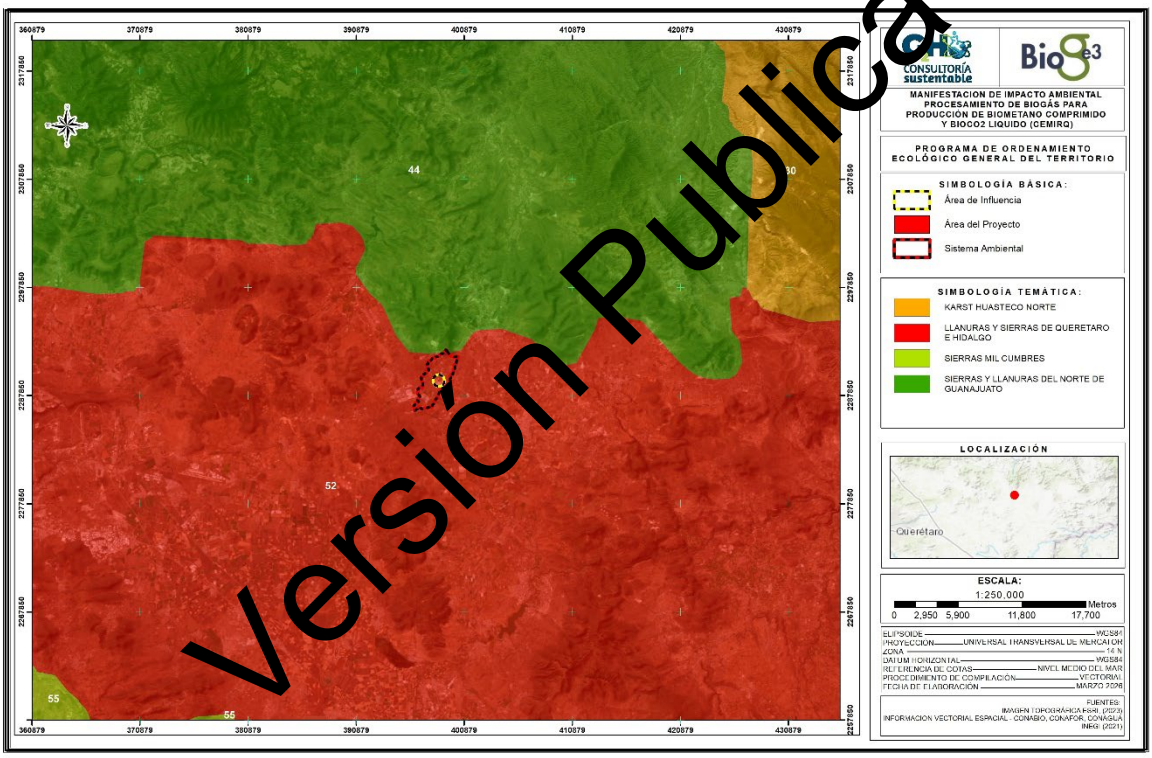


Figura 3.1 Ubicación del Proyecto dentro de la UAB 52, Región 18.20Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo

En la siguiente tabla, se incluyen las estrategias, políticas, rectores, coadyuvantes y asociados del desarrollo que son aplicables al proyecto.

Tabla 3.11 Políticas y Estrategias de la UAB 52, Región 18.20 (Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo) del POEGT

UAB/ Región	Rectores del desarrollo	Coadyuvantes del desarrollo	Asociados del desarrollo	Política Ambiental	Estrategias
UAB 52 Región 18.11	Forestal-Preservación de Flora y Fauna	Agricultura-Desarrollo Social-Ganadería-Minería	--	Restauración y Aprovechamiento Sustentable	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 15 BIS, 18, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44

Asimismo, las estrategias ecológicas, definidas como los objetivos específicos, las acciones, los proyectos, los programas y los responsables de su realización dirigidas al logro de los lineamientos ecológicos aplicables en el territorio nacional, se implementarán a partir de una serie de acciones que cada uno de los sectores en coordinación con otros sectores deberán llevar a cabo, con base en lo establecido en sus programas sectoriales o el compromiso que asuman dentro del Grupo de Trabajo Intersecretarial (BIENESTAR, SADER, SECTUR, SEDATU, SEGOB, SICT, SE, SENER, PEMEX, CFE, e INEGI) para dar cumplimiento a los objetivos de este POEGT; es decir que corresponde a las autoridades el cumplimiento de dicho ordenamiento.

En este sentido, se definieron tres grandes grupos de estrategias: las dirigidas a lograr la sustentabilidad ambiental del territorio, las dirigidas al mejoramiento del sistema social e infraestructura urbana y las dirigidas al fortalecimiento de la gestión y la coordinación institucional, estrategias, acciones y lineamientos que el proyecto no contraviene, sino más bien coadyuva al cumplimiento de los mismos.

No obstante, lo antes mencionado, se vinculará el proyecto con las estrategias contenidas en el POEGT, atendiendo a las aplicables a la UAB en que se localiza el proyecto.

Versión Pública

Tabla 3.12 Vinculación del Proyecto con las estrategias aplicables a la UAB 32 del POEGT

Estrategias		Vinculación con el proyecto
Grupo I. Dirigidas a lograr la sustentabilidad ambiental del Territorio		
A) Preservación	1. Conservación in situ de los ecosistemas y su biodiversidad.	El proyecto se ubica dentro de un relleno sanitario en operación, el cual corresponde a un sitio previamente impactado, por lo que no existen ecosistemas conservados que requieran protección in situ.
	2. Recuperación de especies en riesgo.	Durante los recorridos de campo y la revisión de información oficial no se identificaron especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT, por lo que no se requiere implementar acciones de recuperación.

Estrategias		Vinculación con el proyecto
	3. Conocimiento, análisis y monitoreo de los ecosistemas y su biodiversidad.	El proyecto contempla la supervisión operativa y ambiental del sitio, particularmente en lo relacionado con emisiones y manejo de residuos, contribuyendo indirectamente al monitoreo ambiental del área impactada.
B) Aprovechamiento sustentable	4. Aprovechamiento sustentable de ecosistemas, especies, genes y recursos naturales.	El proyecto consiste en el aprovechamiento del biogás generado por residuos sólidos urbanos, transformándolo en biometano y BioCO$_2$, promoviendo el uso eficiente de recursos y la economía circular.
	5. Aprovechamiento sustentable de los suelos agrícolas y pecuarios.	El proyecto no involucra actividades agrícolas ni pecuarias, ni se desarrolla sobre suelos con vocación productiva primaria, sino dentro de un relleno sanitario previamente impactado. Por ello, no interfiere ni modifica prácticas agropecuarias ni la capacidad productiva del suelo.
	6. Modernizar la infraestructura hidroagrícola y tecnificar las superficies agrícolas.	El proyecto no contempla obras de riego, canales o infraestructura hidroagrícola, ni hace uso de agua con fines productivos agrícolas, por lo que no guarda relación con este criterio.
	7. Aprovechamiento sustentable de los recursos forestales.	No se realiza aprovechamiento forestal ni remoción de vegetación arbórea, dado que el sitio corresponde a un área previamente alterada sin cobertura forestal relevante.
	8. Valoración de los servicios ambientales.	El proyecto contribuye indirectamente a la valoración de servicios ambientales al reducir emisiones de metano mediante su captura y transformación en biocombustible, lo que representa un beneficio en regulación climática.
C) Protección de los recursos naturales	12. Protección de los ecosistemas.	No existen ecosistemas naturales relevantes dentro del área del proyecto, debido a su condición de sitio previamente alterado.
	13. Racionalizar el uso de agroquímicos y promover el uso de biofertilizantes.	No se emplean agroquímicos en ninguna etapa del proyecto, ya que no existen actividades agrícolas asociadas.
D) Restauración	14. Restauración de los ecosistemas forestales y suelos agrícolas.	El proyecto no contempla actividades de restauración ecológica, ya que no implica intervención en ecosistemas naturales.
E) Aprovechamiento sustentable de recursos naturales no renovables	15. Aplicación de los productos del Servicio Geológico Mexicano al desarrollo económico y social y al	El proyecto no está relacionado con actividades mineras ni con la extracción de recursos no renovables del subsuelo,

Versión Pública

Estrategias		Vinculación con el proyecto
y actividades económicas de producción y servicios	aprovechamiento sustentable de los recursos naturales no renovables.	sino con el aprovechamiento de biogás generado por residuos.
	15 BIS. Consolidar el marco normativo ambiental aplicable a las actividades mineras, a fin de promover una minería sustentable.	
	18. Establecer mecanismos de supervisión e inspección que permitan el cumplimiento de metas y niveles de seguridad adecuados en el sector de hidrocarburos.	El manejo de biogás incorpora medidas de seguridad industrial, incluyendo sistemas de control, monitoreo, mantenimiento y prevención de riesgos, garantizando condiciones seguras de operación.
Grupo II. Dirigidas al mejoramiento del sistema social e infraestructura urbana		
A) Suelo urbano y vivienda	24. Mejorar las condiciones de vivienda y entorno de los hogares en condiciones de pobreza para fortalecer su patrimonio.	El proyecto no implica desarrollo habitacional ni modificación de condiciones de vivienda.
B) Zonas de Riesgo y prevención de contingencias	25. Prevenir y atender los riesgos naturales en acciones coordinadas con la sociedad civil.	Se implementan medidas de seguridad para el manejo de biogás y residuos peligrosos, incluyendo almacenamiento controlado, equipo contra incendios y protocolos de emergencia.
	26. Promover la reducción de la vulnerabilidad física.	Se implementan medidas de seguridad industrial y control de riesgos en el manejo de biogás y residuos peligrosos, reduciendo la vulnerabilidad ante eventos como fugas o incendios.
C) Agua y saneamiento	27. Incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento de la región.	El proyecto considera el manejo controlado de líquidos residuales, evitando descargas sin tratamiento y previniendo contaminación de cuerpos de agua, contribuyendo a la gestión integral del recurso hídrico.
	28. Consolidar la calidad del agua en la gestión integral del recurso hídrico.	
	29. Posicionar el tema del agua como un recurso estratégico y de seguridad nacional.	
D) Infraestructura y equipamiento urbano y regional	31. Generar e impulsar las condiciones necesarias para el desarrollo de ciudades y zonas metropolitanas seguras, competitivas, sustentables, bien estructuradas y menos costosas.	El proyecto aprovecha infraestructura existente (relleno sanitario), evitando expansión urbana desordenada y promoviendo desarrollo sustentable.
	32. Frenar la expansión desordenada de las ciudades, dotarlas de suelo apto para el desarrollo urbano y aprovechar el dinamismo, la fortaleza y la riqueza de las mismas para impulsar el desarrollo regional.	El proyecto aprovecha infraestructura existente (relleno sanitario), evitando la ocupación de nuevas áreas y contribuyendo a un desarrollo ordenado.
E) Desarrollo Social	35. Inducir acciones de mejora de la seguridad social en la población rural	El proyecto incorpora la elaboración de la MISEE, mediante la cual se

Versión Publica

Estrategias		Vinculación con el proyecto
	para apoyar la producción rural ante impactos climatológicos adversos.	identifican impactos sociales, actores relevantes y medidas de mitigación. Esto permite atender aspectos de inclusión, desarrollo de capacidades y bienestar social en el área de influencia.
	36. Promover la diversificación de las actividades productivas en el sector agroalimentario y el aprovechamiento integral de la biomasa. Llevar a cabo una política alimentaria integral que permita mejorar la nutrición de las personas en situación de pobreza.	
	37. Integrar a mujeres indígenas y grupos vulnerables al sector económico-productivo en núcleos agrarios y localidades rurales vinculadas.	
	38. Fomentar el desarrollo de capacidades básicas de las personas en condición de pobreza.	
	39. Incentivar el uso de servicios de salud, especialmente de las mujeres y los niños de las familias en pobreza.	
	40. Atender desde el ámbito del desarrollo social, las necesidades de los adultos mayores mediante la integración social y la igualdad de oportunidades. Promover la asistencia social a s adultos mayores en condiciones de pobreza o vulnerabilidad, dando prioridad a la población de 70 años y más, que habita en comunidades rurales con los mayores índices de marginación.	
	41. Procurar el acceso a instancias de protección social a personas en situación de vulnerabilidad.	
Grupo III. Dirigidas al Fortalecimiento de la gestión y la coordinación institucional		
A) Marco Jurídico	42. Asegurara la definición y el respeto a los derechos de propiedad rural.	El proyecto cumple con la normatividad ambiental aplicable, incluyendo registro como microgenerador de residuos peligrosos y cumplimiento de NOMs.
B) Planeación del ordenamiento territorial	43. Integrar, modernizar y mejorar el acceso al Catastro Rural y la Información Agraria para impulsar proyectos productivos.	El proyecto fue evaluado mediante análisis cartográfico y territorial, asegurando su integración en el entorno.
	44. Impulsar el ordenamiento territorial estatal y municipal y el desarrollo regional mediante acciones coordinadas entre los tres órdenes de gobierno y concertadas con la sociedad civil.	El proyecto es congruente con el ordenamiento territorial, al localizarse en un sitio con uso actual definido (relleno sanitario).

Versión Pública

El proyecto es congruente con los criterios establecidos en el Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio, al desarrollarse en un sitio previamente impactado, sin afectar ecosistemas relevantes ni inducir cambios de uso de suelo en nuevas áreas. Asimismo, contribuye a la mitigación de impactos ambientales mediante el aprovechamiento del biogás y cumple con los lineamientos en materia de protección ambiental, uso sustentable de recursos y desarrollo social.

3.7.2 Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Querétaro (POEREQ)

Es un instrumento de política pública y planeación territorial sustentado en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Su objetivo fundamental es regular y ordenar las actividades productivas y los usos del suelo en el estado para asegurar que el desarrollo económico sea compatible con la preservación del medio ambiente y la sustentabilidad. Busca un desarrollo sustentable e integral del territorio estatal, equilibrando el crecimiento económico con la conservación de los ecosistemas, los recursos naturales y la calidad de vida de la población.

Define el modelo de ordenamiento ecológico, los lineamientos estratégicos y los criterios de regulación ambiental aplicables a las actividades productivas, protegiendo áreas de importancia por su biodiversidad, servicios ambientales o vegetación.

Unidades de Gestión Ambiental

Una UGA es la unidad mínima del área de Ordenamiento Ecológico. Se construye a partir de unidades del paisaje definidas por la geomorfología y características sociales, demográficas, económicas e históricas del territorio, a la que se le asigna un a política ambiental, lineamienos y estrategias ecológicas dirigidas a la protección, conservación, restauración, aprovechamiento sustentable y el desarrollo urbano ordenado en el territorio. Posee condiciones de homogeneidad de atributos físico-bióticos, socioeconómicos y de aptitud sobre la base de un manejo administrativos común.

Política Ambiental

Las políticas definidas para el POEREQ, se desprenden de la legislación ambiental aplicable en la materia, y su objetivo es mantener la estructura, función, conservación y el uso sustentable del territorio.

Criterios Ambientales

Los criterios de regulación ambiental consisten en enunciados generales o específicos que inducen los diversos usos de suelo y regulan las actividades producidas en el área de ordenamiento dirigidos a la protección, conservación restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que se localicen en la región de que se trate, así como para la realización de actividades producidas y la ubicación de asentamientos humanos.

De lo anterior se, se llevó a cabo la revisión de este instrumento de planeación identificando que el proyecto se encuentra ubicado dentro de la UGA 160 Zona Urbana de Colón, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

A continuación, se presenta la vinculación del proyecto con los criterios de la UGA 160 Zona Urbana de Colón

Versión Publica

Tabla 3.13 Vinculación del Proyecto con las estrategias aplicables a la UGA 160 Zona Urbana de Colón

Clave	Criterio	Vinculación
	Criterios Generales (CG)	
CG01	El aprovechamiento de flora y fauna silvestre deberá de realizarse en Unidades de Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentables y en los términos de los programas de manejo que para tal efecto haya autorizados la SEMARNAT o la autoridad competente.	En el caso del proyecto, no se contempla ningún tipo de aprovechamiento, extracción, manejo o comercialización de especies de flora o fauna silvestre, ya que las actividades se limitan al aprovechamiento energético del biogás generado en un relleno sanitario. Adicionalmente, el sitio del proyecto corresponde a un área previamente impactada, donde no existe presencia significativa de ecosistemas naturales o de especies nativas relevantes. En este sentido, no se considera vinculante, debido a que el proyecto no involucra el uso o aprovechamiento de recursos biológicos que requieran regulación.
CG02	La extracción, remoción, transporte o utilización de especies de flora y fauna silvestre por el aprovechamiento del territorio de cualquier actividad deberán estar previamente autorizadas por la SEMARNAT o la autoridad competente, con especial atención a las endémicas y a las especies NOM	En el proyecto no se realizarán actividades de este tipo, ya que no se contempla la remoción de vegetación, ni la captura, traslado o afectación de fauna silvestre. Asimismo, se ha identificado que el área del proyecto carece de vegetación natural y fauna nativa, debido a que se trata de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos previamente intervenido. Por lo anterior, no se vincula con el proyecto, ya que no se requiere autorización en materia de vida silvestre al no existir aprovechamiento ni afectación directa a estos recursos.
CG03	Los proyectos que requieran la instalación de cecas, caminos, carreteras, deberán garantizar que estas permitan el libre paso y la dispersión natural de la vida silvestre.	El proyecto no genera barreras físicas significativas ni infraestructura lineal que afecte el tránsito de fauna, al desarrollarse en un sitio ya impactado.
CG04	La realización de obras públicas o privadas que por si mismas pueden provocar deterioro severo de los suelos, deberán incluir acciones equivalentes de regeneración, recuperación y restablecimiento de la vocación natural.	El proyecto incluye medidas de prevención, control y manejo de residuos peligrosos, evitando afectaciones al suelo.
CG05	Durante la elaboración y ejecución de un programa para la restauración ecológica o compensación ambiental, se deberán integrar en las actividades a propietarios	

Versión Publica

Clave	Criterio	Vinculación
	poseedores, organizaciones sociales, públicas o privadas, pueblos indígenas, gobiernos locales y demás personas interesadas.	No se contemplan actividades de restauración ecológica por lo que no es vinculante con el proyecto.
CG06	Para la restauración deforestadas se deberá promover el establecimiento de estratos de vegetación, de modo que favorezca el desarrollo de la estructura del ecosistema original.	
CG07	Los usos y destinos de suelo otorgados y reconocidos por instrumentos urbanos no considerados en el presente ordenamiento deberán dar cumplimiento a los criterios ambientales correspondiente a la regulación ambiental de los asentamientos humanos establecidos en la legislación ambiental, las disposiciones ambientales consideradas en los propios programas urbanos e en su caso aquellos señalados en el dictamen ambiental.	El proyecto es compatible con el uso del suelo existente, al desarrollarse en un sitio destinado al manejo de residuos, sin generar conflictos territoriales.
CG08	Reducir al máximo los impactos, daños y desequilibrios que ocasionen los asentamientos humanos al medio ambiente, a través integrar medidas de mitigación y compensación orientadas a mantener un desarrollo sustentable del territorio.	Se integran medidas de mitigación como control de emisiones, manejo de residuos y prevención de riesgos.
CG09	Las actividades productivas que generen aguas residuales en sus procesos deberán contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales y un plan de reúso de las aguas tratadas.	El proyecto contempla el manejo adecuado de aguas residuales.
CG10	El aprovechamiento del territorio en zonas que contengan monumentos arqueológicos, artísticos, históricos y zonas de monumentos y todos aquellos que determine a ley en la materia, deberá cumplir con lo señalado por el Instituto Nacional de Antropología e Historia en materia de monumentos, zonas arqueológicas, artísticos e históricos, además de cumplir con los requisitos, requerimientos o autorizaciones emitidas por el INAH y el Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura.	No se identifican monumentos o zonas arqueológicas en el área del proyecto.

Versión Pública

El proyecto es compatible con el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Querétaro, al no generar conflictos con los usos de suelo establecidos ni con la planeación territorial vigente. Su implementación dentro de un área destinada al manejo de residuos permite su integración sin afectar el equilibrio ecológico ni las dinámicas territoriales de la región.

3.7.3 Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Colón, Querétaro

El Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL) del Municipio de Colón, Querétaro, promulgado en febrero de 2018, es un instrumento de planeación ambiental. Su objetivo es regular y ordenar el uso del suelo y las actividades productivas, buscando el equilibrio entre el desarrollo económico y la protección de los recursos naturales. Establece criterios de regulación ambiental obligatorios para cualquier proyecto o actividad en el territorio municipal. El programa es de observancia obligatoria para garantizar la sustentabilidad en el desarrollo de Colón.

Modelo de Ordenamiento Ecológico

El modelo de ordenamiento ecológico del territorio, se define como la regionalización del territorio a ordenar en Unidades de GestiÃ³n Ambiental (UGAs), las políticas ambientales, los usos de suelo compatibles e incompatibles, los lineamientos y estrategias ambientales.

Una UGA es la unidad mínima del área de Ordenamiento Ecológico que se construye a partir de las unidades del paisaje definidas por la geomorfología y características sociales, demográficas e históricas del territorio, a la que se asignan lineamientos y estrategias ecológicas dirigidas a la protección, conservación, restauración, aprovechamiento sustentable y el desarrollo urbano ordenado en el territorio. Posee condiciones de homogeneidad de atributos físico-bióticos, socioeconómicos y de aptitud sobre la base de un manejo administrativo común.

La estructuración de cada una de las UGAS que conforman el Modelo de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Colón (MOELMCOL), fueron asignadas con base al desarrollo de todos los procesos del estudio técnico realizado, analizando las potencialidades del suelo, los conflictos ambientales, las pendientes, las asignaciones determinadas por el H. Ayuntamiento, la infraestructura que contiene, el desarrollo de los sectores productivos para el beneficio de la sociedad, los espacios habitados actualmente y los recursos naturales con que cuenta el área de estudio.

Así mismo, el MOELMCOL considera a las Áreas Prioritarias para la Conservación y las Áreas Urbanas identificadas por los instrumentos de planeación urbana vigentes; así como su relación con las UGAs definidas para el Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Querétaro, dando como resultado la obtención de 38 UGAs para el Municipio de Colón, mismas que se presentan a continuación:

Tabla 3.14 Unidades de Gestión Ambiental del municipio de Colón

UGA	Nombre	UGA	Nombre
1	Pinal del Zamorano	20	Nogales
2	Los trigos	21	Palmas
3	Nuevo Alamos	22	Lago de AjuchitlÃ¡n
4	Zona de aprovechamiento sustentable Norte	23	Agropark
5	Carrizal	24	Extracción San Martín-La trinidad
6	Presa la Soledad	25	Peña Colorada
7	Los Amoles	26	Zona de aprovechamiento sustentable Sur
8	Zona de aprovechamiento sustentable Poniente	27	Mina Peña Berna
9	Saucillo	28	Palo Seco
10	Río y presa de Colón	29	Cerro de Panales
11	Fátima	30	Urecho
12	El Arenal	31	Ejido Peñuela
13	Vista Hermosa	32	Viborillas
14	Cañadas de Colón	33	Tierra Dura
15	El Moro	34	Esperanza
16	El Mezote	35	Bordo de Agropark
17	Zona Urbana de Consolidación	36	El Gallo

Versión Publica

UGA	Nombre	UGA	Nombre
18	Zona de aprovechamiento sustentable Oriente	37	Zona Urbana de Integración Metropolitana
19	San Martín	38	San Vicente y San lldefonso

Políticas

Las políticas ambientales que integran el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Colón (POELMCOL), se desprenden de la legislación ambiental aplicable en la materia, y su objetivo es mantener la estructura, función, conservación y el uso sustentable del territorio, estas políticas son: Protección, Conservación, Restauración, Aprovechamiento Sustentable y Urbana, a continuación, se describen.

Tabla 3.15 Políticas ambientales

Políticas	
PP	Protección
PC	Conservación
PR	Restauración
PAS	Aprovechamiento sustentable
PU	Urbana

Versión Publica

De lo anterior se, se llevó a cabo la revisión de este instrumento de planeación identificando que el proyecto se encuentra ubicado dentro de la UGA 17 Zona Urbana de Consolidación, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

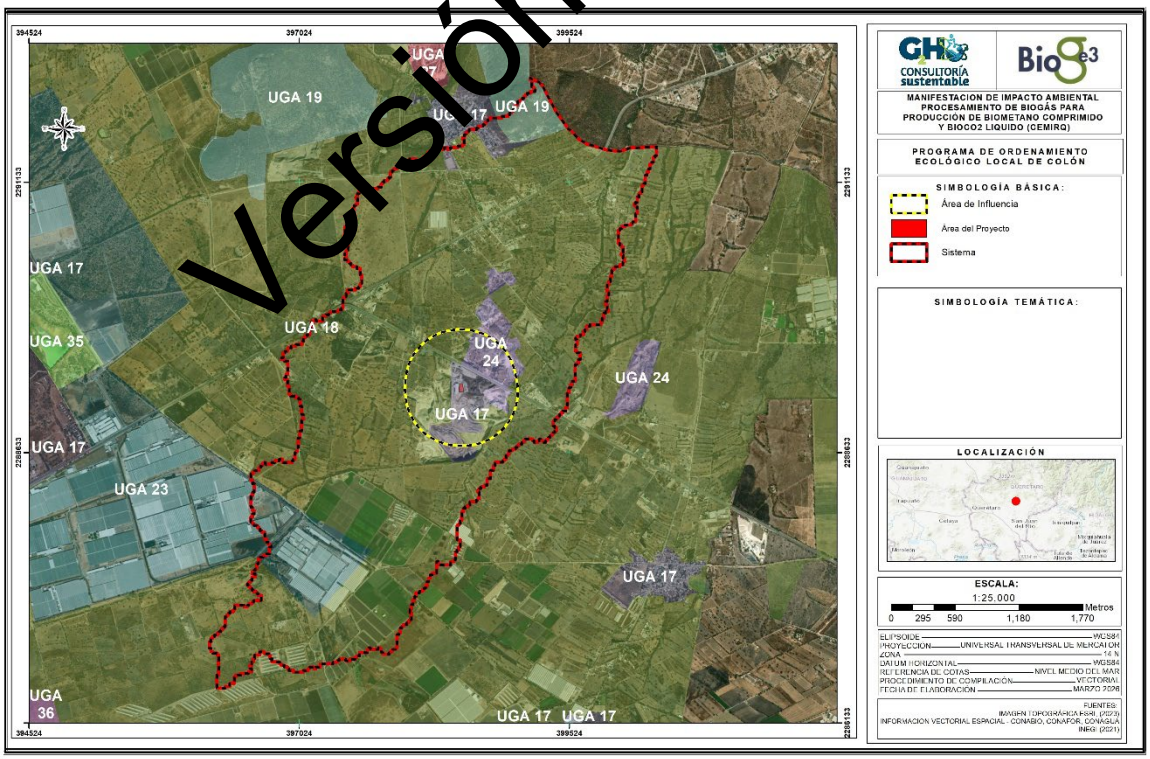


Figura 3.2 Ubicación del Proyecto dentro de la UGA 17 Zona Urbana de Consolidación

En la siguiente tabla, se incluyen la política, lineamientos, estrategias y criterios que son aplicables al proyecto.

Tabla 3.16 Políticas y Estrategias de la UGA 17 Zona Urbana de Consolidación

Política	Lineamientos	Estrategias	Criterios
Urbana	L0, L1, L9, L10	EG01, EG02, EG03, EG04, EG05, EG06, EG07, EG08, EG09, EG10, EG11, EG12, EG13, EG14, EPC02, EPC03, EPC05, EPC06, EPC07, EPC08, EPC09, EPC15, EPC16, ER01, EU01, EU02, EU03, EU04, EU05, EU06, EU07, EU08, EU09	CG01-CG09, CAG01-CAG08, CAH01-CAH11, CE01-CE15, CF01-CF07, CMR01-CMR09, CMA01-CMA11, CP01-CP04, CB01-CB10, CS01-CS04, CT01-CT05

A continuación, se presenta la vinculación del proyecto con los criterios de la UGA 17

Tabla 3.17 Vinculación del proyecto con a UGA 17

Clave	Criterio	Vinculación
	Criterios Generales (CG	
CG01	Los proyectos que modifiquen la cobertura vegetal original deberán comprobar que no afectarán a las poblaciones de flora y fauna endémicas o dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001	En el caso del proyecto, éste se desarrolla dentro de un sitio previamente impactado, correspondiente a un relleno sanitario en operación, donde ya no existe cobertura vegetal original ni presencia significativa de fauna nativa. Asimismo, se indica que no se identificaron especies dentro de la NOM-059.
CG02	El diseño de proyectos deberá disminuir al máximo posible la fragmentación de los ecosistemas. Para ello deberá considerar el establecimiento de grandes áreas de conservación con la vegetación primaria y el uso preferente de las áreas de vegetación con menor estructura o calidad ambiental, se deberán mantener o crear corredores de vegetación nativa.	Dado que el proyecto se ubica dentro de un relleno sanitario existente, en un área previamente degradada y sin continuidad ecológica funcional, no implica la fragmentación de ecosistemas adicionales ni afecta corredores biológicos. En este contexto, no se considera vinculante, ya que el proyecto no interviene sobre ecosistemas conservados ni genera nuevos procesos de fragmentación.
CG03	El aprovechamiento de flora y fauna silvestre deberá de realizarse a través de las Unidades de Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentables y en los términos de los programas de manejo que para tal efecto haya autorizado la SEMARNAT.	El proyecto no contempla ningún tipo de aprovechamiento de flora o fauna, ni extracción, manejo o comercialización de especies. En consecuencia, no se vincula con el proyecto, debido a que no se realizan actividades de aprovechamiento de recursos biológicos.

Versión Publica

Clave	Criterio	Vinculación
CG04	La extracción o utilización de especies de flora y fauna silvestre nativa deberá garantizar la permanencia de especies endémicas incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2001.	Considerando que el proyecto no realiza extracción ni uso de especies, y además el sitio carece de poblaciones relevantes de flora y fauna nativa, no es vinculante, ya que no aplica al tipo de actividades que se desarrollarán.
CG05	Los proyectos, obras y actividades que requieran la instalación de barreras, bordos o cercas deberán garantizar que éstas permitan el libre paso de la fauna silvestre.	En el sitio del proyecto, al tratarse de un relleno sanitario previamente impactado, no se registra presencia de fauna silvestre relevante ni corredores de tránsito. Además, el proyecto no contempla la instalación de nuevas barreras que interfieran con el movimiento de fauna. Por ello, no se considera vinculante, debido a la ausencia de fauna nativa en el área.
CG06	La realización de obras públicas o privadas que por sí mismas puedan provocar deterioro severo de los suelos deben incluir acciones equivalentes de regeneración, recuperación y restablecimiento de su vocación natural.	En este caso, el proyecto no implica nuevas afectaciones significativas al suelo, sino que se enfoca en la captura y aprovechamiento de biogás, lo cual contribuye a mejorar las condiciones ambientales del sitio. Incluso, indirectamente, promueve una mejor gestión del relleno sanitario. Por lo tanto, sí se considera vinculante, ya que el proyecto incorpora medidas que contribuyen a la mitigación de impactos ambientales existentes.
CG07	Durante la elaboración y ejecución de un programa para la restauración ecológica, se deberán integrar en las actividades a propietarios, poseedores, organizaciones sociales, públicas o privadas, pueblos indígenas, gobiernos locales y demás personas interesadas.	El proyecto no contempla un programa formal de restauración ecológica ni acciones directas de rehabilitación con participación social, ya que su enfoque principal es el aprovechamiento energético del biogás. Por lo tanto, no se considera vinculante, al no corresponder con el alcance del proyecto.
CG08	Para la restauración de áreas deforestadas se deberá promover el establecimiento de estratos de vegetación de modo que favorezca el desarrollo de la estructura del ecosistema original.	Dado que el proyecto no contempla actividades de reforestación o restauración ecológica directa, y se ubica en un sitio operativo destinado a la disposición de residuos, no se vincula con el proyecto, ya que no forma parte de sus objetivos ni actividades.

Versión Pública

Clave	Criterio	Vinculación
CG09	El Comité de Ordenamiento Ecológico, previa evaluación técnica, podrá asignar los criterios de regulación ambiental contenidos en el presente programa u otros que considere pertinentes, cuando se pretenda realizar algún proyecto no previsto al momento de ordenar el territorio en este programa.	En este caso, el proyecto podría ser sujeto a evaluación por parte de la autoridad competente debido a su naturaleza específica (aprovechamiento de biogás). Por ello, sí se considera vinculante de manera preventiva, en el sentido de que el proyecto deberá apegarse a cualquier disposición adicional que la autoridad determine durante su evaluación.
Criterios para las actividades Agrícolas - pecuarias (CAG)		
CAG01	Todos los canales de riego o drenes que descarguen en cuerpos de agua, deberán contar con trampas para sedimentos y desarenadores, para prevenir su azolvamiento	El proyecto en cuestión no contempla actividades agrícolas ni infraestructura de riego, ya que se desarrolla en un relleno sanitario con fines de captación y aprovechamiento de biogás. En este sentido, no se considera vinculante, debido a que no existen canales de riego ni descargas asociadas a actividades agrícolas dentro del área del proyecto.
CAG02	Las actividades de aprovechamiento agrícola en terrenos con pendientes mayores al 5% deberán establecer técnicas de cultivo que favorezcan la recuperación de suelo y eviten los procesos erosivos del terreno, como cultivos en terrazas o siguiendo las curvas de nivel para evitar procesos erosivos, entre otros.	Dado que el proyecto no incluye actividades agrícolas ni manejo de suelos con fines productivos, sino que se limita a infraestructura para manejo de biogás dentro de un sitio ya intervenido, no se vincula con el proyecto, ya que no aplica el uso agrícola del suelo.
CAG03	Para el manejo agrícola bajo esquemas de producción extensiva, se deberán emplear únicamente terrenos con perturbación histórica presente y con una pendiente menor al 8%.	Aunque el sitio efectivamente presenta perturbación histórica, el proyecto no corresponde a actividades agrícolas, por lo que no se considera vinculante, al no existir cambio de uso hacia agricultura ni aprovechamiento del suelo con este fin.
CAG04	Las prácticas agrícolas tales como barbecho, surcado y terraceo, no deberán realizarse en sentido perpendicular a la pendiente.	Dado que no se realizarán dichas actividades, no se vincula con el proyecto, ya que no existe intervención agrícola en el sitio.
CAG05	El uso del fuego con fines agrícolas se desarrollará conforme a una planeación en concurrencia de la autoridad municipal y las autoridades federales (SEMARNAT y SAGARPA) con representantes de los pequeños propietarios rurales. Se observará de forma obligatoria la NOM-015-SEMARNAT / SAGARPA-2007, en tanto se abandona esta práctica.	El proyecto no contempla la quema de vegetación ni el uso de fuego con fines productivos; por el contrario, busca controlar la quema de biogás mediante sistemas más eficientes. Por ello, no se considera vinculante, ya que

Versión Publica

Clave	Criterio	Vinculación
		no se desarrollan actividades agrícolas que impliquen uso de fuego.
CAG06	Se deberá evitar el uso de aguas residuales urbanas para riego agrícola, y favorecer su utilización para el riego de áreas verdes urbana o huertos (parques, jardines, etc.), siempre y cuando sean tratadas y cumplan con parámetros establecidos en la legislación aplicable.	Dado que el proyecto no contempla riego ni actividades agrícolas, no se vincula, ya que no existe uso de agua residual con fines agrícolas.
CAG07	Las actividades pecuarias que se desarrollen bajo métodos de producción intensiva y en confinamiento (estabuladas) deberán contar con un programa de manejo de residuos aprobado por las autoridades competentes y prever un sistema para el tratamiento, reutilización o disposición final de las aguas residuales.	El proyecto no incluye actividades pecuarias ni manejo de ganado, por lo que no es vinculante, al no existir este tipo de operaciones en el sitio.
CAG08	Las actividades pecuarias que se quieran establecer en el territorio deberán considerar una franja de 50 metros a partir de la zona federal a ambos lados de cauces de ríos, arroyos y escorrentías, exceptuando la actividad apícola.	Al no desarrollarse actividades pecuarias dentro del proyecto, no se vincula, ya que no aplica a su naturaleza.
Criterios para los Asentamientos humanos y actividades urbanas (CAH)		
CAH01	Se deberán seguir los lineamientos, normas y criterios establecidos en los Programas de Desarrollo Urbano con jurisdicción en la UGA.	El proyecto, al ubicarse en un relleno sanitario existente dentro del municipio de Colón, deberá cumplir con la normatividad urbana vigente. Por ello, sí se considera vinculante, ya que deberá respetar los instrumentos de planeación territorial y uso de suelo correspondientes.
CAH02	Los nuevos desarrollos y edificaciones de carácter urbanos deberán apegarse a lo dispuesto por los planes y programas de desarrollo urbano vigentes y su temporalidad de proyección, las disposiciones del Código Urbano del Estado de Querétaro y el Reglamento de Construcciones Municipal de contar con éste.	El proyecto contempla infraestructura para captación, procesamiento y almacenamiento de biogás, por lo que deberá apegarse a los reglamentos de construcción y disposiciones aplicables. En este sentido, sí es vinculante, dado que implica la instalación de infraestructura fija.
CAH03	Para cualquier desarrollo inmobiliario se deberá presentar la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) de acuerdo con las modalidades y términos de referencia que emitan las autoridades en la materia en el ámbito de su competencia, así como un estudio Técnico Justificativo de Cambio de Uso de Suelo en caso de requerirse.	El proyecto claramente se encuentra dentro de este supuesto, ya que implica obras e instalaciones con potencial impacto ambiental. Por lo tanto, es plenamente vinculante, siendo la propia evaluación ambiental parte del cumplimiento de este criterio.
CAH04	Para delimitar, ampliar y construir la zona de urbanización ejidal y su reserva de crecimiento; así como para regularizar la tenencia de predios ubicados en suelo ejidal, en los que se hayan constituido asentamientos humanos irregulares, la	El proyecto no implica la creación de asentamientos humanos ni regularización de predios, sino la instalación de infraestructura en

Versión Publica

Clave	Criterio	Vinculación
	asamblea ejidal o de comuneros respectiva deberá ajustarse a las disposiciones jurídicas locales de desarrollo urbano y a la zonificación contenida en los planes o programas aplicables en la materia.	un sitio existente. Por ello, no se considera vinculante, ya que no corresponde a su alcance.
CAH05	Se deberán respetar las condicionantes establecidas en los estudios y programas para zonas de riesgo y vulnerabilidad, cuando se pretendan llevar a cabo edificaciones en dichas zonas.	El proyecto deberá considerar cualquier estudio de riesgo aplicable al sitio (por ejemplo, asociado a gases, explosividad o estabilidad del terreno). En este sentido, sí se considera vinculante, ya que implica la implementación de medidas de seguridad acordes a la naturaleza del proyecto.
CAH06	Se deberá evitar el establecimiento de asentamientos humanos irregulares.	El proyecto no implica desarrollo habitacional ni crecimiento urbano, por lo que no se vincula, ya que no promueve asentamientos.
CAH07	Las forestaciones y reforestaciones en las UGAs con política ambiental urbana deberán realizarse con especies nativas en al menos un 70% de la superficie destinada. El tamaño mínimo recomendado de los árboles deberá ser de 1m.	El proyecto no contempla programas de forestación o reforestación, además de que el sitio carece de vegetación nativa. Por ello, no se considera vinculante, debido a que no aplica dentro de sus actividades.
CAH08	Restringir el crecimiento urbano en un radio de 500 metros a partir del perímetro de amortiguamiento del sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos.	Dado que el proyecto se ubica precisamente dentro de un sitio de disposición final existente, esta restricción refuerza la compatibilidad del uso actual del suelo. Por lo tanto, sí se considera vinculante, en el sentido de que el proyecto es congruente con esta restricción y no promueve crecimiento urbano en la zona.
CAH09	Restringir el crecimiento urbano en un radio de un kilómetro a partir del perímetro de bancos de material.	El proyecto no está relacionado con bancos de extracción ni promueve urbanización, por lo que no se vincula.
CAH10	Los proyectos, obras y actividades que requieran la instalación de campamentos o infraestructura temporal deberán aprovechar preferentemente las áreas abiertas libres de vegetación, y ubicarse en zonas al menos a una distancia de 100 metros de cauces y cuerpos de agua	Se utilizarán áreas previamente impactadas.
CAH11	Sin menoscabo en lo establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 Edificación Sustentable - Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos, la dotación de servicios, equipamiento e infraestructura en la UGA será siempre a cargo del empresario, constructor o o promotor del desarrollo de una instalación o	El proyecto contempla infraestructura propia para operación, incluyendo manejo de residuos. Además contempla el manejo adecuado de aguas residuales.

Versión Pública

Clave	Criterio	Vinculación
	establecimiento industrial. Los servicios referidos son los siguientes: **Agua potable.** Con factibilidad del servicio emitido por la Comisión Estatal del Agua de Querétaro y del Organismo Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, en el ámbito de sus competencias, para todo el desarrollo y por conducto de toma domiciliaria y con garantía de cumplimiento de la NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización y la NOM-179-SSA1-1998, Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. **Aguas residuales y drenaje.** A través de conexión al albañal (descarga domiciliaria) y con garantía de cumplimiento de la NOM-002-Semarnat-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal; o, en su caso, fosa séptica si la Comisión Estatal del Agua de Querétaro y del Organismo Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, en el ámbito de sus competencias, lo autorizan por escrito y en cumplimiento de la NOM-001-Semarnat-1996 y la NOM-006-Conagua-1997 fosas sépticas – especificaciones y métodos de prueba. **Aguas pluviales.** Que cuente con drenes marginales para la eliminación de las aguas pluviales excedentes con áreas disponibles para la disposición de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de conformidad con lo establecido por la Comisión Estatal del Agua de Querétaro. **Energía eléctrica.** Debe contar en la vialidad de acceso al terreno y cumplir con la normatividad que establece la Comisión Federal de Electricidad y empleando preferentemente el uso de energías alternativas e n los esquemas de cogeneración que tiene la Comisión Federal de Electricidad. **Alumbrado público.** Según necesidades del Conjunto Urbano normadas por los municipios. Vialidad. Debe contar con vialidad de acceso al terreno. **Guarniciones.** Se requiere para habitar el desarrollo de acuerdo con la normatividad aplicable del estado de Querétaro. **Pavimentación en vialidades.** Se requiere para habitar el desarrollo de acuerdo con la normatividad aplicable para el estado de Querétaro, las normas que marca la Secretaría de Desarrollo Territorial y Urbano–en todas sus modalidades- y contar con la aprobación y validación de las Dirección de Obras Públicas municipales del ayuntamiento. **Modernización de vialidades.** Se deberán generar pasos de fauna silvestre de modo que asegure el transito libre y seguro de las especies identificadas y probables en la zona.	

Versión Publica

Clave	Criterio	Vinculación
	Éstos deberán ser adecuados según su etología y patrones de distribución. Se deberá colocar señalética que informe sobre la presencia de fauna silvestre y otros mensajes que promuevan la conservación y protección de los recursos naturales. Se deberán respetar los escurrimientos naturales. **Telefonía.** De acuerdo a la factibilidad del servicio Gas. Se requiere para habitar el desarrollo de conformidad con la validación, aprobación y validación de las direcciones de Protección Civil municipales y estatales. **Seguridad.** Se deberá presentar un proyecto de seguridad validado y aprobado por las Dirección de Seguridad Pública municipal correspondiente. Transporte Público. Acuerdo con la dirección de Tránsito Municipal correspondiente para la provisión del servicio. **Limpia y disposición de residuos.** Contar con la aprobación y visto bueno de la dotación de servicio de recolección de basura y disposición final de residuos urbanos, de manejo especial y peligrosos por parte de la autoridad municipal, estatal o federal correspondientes. **Mobiliario Urbano.** Deberá desarrollarse conforme a los lineamientos establecidos por la Secretaría de Desarrollo Territorial y Urbano federal y tomando en consideración el empleo de materiales de bajo costo de mantenimiento, diseño sustentable e integrados a los lineamientos de imagen urbana que las autoridades municipales establezcan.	
Criterios para las actividades de Extracción de materiales (CE)		
CE01	La exploración y explotación de los minerales o sustancias, sólo podrá realizarse por personas físicas de nacionalidad mexicana, ejidos y comunidades agrarias, pueblos y comunidades indígenas, y sociedades constituidas conforme a las leyes y normas mexicanas, mediante concesiones mineras otorgadas por la SEMARNAT.	El proyecto no contempla actividades de extracción minera ni explotación de materiales pétreos, ya que se enfoca exclusivamente en el aprovechamiento de biogás generado en un relleno sanitario. Por lo tanto, no se considera vinculante, debido a que no existe ninguna actividad relacionada con minería o extracción de recursos del subsuelo.
CE02	Al término de un proyecto de exploración minera directa, el área en que se desarrollaron los trabajos deberá realizarse un programa de restauración que contemple acciones tales como la estabilización de taludes, el relleno de pozos de exploración, el relleno de zanjas, la escarificación de suelos, la inhabilitación de caminos y la reforestación, siendo los responsables de su ejecución los promoventes de dicho proyecto. El programa deberá contener el calendario de actividades, incluyendo las correspondientes al mantenimiento. Cuando se produzca tala de árboles y arbustos se deberá cuantificar, para programar la reforestación que compense el daño.	Dado que el proyecto no implica exploración ni explotación minera, ni la alteración de nuevas superficies, no se vincula, ya que no aplica al tipo de obra que se desarrollará.

Versión Pública

Clave	Criterio	Vinculación
CE03	Los responsables de la emisión de partículas sólidas a la atmósfera provenientes de fuentes fijas por actividades de extracción de materiales y/o minerales deberán cumplir con las especificaciones sobre concentración y niveles máximos permisibles fijadas en la NOM-043-SEMARNAT-1993.	El proyecto no genera emisiones por extracción de materiales, aunque sí contempla emisiones asociadas al biogás, las cuales serán controladas mediante sistemas de captación y tratamiento. En este contexto, no se considera vinculante en su sentido específico, ya que no aplica a fuentes de extracción minera.
CE04	Las personas físicas y morales responsables de fuentes contaminantes están obligadas a proporcionar la información, datos y documentos necesarios para integrar un registro de emisiones y transferencia de contaminantes a las instancias competentes si así lo requieren.	El proyecto apegará al marco de la normatividad ambiental aplicable al manejo de biogás.
CE05	La explotación de bancos de materiales no será autorizada a menos de 1 kilómetro de zonas urbanas o centros de población, y se recomienda la misma distancia con respecto a los cuerpos de agua, zonas de inundación y pozos de extracción de agua para consumo humano; así como en zonas consideradas de alta capacidad para la infiltración y recarga de acuíferos.	Dado que el proyecto no contempla explotación de bancos de material, no se vincula.
CE06	Se respetará una franja de amortiguamiento de 20 metros como mínimo alrededor de la zona de explotación del predio en todo el perímetro de este, en la cual se conservarán intactos la flora, la fauna y el suelo.	El proyecto no incluye actividades extractivas ni modificación adicional del terreno, por lo que no es vinculante.
CE07	La extracción de los materiales deberá ser uniforme sin dejar obstáculos ni montículos en el interior de la mina que interfieran con las acciones de nivelación y restauración.	Al no haber extracción de materiales, no se vincula con el proyecto.
CE08	El área ocupada por conductos (de agua, gas, petróleo y sus derivados) y/o líneas de transmisión o de comunicación, así como sus respectivos derechos de vía no podrá incorporarse como zona de explotación. En caso de colindancia con una vía de comunicación carretera deberá existir una franja de amortiguamiento que separe el predio explotado del derecho de vía federal o estatal de por lo menos 20 metros adicionales a lo previsto para tal fin.	Dado que no hay explotación minera ni intervención de ese tipo, no se considera vinculante.
CE09	Para obras de exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la federación, previa autorización de la SEMARNAT, así como para los bancos de explotación de materiales, se verificará se efectúe fuera de cauces y cuerpos de agua intermitentes o permanentes, en zonas agrícolas, ganaderas o eriales y en zonas con climas secos o templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinares, ubicados fuera de las Áreas Naturales Protegidas. En este caso la extracción estará condicionada a lo establecido en su Decreto y/o Programa de Conservación y Manejo correspondiente.	El proyecto no realiza estas actividades, por lo que no se vincula.

Versión Pública

Clave	Criterio	Vinculación
CE10	Sólo deberá trabajarse un frente de explotación a la vez, a fin de permitir la restauración de aquellos que ya han sido trabajados. Queda condicionada la explotación de un segundo frente a la rehabilitación del primero.	
CE11	Como medida de prevención de riesgo, el predio deberá ser delimitado físicamente con respecto a los predios contiguos preferentemente con postes de concreto o cercos vivos (con especies regionales), excepcionalmente con malla ciclónica, cerca de alambre de púas.	Aunque el sitio sí cuenta con delimitación, el criterio está enfocado a minería, por lo que no se considera vinculante en este contexto.
CE12	La ejecución de los trabajos de restauración o rehabilitación es obligatoria y deberá llevarse a cabo en los términos previstos para la rehabilitación de bancos de materiales a través de bancos de tiro controlados. En caso de incumplir, se podrá solicitar el cumplimiento forzoso de los mismos, así como aplicar la sanción que corresponda.	No es vinculante ya que el proyecto no contempla actividades extractivas ni minería.
CE13	Para los sitios de extracción de materiales pétreos, es obligatoria la restitución del suelo y la capa vegetal que se retiró originalmente del sitio, cubriendo el piso del banco de materiales en su totalidad, con especies regionales inmediatamente después de su aprovechamiento y del término de los trabajos de explotación.	El proyecto no contempla remoción de suelo adicional, por lo que no es vinculante.
CE14	Para la protección del subsuelo y del manto freático por la extracción mineral, se deberá usar de recubrimiento con geomembrana sintética para la impermeabilización por la posible pérdida de cianuro y residuos contaminantes en los sitios de depósito de residuos mineros (jales).	Aunque el relleno sanitario sí utiliza sistemas de impermeabilización, este criterio es específico para jales mineros, por lo que no se considera vinculante de manera directa.
CE15	Los Bancos de material deben permanecer a una distancia de 300 metros del eje de derecho de vía de las vialidades.	El proyecto no contempla el uso de bancos de materiales por lo que no es vinculante
Criterios para las actividades Forestales (CF)		
CF01	En las áreas forestales, de protección, conservación, restauración o en las zonas aledañas a las mismas, las acciones de reforestación deberán considerar las especies regionales y las densidades naturales de la vegetación en la zona o región. Preferentemente quedan excluidas del plan las especies de eucalipto, jacaranda, pirul y casuarina por su alta competitividad y demanda de agua.	No se vincula con este criterio, debido a que el área del proyecto se encuentra desprovista de vegetación como resultado de su uso previo como relleno sanitario, por lo que no existen comunidades vegetales susceptibles de ser afectadas.
CF02	En la ejecución de los proyectos autorizados se deberá restringir el tránsito de todo tipo de vehículos fuera de los caminos ya establecidos en la UGA, para evitar perturbaciones al ecosistema.	No se vincula, ya que el proyecto no contempla actividades de aprovechamiento de flora ni extracción de especies vegetales.
CF03	Los terrenos forestales (vegetación nativa) que excepcionalmente tengan cambios de usos del suelo para la creación de proyectos de desarrollo, deberán estar sujetos a medidas de compensación ecológica. Se deberá mantener al menos la mitad de superficie de la vegetación del predio, incluyendo la franja perimetral de vegetación.	No se vincula, debido a que no se realizarán actividades de remoción o aprovechamiento de vegetación en el área del proyecto.

Versión Publica

Clave	Criterio	Vinculación
CF04	Las plantaciones forestales comerciales se establecerán en predios de agricultura de temporal, pastizales inducidos o áreas erosionadas que no tengan vegetación arbórea.	No se vincula con este criterio, ya que no existe vegetación natural en el sitio que requiera protección o manejo especial.
CF05	Los criterios, las especificaciones técnicas y los periodos de aprovechamiento de los recursos forestales no maderables se determinarán de acuerdo con los ciclos de recuperación y regeneración de la especie y sus partes por aprovechar.	No se vincula, debido a que no se realizarán actividades de aprovechamiento de recursos forestales no maderables en el área del proyecto.
CF06	Se deben mantener franjas de vegetación de galería, al menos 30 m de ancho, paralelas en ambos lados del cauce de ríos y arroyos que crucen el predio de la plantación forestal comercial. Los cuerpos de agua dentro de las áreas de corta total deberán mantener una franja no menor a 10 metros de vegetación natural para su protección.	No se vincula, debido a que el sitio ya fue previamente impactado y no presenta vegetación nativa que pueda verse afectada por las actividades del proyecto.
CF07	Si la autoridad competente, por excepción, autoriza desmontes en terrenos con vegetación forestal, se tendrá que reubicar el 60% de las especies leñosas y suculentas; y se deberá realizar de manera gradual conforme al avance de la obra, permitiendo a la fauna las posibilidades de establecerse en las áreas aledañas.	No aplica ya que no existen comunidades vegetales relevantes en el área del proyecto, por lo que no se generan afectaciones a este componente.
Criterios para el Manejo de Residuos (CMR)		
CMR01	Los ranchos o granjas ganaderas con una producción mayor a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año deberán contar con un convenio con alguna empresa que se haga cargo de ellos o con un biodigestor de acuerdo con su origen.	El proyecto no es de carácter pecuario, por lo que no se considera vinculante.
CMR02	Para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, se deberá respetar el plan de manejo respectivo para el relleno sanitario destino y según Norma Oficial Mexicana para su clasificación, a fin de diferenciar los Residuos de Manejo Especial y los Residuos Urbanos enlistados en la misma.	El proyecto se desarrolla dentro de un relleno sanitario, por lo que está directamente relacionado con la gestión de residuos. En este sentido, sí se considera vinculante, ya que el proyecto debe alinearse con el plan de manejo del sitio.
CMR03	Las empresas que almacenen comercialicen, produzcan, empleen o generen materiales o residuos peligrosos, deberán informar a la Unidad Estatal de Protección Civil, las características que para tal efecto mencione el Reglamento de la presente Ley, en los supuestos siguientes: I. En el mes de enero de cada año; II. Cuando la Unidad Estatal de Protección Civil se lo solicite; y III. Cuando modifiquen la cantidad de almacenaje, con relaciÃ³n a lo que habían informado previamente.	Se dará aviso y registro de residuos peligrosos ante autoridades.
CMR04	El plan de manejo deberá cumplir con la Norma Oficial Mexicana que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros, para los residuos enlistados en la misma.	El proyecto no genera residuos mineros.
CMR05	Se deberá contar con la capacidad y con la normativa adecuada para evitar la liberación accidental al medio ambiente de organismos genéticamente modificados	Dada la naturaleza del proyecto no hay Organismos Genéticamente Modificados.

Versión Pública

Clave	Criterio	Vinculación
	provenientes de residuos de cualquier tipo de procesos en los que se hayan utilizado dichos organismos.	
CMR06	La Secretaría en materia de sanidad vegetal regulará las especificaciones bajo las cuales se deberán desarrollar los estudios de campo para el establecimiento de los límites máximos de residuos de plaguicidas.	Dada la naturaleza del proyecto no se usan plaguicidas.
CMR07	En las autorizaciones relativas a acumulaciones o depósitos de residuos que puedan infiltrarse en los suelos, se establecerán las prevenciones para evitar la contaminación de suelos; las alteraciones en los procesos biológicos y fisicoquímicos que tienen lugar en los suelos; las alteraciones que perjudiquen el aprovechamiento y explotación de los suelos; la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos; y los riesgos y problemas de salud en general.	Se implementan medidas para evitar infiltración y contaminación.
CMR08	En el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos, se deberán aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social.	Se promueve el manejo integral y valorización de residuos.
CMR09	Los sitios de confinamiento de residuos peligrosos previamente estabilizados, respecto a las siguientes instalaciones: aeropuertos, estaciones de carga marítima, centrales de transporte terrestre, hospitales, reclusorios, centros de readaptación social, escuelas, templos, pozos o áreas de abastecimiento de agua o edificaciones declaradas como patrimonio histórico y/o cultural, se deberá ubicar a una distancia mínima de mil metros (1000 m) medidos desde el punto más cercano del perímetro del sitio de confinamiento, incluyendo sus zonas de amortiguamiento, al punto más cercano de la instalación.	Se realizará manejo adecuado de residuos peligrosos en áreas controladas.
Criterios para el Manejo sustentable del agua (CMA)		
CMA01	Las localidades con una población mayor a 500 de habitantes deberán contar con una planta de tratamiento de agua	No aplica ya que el proyecto se ubica en un relleno sanitario
CMA02	Descargar las aguas residuales a los cuerpos receptores previo tratamiento, cumpliendo con las Normas Oficiales Mexicanas (ejemplo: NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-ECOL-1997, NOM-001-CONAGUA-2001) o las condiciones particulares de descarga, según sea el caso y procurar su reuso.	Las aguas residuales serán manejadas conforme a normatividad. Además, el proyecto contempla el manejo adecuado de aguas residuales.
CMA03	Es una condicionante para la sustentabilidad el mantener la cobertura vegetal natural en una franja de al menos 100 metros a partir del límite de la zona federal a ambos lados del cauce de ríos y arroyos, con excepción de casos de necesidad por fines sanitarios, previa autorización de la autoridad competente.	El proyecto no tiene contemplado alterar cauces.
CMA04	En todos los escurrimientos se deberá favorecer el establecimiento y no remoción del estrato herbáceo.	No se elimina vegetación ribereña.

Versión Pública

Clave	Criterio	Vinculación
CMA05	Se deberán conservar los cauces de los ríos de la UGA cuya toponimia está reconocida por el INEGI, protegiendo la vegetación de galería y de otras coberturas vegetales naturales de la misma, en una franja de 50 metros a partir de la delimitación de la zona federal.	El proyecto no tiene contemplado la modificación de escurrimientos.
CMA06	Desarrollar prácticas de conservación de los escurrimientos perenes de la UGA, protegiendo la vegetación natural de la misma, en una franja de 25 metros a partir de la delimitación de la zona federal del cauce. En caso de no existir delimitación de la zona federal se deberán proteger 30 metros en cada margen del escurrimiento.	No se generan afectaciones hidrológicas.
CMA07	Desarrollar prácticas de conservación de los escurrimientos efímeros de la UGA, protegiendo la vegetación natural de la misma, en una franja de 5 metros en cada margen del mismo.	El proyecto se desarrolla en un sitio previamente impactado, sin intervención en cuerpos de agua ni vegetación natural, no se consideran vinculantes, ya que no existe interacción directa con estos elementos.
CMA08	Se deberán respetar la morfología natural de los cauces y escurrimientos de la UGA	
CMA09	Cualquier obra que interrumpa los cauces o escurrimientos naturales de competencia federal deberá contar con la autorización correspondiente de la CNA o la SEMARNAT en el ámbito de sus competencias.	
CMA10	La construcción de caminos y todo tipo de infraestructura deberá evitarse dentro de las zonas ribereñas y de inundación de los cauces.	
CMA11	En los cauces poco profundos (<30 cm) de la UGA deberán evitarse cualquier actividad, y deberá favorecerse el establecimiento de una zona de amortiguamiento que incluya, a partir del límite de la zona federal, al menos 5 m a cada lado del cauce.	
Criterios para la actividad de Pesca (CP)		
CP01	En los Sitios RAMSAR, así como en aquellos de interés para la conservación de la flora y fauna silvestres, las actividades pesqueras y acuícolas deberán desarrollarse ya sea conforme a la normatividad aplicable o programas de manejo.	No existen cuerpos de agua con aprovechamiento pesquero.
CP02	No se deberá edificar infraestructura pesquera (plantas procesadoras, cuartos fríos, almacenamiento) a menos de 50 metros del límite de la zona federal de los cuerpos de agua.	
CP03	Se debe realizar la pesca con la concesión o permiso correspondiente.	
CP04	Será motivo de infracción explotar el recurso en cantidad mayor O fuera de lo establecido en las normas oficiales mexicanas o en el título respectivo.	
Criterios para la Protección de la biodiversidad (flora, fauna) (CB)		
CB01	Los propietarios, poseedores o titulares de otros derechos sobre tierras, aguas y bosques comprendidos dentro de zonas de protección deberán sujetarse a las previsiones contenidas en el programa.	El proyecto se ubica en un sitio regulado y no corresponde a un área de conservación activa con presencia de biodiversidad relevante

Versión Publica

Clave	Criterio	Vinculación
CB02	Se sancionará la extracción sin permiso de flora y fauna nativa, sobre todo de aquellas especies bajo alguna categoría de riesgo.	El proyecto no realiza extracción ni aprovechamiento de especies, además de que el sitio ya fue previamente impactado y no presenta fauna nativa relevante. Por lo tanto, no se vincula con el proyecto, ya que no se realiza extracción de flora y fauna.
CB03	El aprovechamiento de especies en peligro de extinción afectada por el comercio está sujeto a reglamentación, requerirá previa concesión y presentación de un permiso.	Dado que no se identificaron especies dentro de la NOM-059 y no se realizan actividades de aprovechamiento, no se considera vinculante.
CB04	La introducción, cultivo o liberación de especies de flora y fauna, potencialmente invasoras o exóticas, se debe evitar, y contar con las autorizaciones o visto bueno de las instancias en materia ambiental Federal, Estatal y/o municipal de acuerdo a su competencia.	El proyecto no contempla liberación ni manejo de especies, por lo que no se vincula.
CB05	Se deberán tomar todas las medidas necesarias para la compensación y minimización del daño a la flora y fauna indicadas en la norma oficial mexicana, sobre la ubicación de sitios con condiciones suficientes para la reubicación de organismos vivos, que garantice la mayor supervivencia de estos, y permita el desplazamiento de la fauna a zonas menos perturbadas y limite el acceso de la fauna a zonas de peligro.	No se considera vinculante, debido a la ausencia de organismos a proteger o reubicar.
CB06	La restauración del territorio se deberá realizarse mediante prácticas de repoblación con especies leñosas y herbáceas de la región.	El proyecto no contempla restauración ecológica directa, por lo que no se vincula.
CB07	La introducción de especies exóticas sólo podrá realizarse cuando exista suficiente evidencia experimental, validada por instituciones de investigación que demuestren que estas no constituyen un riesgo para los ecosistemas y la biodiversidad de la región.	El proyecto no contempla la introducción de especies
CB08	En las zonas núcleo de las áreas naturales protegidas quedará expresamente restringido verter o descargar contaminantes en el suelo, subsuelo y cualquier clase de cauce, vaso o acuífero, así como desarrollar cualquier actividad contaminante	El proyecto no se ubica en un Área Natural Protegida, por lo que no se vincula.
CB09	Una vez establecida un área natural protegida, sólo podrá ser modificada su extensión, y en su caso, las actividades permitidas o su aptitud de manejo, por la autoridad que la haya establecido, siguiendo las mismas formalidades previstas en la Ley y la normatividad aplicable correspondiente para la expedición de la declaratoria respectiva.	
CB10	Los proyectos de desarrollo de vías generales de comunicación deberán instalar estructuras que faciliten el libre tránsito de la fauna silvestre entre ambos flancos de la obra terminada, así como la señalización preventiva	El proyecto no implica construcción de carreteras ni existe fauna relevante en la zona, por lo que no se vincula, ya que el sitio está previamente impactado

Versión Pública

Clave	Criterio	Vinculación
	necesaria para reducir la exposición de la fauna al flujo vehicular.	y no hay presencia de fauna nativa.
Criterios para las acciones de Regeneración, recuperación y rehabilitación del suelo (CS)		
CS01	Los proyectos agrícolas-forestales que se ubiquen en terrenos con pendientes de 25% a 40%, deberán contar con obras de conservación de agua y suelos para evitar la erosión y el azolve de cuerpos de agua.	El proyecto no corresponde a actividades agrícolas ni forestales, ni implica el uso productivo del suelo bajo estas condiciones. Además, se desarrolla dentro de un sitio previamente intervenido (relleno sanitario). Por lo tanto, no se considera vinculante, ya que no aplica al tipo de actividad ni al uso de suelo del proyecto.
CS02	Para mitigar los efectos adversos ocasionados a la biodiversidad por el cambio de uso de suelo de terrenos forestales a agropecuarios se deberá considerar las especificaciones indicadas en la NOM-062-SEMARNAT-1994. Para las franjas perimetrales de vegetación natural que sirvan como cortinas rompevientos para mitigar el efecto de los procesos erosivos.	En estas áreas el proyecto no implica cambio de uso de suelo forestal, ni transformación hacia actividades agropecuarias. Asimismo, el sitio ya presenta una condición altamente perturbada sin vegetación nativa. En consecuencia, no se vincula con el proyecto, debido a que no se generan este tipo de impactos.
CS03	La utilización de plaguicidas, fertilizantes y substancias tóxicas debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas, considerando sus efectos sobre la salud humana y la peligrosidad de su utilización, de acuerdo con los parámetros establecidos por la legislación en materia ambiental.	El proyecto no contempla el uso de este tipo de insumos, ya que su enfoque es el manejo y aprovechamiento de biogás. Por lo tanto, no se considera vinculante, al no existir aplicación de sustancias agroquímicas.
CS04	Se deberá mantener la cobertura vegetal natural en las zonas con pendientes mayores al 15% que drenen directamente hacia cuencas y cauces tributarios, con el fin de evitar la erosión y arrastre de sedimentos hacia los cuerpos de agua.	Dado que el proyecto no interviene áreas con cobertura vegetal natural ni modifica pendientes con vegetación, además de ubicarse en un sitio previamente impactado, no se considera vinculante, ya que no hay cobertura vegetal que conservar ni procesos erosivos asociados al proyecto.
Criterios para las actividades de Turismo alternativo (CT)		
CT01	En los sitios donde se promueva el turismo alternativo será requerido realizar investigaciones e indicadores sobre el impacto ambiental generado por la actividad turística planeada, así como las medidas de mitigación, compensación y o protección de los ecosistemas en que se encuentren.	El proyecto no tiene fines turísticos ni contempla actividades recreativas, por lo que no se vincula con el proyecto, al no corresponder con su naturaleza.

Versión Publica

Clave	Criterio	Vinculación
CT02	Cuando la prestación de servicios de turismo alternativo se efectúe dentro de un área natural protegida, las actividades permitidas se sujetarán al reglamento y plan de manejo respectivo.	El proyecto no se ubica en un ANP ni desarrolla turismo, por lo tanto, no se considera vinculante.
CT03	Los programas de manejo para los prestadores de servicio en actividades de turismo alternativo deberán contener, según sea el caso, medidas para el reuso, reciclaje, disposición y tratamiento de residuos y aguas, a fin de no producir impactos negativos, en los ecosistemas propios del lugar.	El proyecto no tiene contemplado realizar actividades relacionadas con el turismo, por lo que no se vincula de manera directa, debido a que no es una actividad turística.
CT04	Para las rutas de turismo alternativo, se deberán buscar rutas que no modifiquen la estructura natural sobre los humedales, ríos y bosques de galería. En el caso inevitable, se deberán colocar alcantarillas que permitan el libre flujo del agua en ambos lados del camino, evitando que en un lado del camino se anegue el agua y en el otro se deseque.	El proyecto no contempla rutas ni infraestructura turística, por lo que no se considera vinculante.
CT05	Los proyectos turísticos autorizados de vías generales de comunicación deberán instalar estructuras que faciliten el libre tránsito de la fauna silvestre entre ambos flancos de la obra terminada, así como la señalización preventiva necesaria para reducir la exposición de la fauna al flujo vehicular.	Considerando que el proyecto no implica vías de comunicación ni existe fauna nativa relevante en el sitio debido a su condición previamente impactada, no se vincula con el proyecto, ya que no aplica a su alcance ni condiciones ambientales.

El proyecto se alinea con los criterios establecidos en el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Colón, al no afectar recursos naturales, no interferir con actividades productivas primarias y no inducir crecimiento urbano. Asimismo, incorpora medidas de manejo ambiental y control de residuos, garantizando su compatibilidad con el entorno.

3.7.4 Programa de Desarrollo Urbano de colón, Querétaro

Se realizó la sobreposición del polígono del proyecto con el Programa Municipal de Desarrollo Urbano del municipio de Colón, Querétaro. Como resultado de dicho análisis, se identificó que el área específica donde se pretende desarrollar el proyecto no presenta una zonificación definida dentro del instrumento de planeación urbana. No obstante, el proyecto no implica la generación de asentamientos humanos ni procesos de urbanización, por lo que no contraviene disposiciones en materia de desarrollo urbano. Asimismo, su ubicación dentro de un sitio previamente impactado permite su integración funcional sin generar conflictos con la estructura territorial del municipio.

3.8 Áreas Naturales Protegidas

El polígono del proyecto fue analizado mediante la sobreposición cartográfica con los instrumentos oficiales de delimitación de Áreas Naturales Protegidas de carácter federal, estatal y municipal. Derivado de este análisis, se determinó que el sitio del proyecto no se localiza dentro de ningún polígono decretado como Área Natural Protegida, ni en sus zonas de amortiguamiento. En este sentido, el desarrollo del proyecto no contraviene disposiciones relacionadas con la conservación de ecosistemas bajo régimen de protección, ni afecta directamente espacios con estatus legal de conservación.

Versión Pública

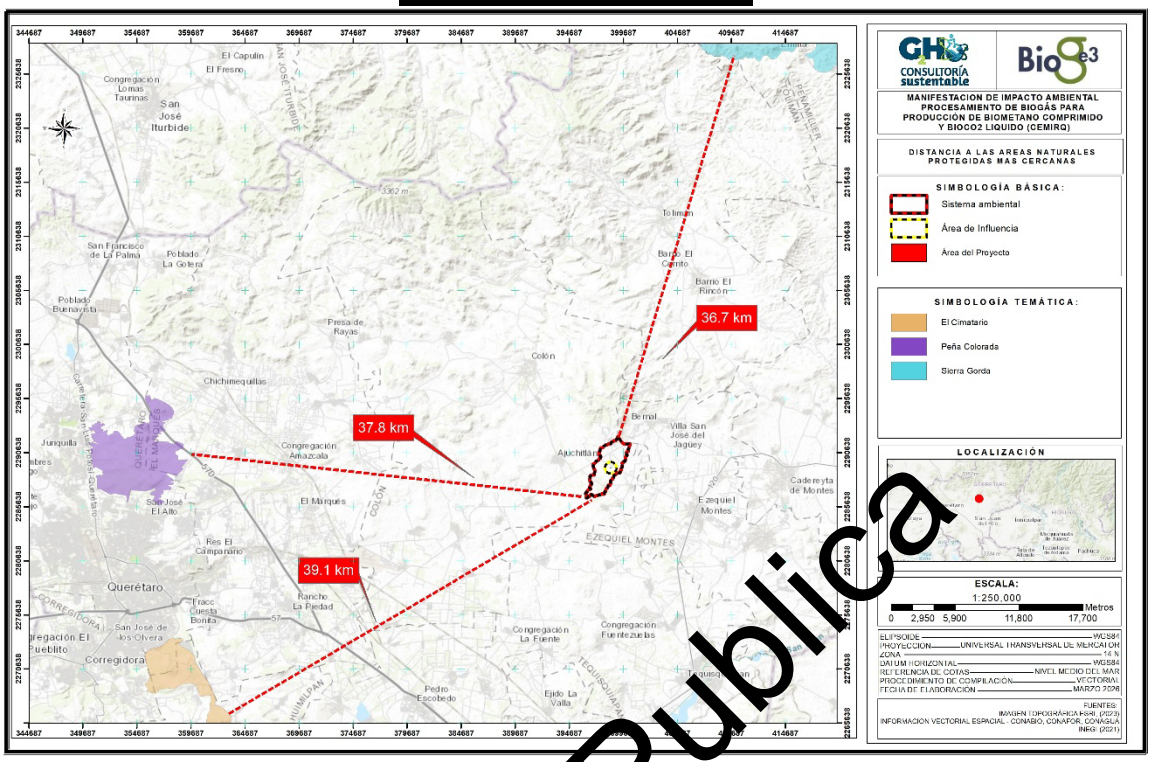


Figura 3.3 Distancia del Proyecto al Área Natural Protegida más cercana

Versión Publica

3.9 Sitios Prioritarias para la Restauración

Se realizó el análisis de sobreposición del polígono del proyecto con la cartografía oficial de Sitios Prioritarias para la Restauración, identificadas por las autoridades ambientales competentes. Derivado de dicho análisis, se determinó que el sitio del proyecto no se ubica dentro de ninguna zona catalogada bajo este criterio, ni en áreas que requieran acciones de restauración ecológica prioritaria. Asimismo, considerando que el proyecto se desarrolla en un espacio previamente impactado por actividades de disposición de residuos, no se identifican condiciones que lo vinculen con procesos de degradación ecológica que requieran intervención bajo este esquema. En este sentido, el desarrollo del proyecto no interfiere con programas o estrategias orientadas a la restauración ambiental, ni compromete la recuperación de ecosistemas en el territorio.

[redacted]

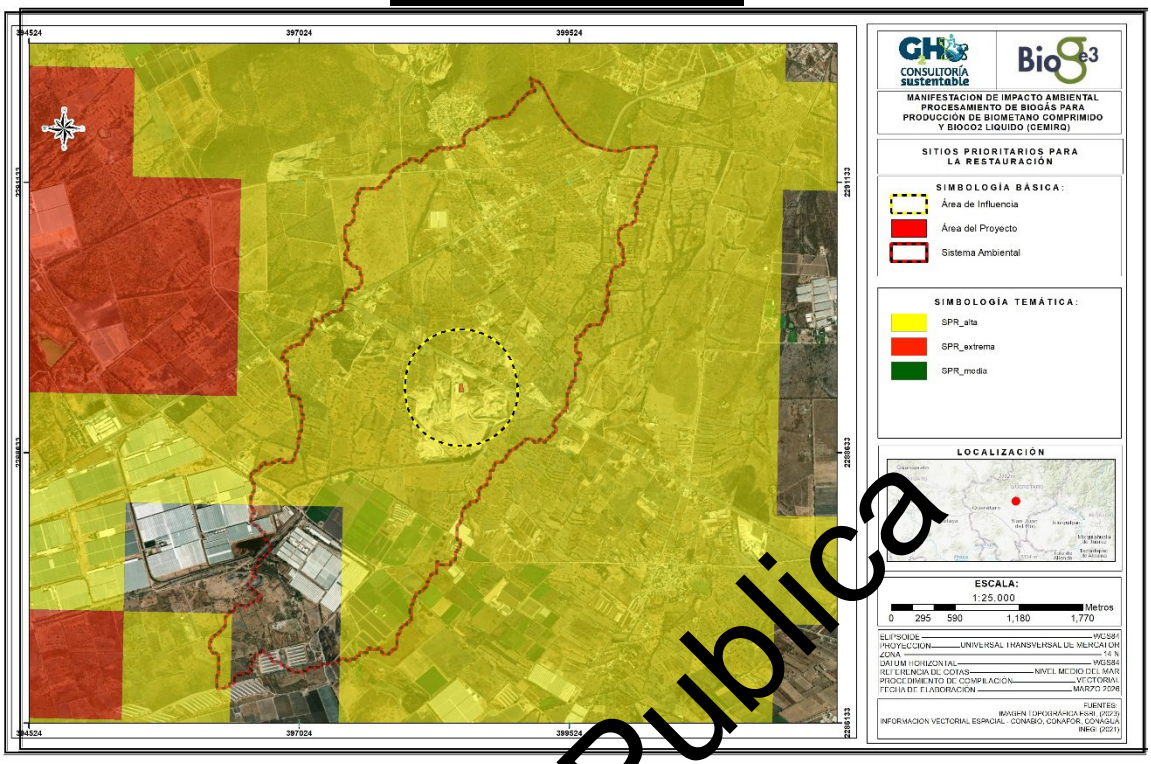


Figura 3.4 Distancia del Proyecto al Sitio Prioritario para la Restauración más cercano

3.10 Regiones Prioritarias

Con base en la revisión de cartografía oficial de regiones prioritarias para la conservación, incluyendo regiones terrestres, hidrológicas y marinas definidas por instancias competentes, se determinó que el área del proyecto no se ubica dentro de ninguna región prioritaria. Asimismo, no se identifican elementos ecológicos relevantes que impliquen condiciones de fragilidad ambiental especial dentro del sitio. Por lo anterior, el proyecto no representa un riesgo para áreas estratégicas de conservación ni para corredores biológicos prioritarios.

3.11 Conclusiones

Del análisis de los instrumentos normativos aplicables para el proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)", su presente modificación es congruente con lo dispuesto en la Ley de Biocombustibles, la Ley de Biocombustibles y la Ley de Planeación y Transición Energética, posicionándolo como una alternativa sostenible a los combustibles fósiles. Esta iniciativa no solo apoya la transición energética, sino que también fortalece la resiliencia energética mediante la reducción de la dependencia de fuentes no renovables.

BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. cumplirá con las normativas aplicables y refuerza su compromiso con la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la protección del medio ambiente, la gestión adecuada de recursos y la mitigación de impactos, manteniéndose alineado a las medidas previamente aprobadas y las que apliquen para la presente modificación.

Versión Publica

Por otra parte, el proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ líquido en el relleno sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" presenta una adecuada vinculación con el marco normativo ambiental y territorial aplicable, al desarrollarse en un sitio previamente impactado y ser compatible con el uso de suelo existente. A través del análisis de los instrumentos de ordenamiento ecológico y urbano, se determinó que el proyecto no contraviene disposiciones en materia de uso de suelo, no se ubica en Áreas Naturales Protegidas ni en regiones prioritarias para la conservación, y no afecta ecosistemas relevantes ni actividades productivas primarias.

Asimismo, el proyecto cumple con la legislación ambiental vigente mediante su sometimiento al procedimiento de evaluación de impacto ambiental, garantizando la identificación y mitigación de posibles impactos. De igual manera, incorpora el componente social a través de la elaboración de la Manifestación de Impacto Social del Sector Energético (MISEE), lo que permite asegurar su viabilidad social y la adecuada atención a los actores involucrados.

En conjunto, el proyecto representa una alternativa ambientalmente favorable al aprovechar el biogás generado en el sitio, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, promoviendo el uso eficiente de recursos y asegurando su desarrollo bajo criterios de sustentabilidad, cumplimiento normativo y responsabilidad ambiental.

Versión Publica

4 Descripción del Sistema Ambiental y señalamiento de la problemática ambiental detectada en el Área de Influencia del proyecto

4.1 Delimitación del Sistema Ambiental (SA)

El Sistema Ambiental (SA) ha sido definido a través de un proceso de recopilación y análisis de datos ambientales pertinentes, considerando la extensión y naturaleza del proyecto en cuestión. Se han priorizado los elementos bióticos y abióticos que exhiben características homogéneas y que podrían influir en el complejo planteado para la construcción del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ).".

Diversas capas de datos se han utilizado e integrado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para configurar el SA de forma que se logre una representación coherente y completa de los factores físicos relevantes que pudieran verse directa o indirectamente influenciados por la ejecución y operación del proyecto.

Se emplearon diferentes capas cartográficas oficiales provenientes del Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Colón, así como información temática complementaria a escala regional y local. La delimitación del SA se definió a partir de criterios ambientales, funcionales y normativos, considerando la interacción entre el proyecto y su entorno.

El Sistema Ambiental (SA) ha sido definido a través de un proceso de recopilación y análisis de datos ambientales pertinentes, considerando la extensión y naturaleza del proyecto en cuestión. Se han priorizado los elementos bióticos y abióticos que exhiben características homogéneas y que podrían influir en el complejo planteado para la construcción del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)."

El SA se ha configurado mediante la integración de diversas capas de datos en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el propósito de lograr una representación coherente y completa de los factores físicos relevantes que pudieran verse directa o indirectamente influenciados por la ejecución y operación del proyecto.

Metodología SIG empleada

Mediante ArcGIS se realizó la superposición y análisis espacial de diversas capas temáticas, tomando como punto de referencia la ubicación geográfica del polígono del proyecto. A partir de esta base, se identificaron las unidades ambientales y territoriales que presentan una relación directa o indirecta con las actividades del proyecto, lo que permitió establecer un Sistema Ambiental coherente con las características del medio físico y natural de la región.

Criterios considerados para la delimitación del Sistema Ambiental

1. **Microcuencas de la región**

La delimitación del SA incluyó en gran parte el análisis de las microcuencas hidrológicas, ya que estas representan unidades naturales de gestión ambiental. La incorporación de este criterio permite comprender la dinámica de escurrimientos superficiales, la dirección del flujo del agua y la posible

Versión Pública

influencia del proyecto sobre la captación, conducción y descarga de aguas pluviales, por lo que es importante considerar las microcuencas para evaluar impactos relacionados con la modificación del drenaje natural, el arrastre de sedimentos y la posible contaminación de cuerpos de agua aguas abajo.

2. **Uso de suelo y vegetación**

Se utilizó la capa de Uso de Suelo y Vegetación, Serie VII del INEGI para reconocer los tipos de cobertura vegetal y los usos antrópicos presentes en el área. Este criterio es relevante para identificar posibles afectaciones a ecosistemas naturales, áreas transformadas o zonas previamente impactadas por actividades industriales o agropecuarias.

Asimismo, este análisis permite evaluar la compatibilidad del proyecto con el entorno inmediato, así como estimar la magnitud de los impactos ambientales potenciales sobre la vegetación y los servicios ecosistémicos asociados.

3. **Geología**

Se incorpora el "Conjunto de datos vectoriales Geológicos serie I. Querétaro" con el fin de identificar las unidades litológicas presentes en el área de influencia del proyecto. Este criterio resulta fundamental, ya que la geología condiciona la estabilidad del terreno, la susceptibilidad a procesos geodinámicos (como fracturamientos o erosión) y el comportamiento del subsuelo ante la instalación.

La consideración de este componente permite evaluar posibles riesgos geológicos y asegurar que el proyecto se desarrolle en condiciones compatibles con las características estructurales del sitio.

4. **Red hidrológica**

Se integró la capa de red hidrológica, que incluye arroyos, cauces intermitentes y otros elementos de escurrimiento superficial. Este criterio se consideró debido a la importancia de proteger los cuerpos de agua y garantizar que las actividades del proyecto no interfieran con su funcionamiento natural.

El análisis de la red hidrológica permite identificar zonas de mayor sensibilidad ambiental, establecer medidas de prevención y diseñar estrategias de manejo adecuadas para evitar afectaciones durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento del proyecto.

La delimitación del Sistema Ambiental a partir de los criterios antes descritos permite contar con una visión integral del entorno en el que se inserta el proyecto, considerando tanto los elementos naturales como las condiciones territoriales existentes. El uso de información oficial del Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Colón garantiza la congruencia del análisis con los instrumentos de planeación ambiental vigentes.

De esta manera, el Sistema Ambiental definido constituye una unidad de análisis adecuada para la identificación, evaluación y mitigación de los impactos ambientales asociados al proyecto de Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ), asegurando un enfoque preventivo y alineado con la normatividad ambiental aplicable.

En el ANEXO IV. Georreferencias se adjuntan el archivo en formato .kmz del Sistema Ambiental

Versión Pública

4.1.1 Delimitación del Área de Influencia (AI)

Se considero un área de influencia del proyecto de 89.63 hectáreas, rodeando el polígono donde se pretende desarrollar el proyecto, con el objetivo de tener un mejor análisis que permita cuidar las características propias del sistema y no ser limitativo en la toma de decisiones de implementación de medidas de prevención y mitigación.

Tabla 4.1 Áreas de estudio

Área (ha)		
Sistema Ambiental	**Área de Influencia**	**Área del proyecto**
1083,78	89.63	0.2523

En las siguientes figuras se muestran las áreas planteadas, para su estudio y que permitan delimitar en función de la interacción que tendrán los ecosistemas y sus procesos con la implementación y desarrollo del proyecto.

Versión Publica

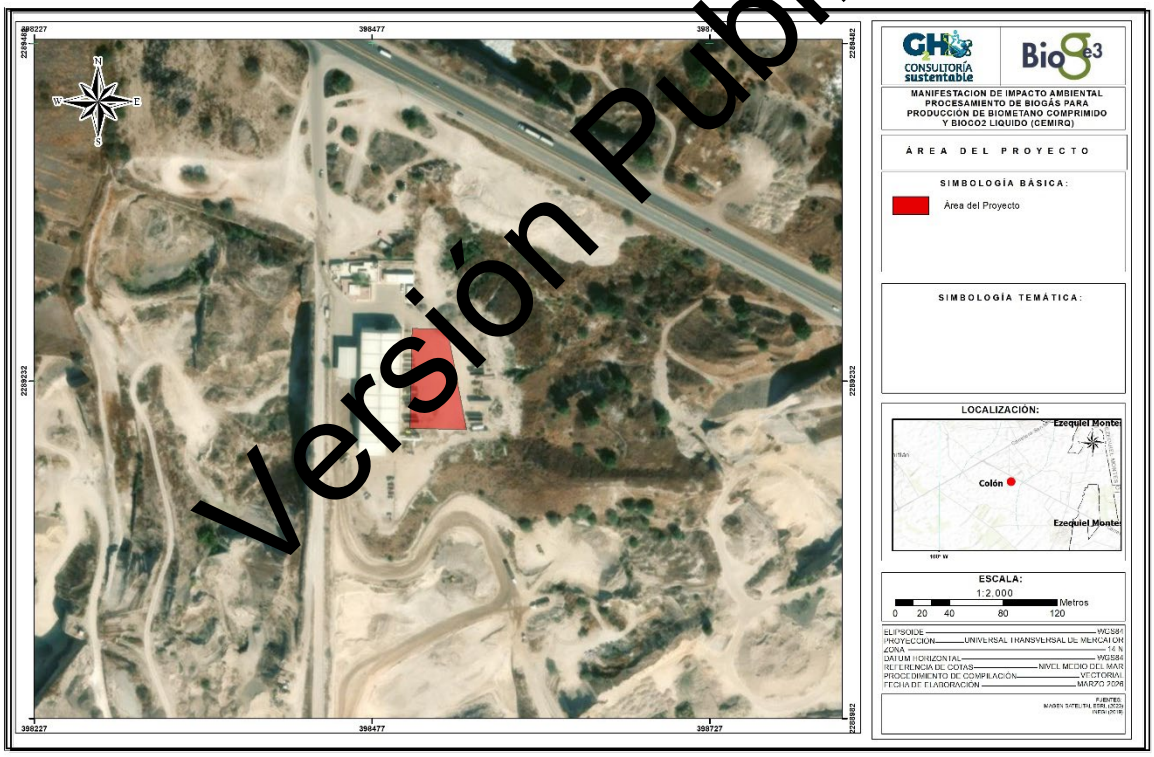


Figura 4.1 Área del Proyecto

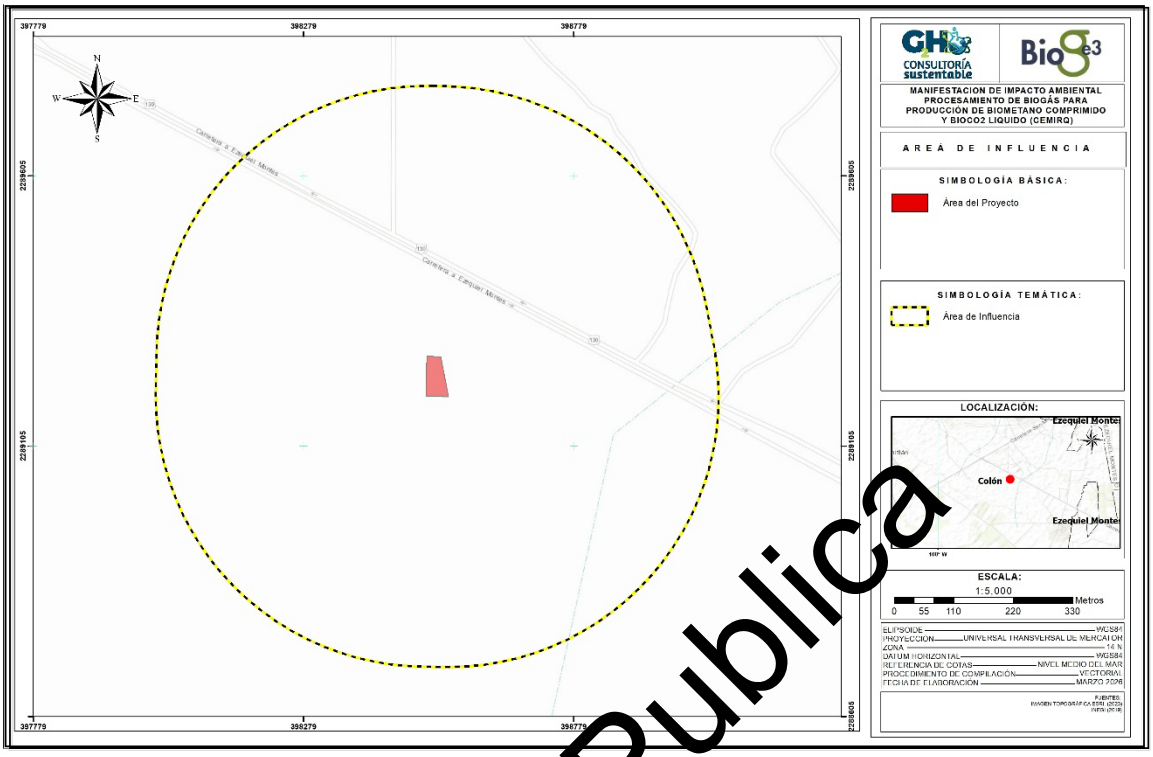


Figura 4.2 Área de Influencia

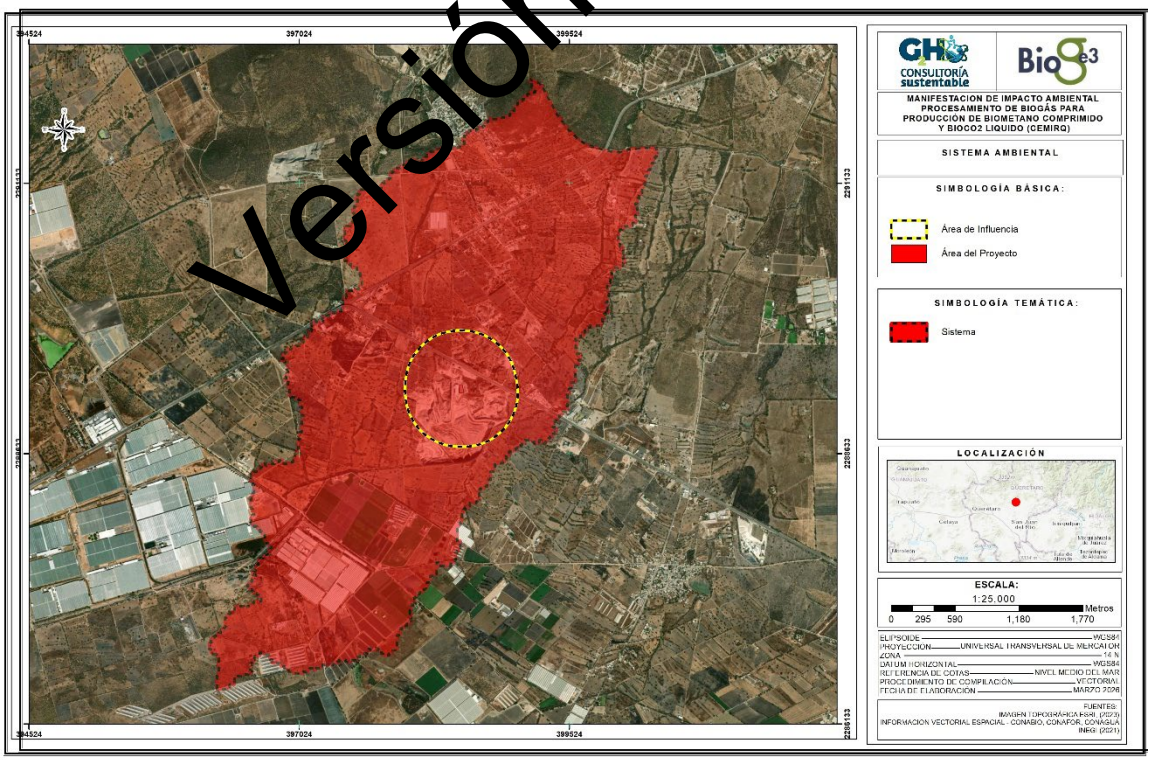


Figura 4.3 Sistema Ambiental

Versión Publica

4.2 Caracterización y análisis del Sistema Ambiental

La caracterización y análisis del Sistema Ambiental (SA) del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)." se realizó con base en la delimitación previamente establecida mediante criterios ambientales, territoriales y funcionales, apoyándose en el análisis espacial de información cartográfica oficial, así como en recorridos de campo efectuados dentro del Área del Proyecto y Área de Influencia.

Los recorridos tuvieron como objetivo verificar y complementar la información cartográfica y documental, así como identificar las características físicas, biológicas y socioeconómicas del entorno, permitiendo una evaluación integral del medio ambiente susceptible de ser impactado por el desarrollo del proyecto.

El análisis integrado del Sistema Ambiental indica que el proyecto se localiza en una superficie con algunos desarrollos industriales y ligero grado de modificación previo, rodeado de superficies de uso agrícola. Las condiciones físicas del sitio, la composición biológica y el contexto socioeconómico permiten prever que los impactos ambientales potenciales pueden ser identificados, evaluados y mitigados mediante la aplicación de medidas de manejo ambiental adecuadas.

La información generada a partir del análisis SIG y los recorridos de campo proporciona una base técnica sólida para la evaluación de impactos ambientales del proyecto de "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)".

4.2.1 Aspectos Abióticos

4.2.1.1 Clima

Tipo de Clima

De acuerdo con la carta de Clima de INEGI modificada por García, E. (2004) de Köppen, en el Sistema Ambiental convergen 2 tipos de climas: BS1kw correspondiente con un clima Semiarido Templado localizado en casi toda la superficie del SA y toda la superficie de ambos Área de Influencia y Área del Proyecto y BS1hw correspondiente con un clima Semiárido semicálido, localizdo este en una pequeña porción al sur del SA. En la siguiente figura se muestra la distribución de los tipos de climas.

Versión Pública

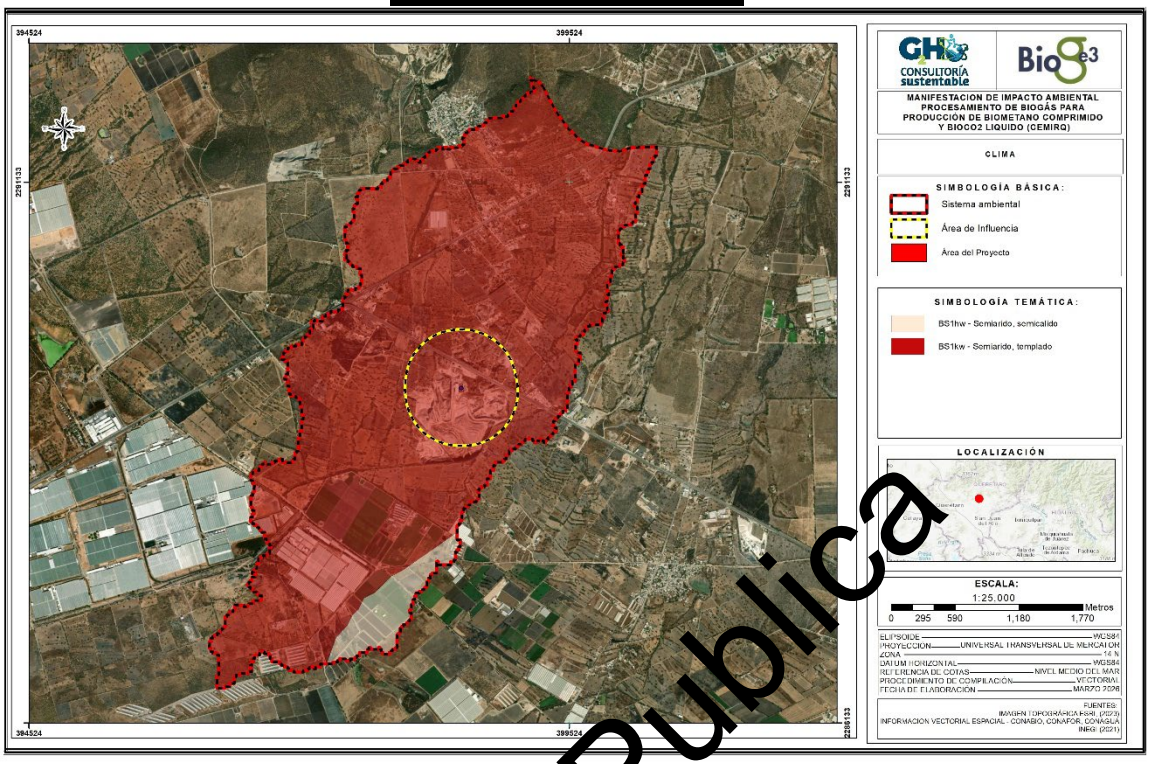


Figura 4.4 Clima

En la tabla siguiente se describen las características de cada tipo de clima:

Tabla 4.2 Características de los tipos de cima

Clima	Descripción
BS1kw - Semiarido Templado	Corresponde a un clima cálido con temperatura media anual > a 18°C y con un régimen de lluvias en verano
BS1hw - Semiseco Semicálido	Corresponde a un clima semicálido con invierno fresco, temperaturas medias anual de 18°C a 22°C y del mes más frío < 18°C, con un régimen de lluvias en verano.

Versión Publica

Precipitación, temperatura y viento

Para obtener los datos de precipitación y temperatura se localizan la Estaciones Climatológicas más cercanas, como se observa en la siguiente figura la Estación Climatológica más cercana al Sistema Ambiental es la 22304 – Villa Bernal, la cual se encuentra a 2.8 km al noreste, siendo una fuente de información adecuada con datos actualizados al 2025 e históricos desde 1973

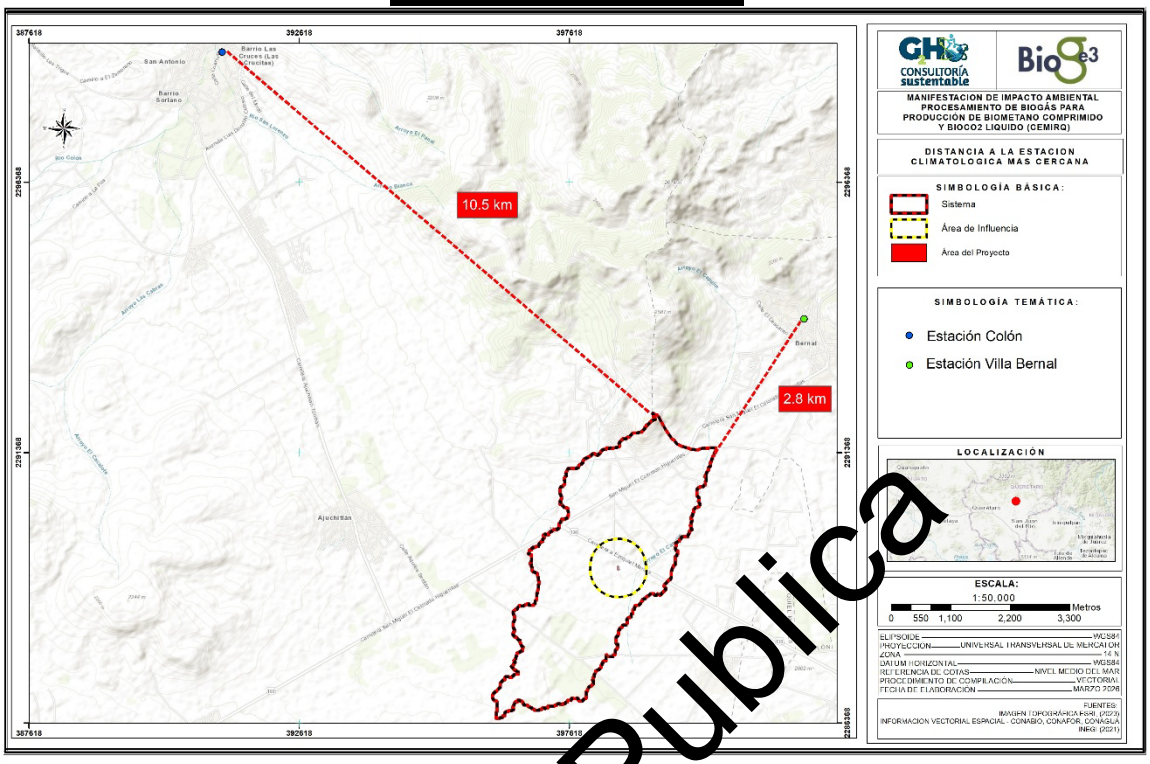


Figura 4.5 Distancia a la Estación Climatológica más cercana

Precipitación

De acuerdo con datos que van de 1973 a 2025 sobre la climatología de la Estación Meteorológica más cercana al Área del Proyecto, la cual corresponde a la Villa Bernal con clave 22304 y ubicada a 2.8 km al noreste en el municipio de Bernal, según información del Sistema Meteorológico Nacional, la precipitación promedio y temperaturas mínima, media y máxima promedio presentadas en dicho lapso, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4.3 Precipitación promedio en mm resultado del período 1991-2020

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
62.5	62	40.8	76.7	90.3	149.3	150	162.5	118	61.2	11.1	4.6	79.1

Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA, 2020.

Temperatura

En las siguientes tablas se presenta la información correspondiente a temperatura, que arroja la Estación Meteorológica (en el orden que se mencionan) mencionadas en la descripción del clima para los Sistemas Ambientales estructurados.

Tabla 4.4 Temperaturas máximas y mínimas en el período 1991-2020

°C	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Max	23.1	24.5	27.8	29	29.4	27.8	25.9	25.7	25	24.3	24.1	23.1	25.9
Min	5.1	6.1	8.6	10.7	11.8	12.4	12.1	12.1	21.4	10	7.5	5.9	9.5

Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA, 2020.

Versión Publica

Tabla 4.5 Temperatura media anual en el período 1991-2010

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
°C	14.1	15.3	18.2	19.8	20.6	20.1	19	18.9	18.4	17.2	15.8	14.5	17.7

Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA, 2020.

4.2.1.2 Fenómenos climatológicos

Es fundamental analizar los fenómenos climatológicos que inciden en el Sistema Ambiental (SA) ya que estos tienen un impacto directo en la viabilidad, seguridad y sostenibilidad del proyecto. Los eventos climáticos no solo influyen en las condiciones del entorno, sino que también pueden representar riesgos para la infraestructura y las comunidades aledañas. En este apartado, se abordarán fenómenos clave como la sequía, la degradación del suelo, el peligro y riesgo por inundaciones, y los incendios forestales. Estos elementos son determinantes para comprender las dinámicas ambientales de la región y para implementar medidas que garanticen la resiliencia del proyecto frente a los desafíos climáticos actuales y futuros.

Tormentas eléctricas

Las tormentas eléctricas son descargas violentas de electricidad que se manifiestan con rayos o chispas, emiten un resplandor breve de relámpago (luz) y un trueno (sonido). Acompañan a una tormenta severa con lluvias intensas, vientos fuertes, probabilidad de granizo, rayos, inundaciones e incluso tornados. Según datos de CENAPRED, la zona está catalogada con un índice de peligro MEDIO con intermedia ocurrencia de tormentas eléctricas, presentándose de entre 10 a 19 días al año, por lo que se recomienda a manera de precaución tomar las medidas adecuadas al operar la planta en caso de que llegase a ocurrir una tormenta eléctrica, siendo importante implementar un sistema contra descargas, mantenimientos y la capacitación del personal en procedimientos de seguridad para este tipo de eventos.

Versión Publica

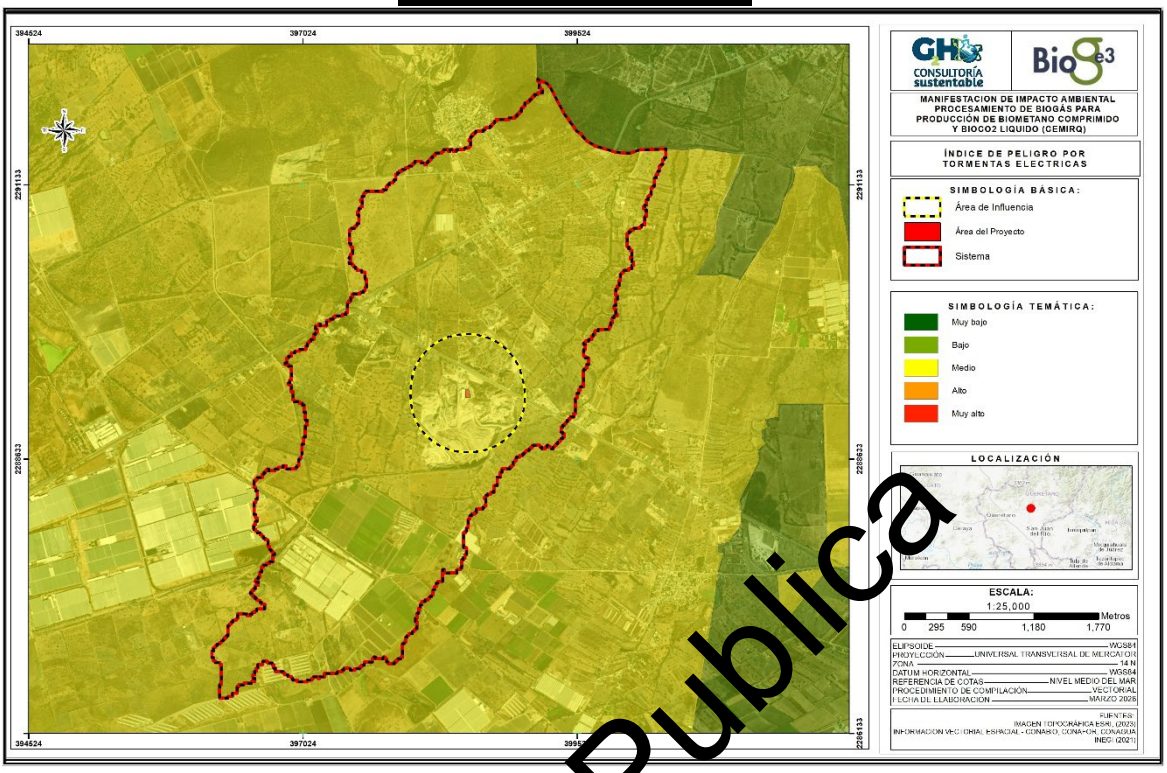


Figura 4.6 Índice de Peligro por Tormentas Eléctricas a Nivel Municipal (CENAPRED)

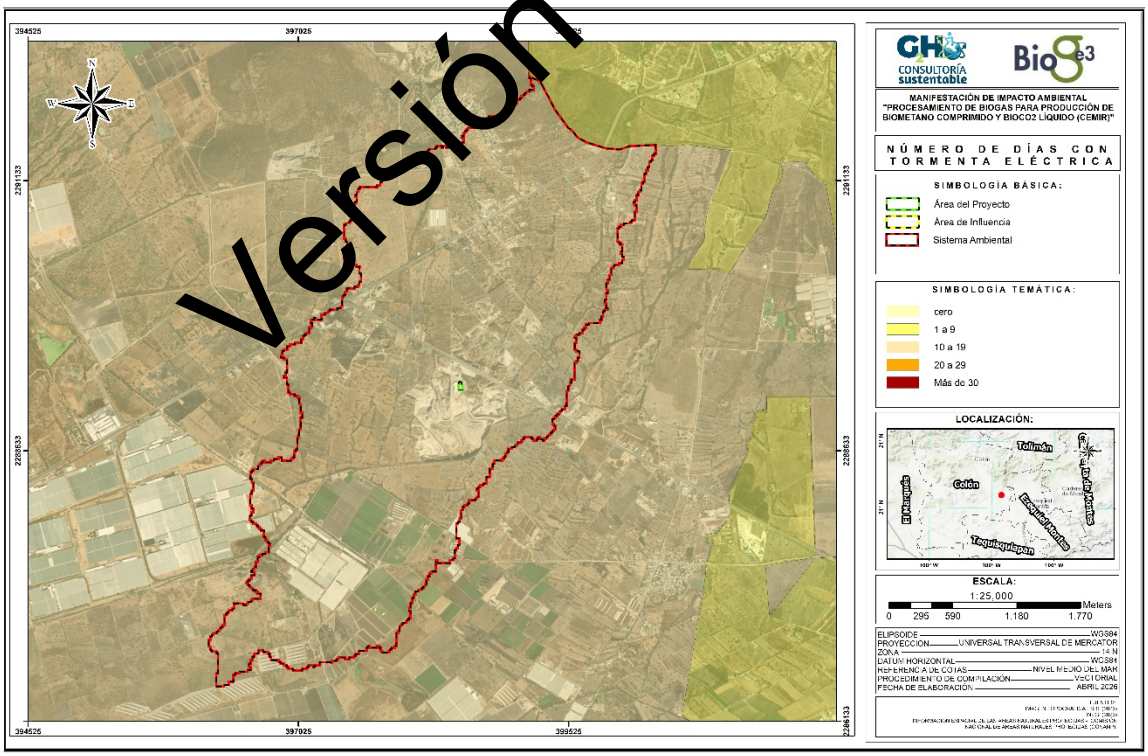


Figura 4.7 Número de Días con Tormenta Eléctrica por Municipio (CENAPRED)

Versión Publica

Tormenta de Granizo

El granizo se forma durante las tormentas eléctricas, cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo cumulonimbus son arrastrados verticalmente por corrientes de aire turbulento característico de las tormentas. Las piedras de granizo crecen por las colisiones sucesivas de estas partículas de agua fría, esto es, agua que está a una temperatura menor que la de su punto de congelación, pero que permanece en estado líquido. Esta agua queda suspendida en la nube por la que viaja. Cuando las partículas de granizo se hacen demasiado pesadas para ser sostenidas por las corrientes de aire, caen por efectos de la gravedad al suelo.

Las piedras de granizo tienen diámetros que varían entre 2 milímetros y 13 centímetros, las mayores pueden ser muy destructivas. En ocasiones, un conjunto de piedras puede solidificarse formando grandes masas uniformes y pesadas de hielo y nieve.

El riesgo por tormenta de granizo es MUY BAJO por lo que es poco probable que la zona experimente tormentas de granizo que ocasionen daños. Aunque el riesgo es muy bajo, las tormentas de granizo pueden llegar a ocurrir, aunque no se hayan registrado anteriormente, por lo que es importante mantener limpios los drenajes para evitar acumulaciones de granizo y posibles inundaciones.

Versión Publica

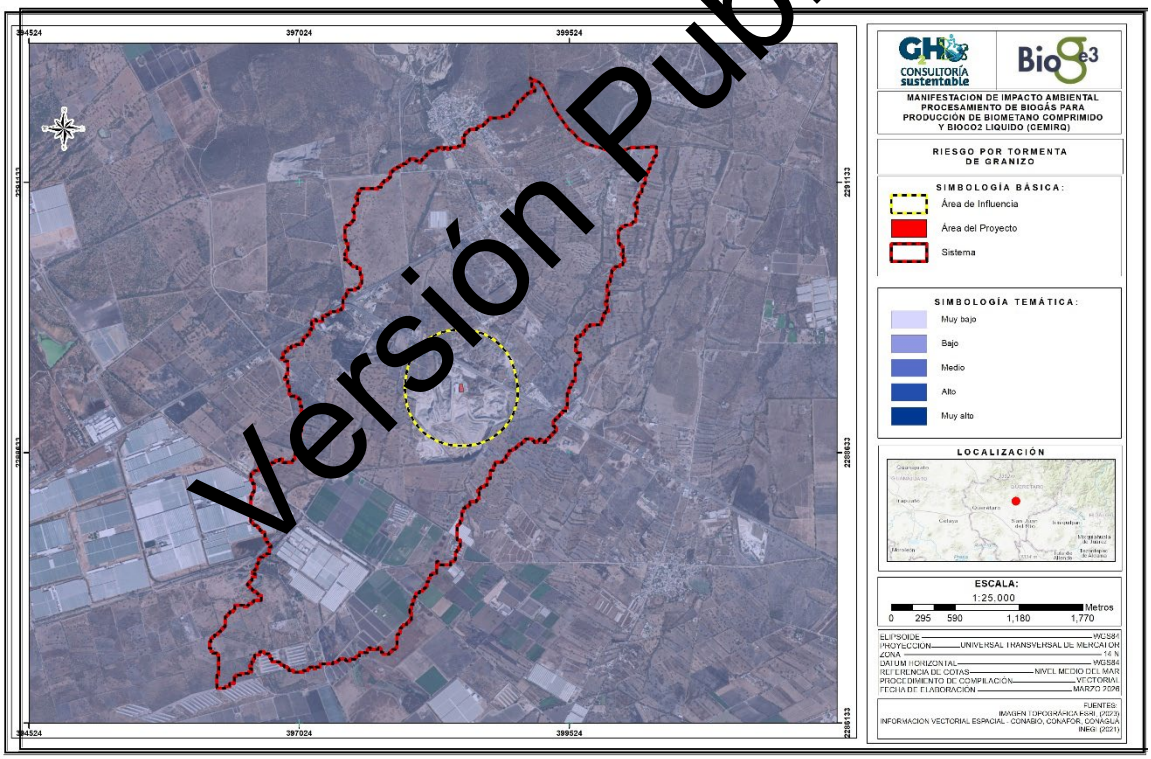


Figura 4.8 Riesgo por Tormenta de Granizo (CENAPRED)

Ciclones Tropicales

De acuerdo con CENAPRED un Ciclón Tropical es una masa de aire cálida y húmeda con vientos fuertes que giran en forma de espiral alrededor de una zona central. En el hemisferio norte giran en sentido contrario a las manecillas del reloj. Se forman en el mar, cuando la temperatura es superior a

los 26 °C. Los ciclones tropicales se clasifican en tres etapas de acuerdo con la velocidad de sus vientos máximos:

1. La primera se llama depresión tropical, cuando sus vientos son menores a 63 km/h.
2. La siguiente fase es tormenta tropical, que comprende vientos entre 63 km/h y 118 km/h
3. Adquiere la categoría de huracán al presentar vientos con una velocidad mayor a los 118 km/h. En esta etapa se generan los efectos destructivos, al provocar vientos fuertes, lluvias torrenciales, marea de tormenta y oleaje altos.

En México, la temporada de ciclones comienza en el mes de mayo en el océano Pacífico, mientras que, en el océano Atlántico es en junio. Para ambos océanos la actividad concluye a finales de noviembre.

Como se observa en la siguiente figura, tanto la totalidad del Sistema Ambiental, así como toda el Área del Proyecto y Área de Influencia presentan un grado de riesgo entre BAJO, esto quiere decir que el peligro es menor, sin afectaciones directas y sin necesidad de evacuación, pero aun así requiere atención a canales oficiales para información puntual.

Versión Publica

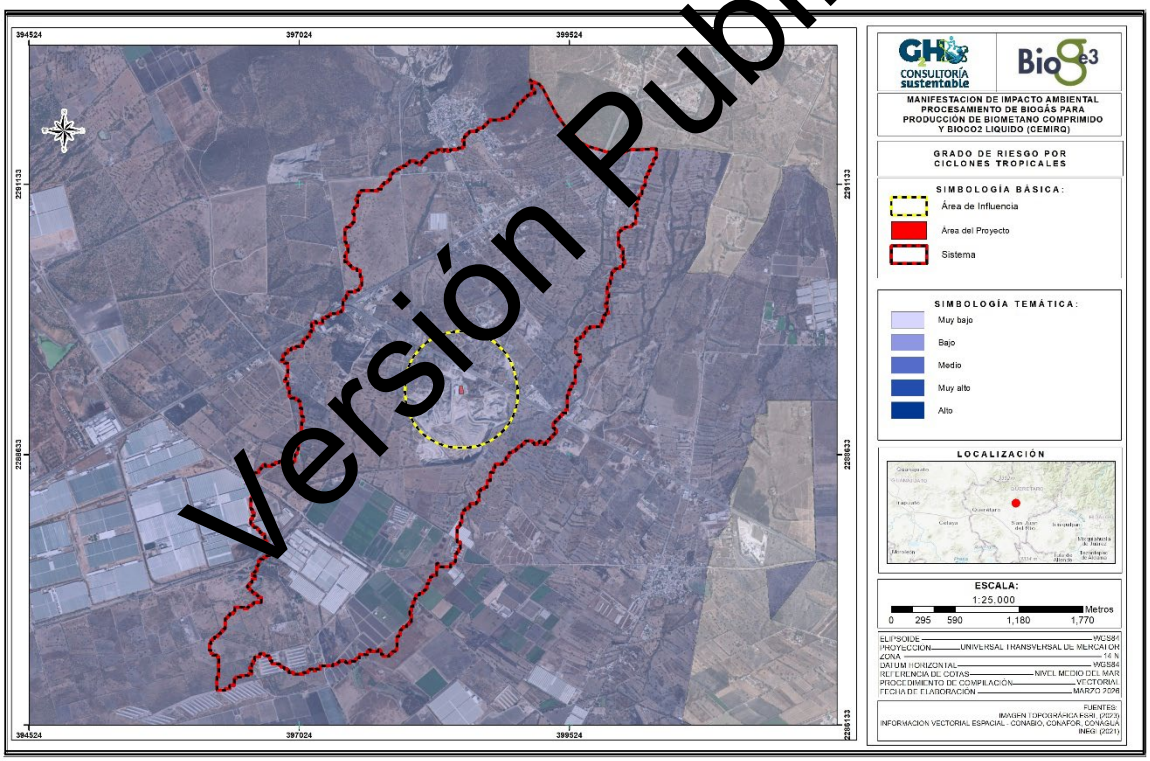


Figura 4.9 Grado de Riesgo por Presencia de Ciclones Tropicales a Nivel Municipal (CENAPRED)

Inundaciones

Es el aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce. En este caso "nivel normal" se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar perdidas. Debido a las condiciones del relieve en la ubicación de la instalación, es preciso evaluar el riesgo de inundaciones. La zona donde se encuentra la "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido

y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" presenta un índice de vulnerabilidad MODERADA por inundaciones en casi toda la superficie del SA, incluyendo las áreas del proyecto e influencia, con una pequeña porción al norte con categoría ALTA, y un índice de peligro por inundación BAJO en todo el Sistema Ambiental, según datos del CENAPRED. Es importante contemplar esto para el diseño del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" ya que, si bien en gran parte de la superficie del SA y del proyecto no existe un índice de peligro y tendencia a inundaciones, en condiciones desfavorables puede existir y ocasionar afectamientos al proyecto.



Versión Pública

Figura 4.10 Índice de Vulnerabilidad de Inundación (CENAPRED)

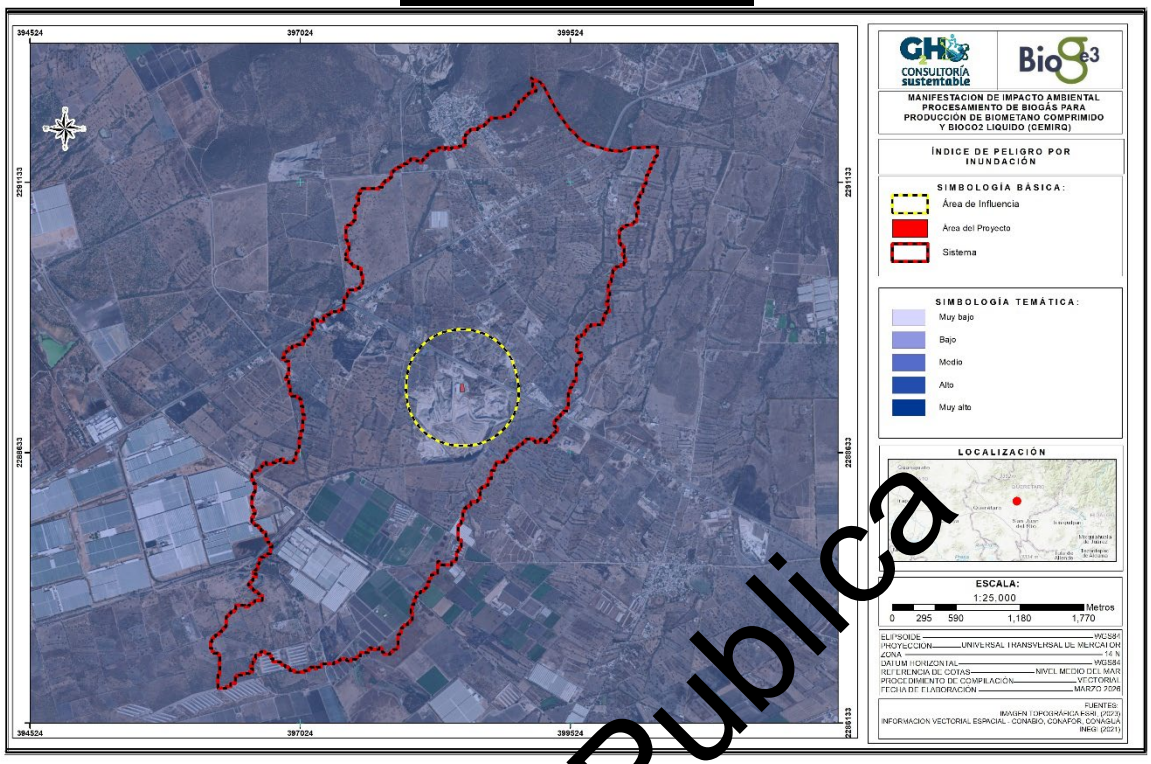


Figura 4.11 Índice de Peligro por Inundación (CENAPRED)

Ondas Cálidas

Es un periodo de temperatura excesiva, casi siempre combinada con humedad, que se mantiene durante varios días consecutivos, se puede formar cuando una zona de alta presión atmosférica se intensifica y se estaciona sobre un área, empujando el aire caliente hacia abajo y evitando que escape o cuando el aire caliente queda atrapado y se comprime, provocando temperaturas elevadas y estáticas. Es más frecuente en las ciudades por la deforestación y contaminación. Su duración es mayor a 3 días, genera pérdida de agua por evaporación, sucede principalmente durante la tarde. De acuerdo con la siguiente figura el proyecto se encuentra en una zona de riesgo BAJO, por lo que es poco probable que ocurran ondas cálidas, aunque estas pueden llegar a ocurrir y sus efectos sobre el proyecto debe ser considerado.

Versión Publica

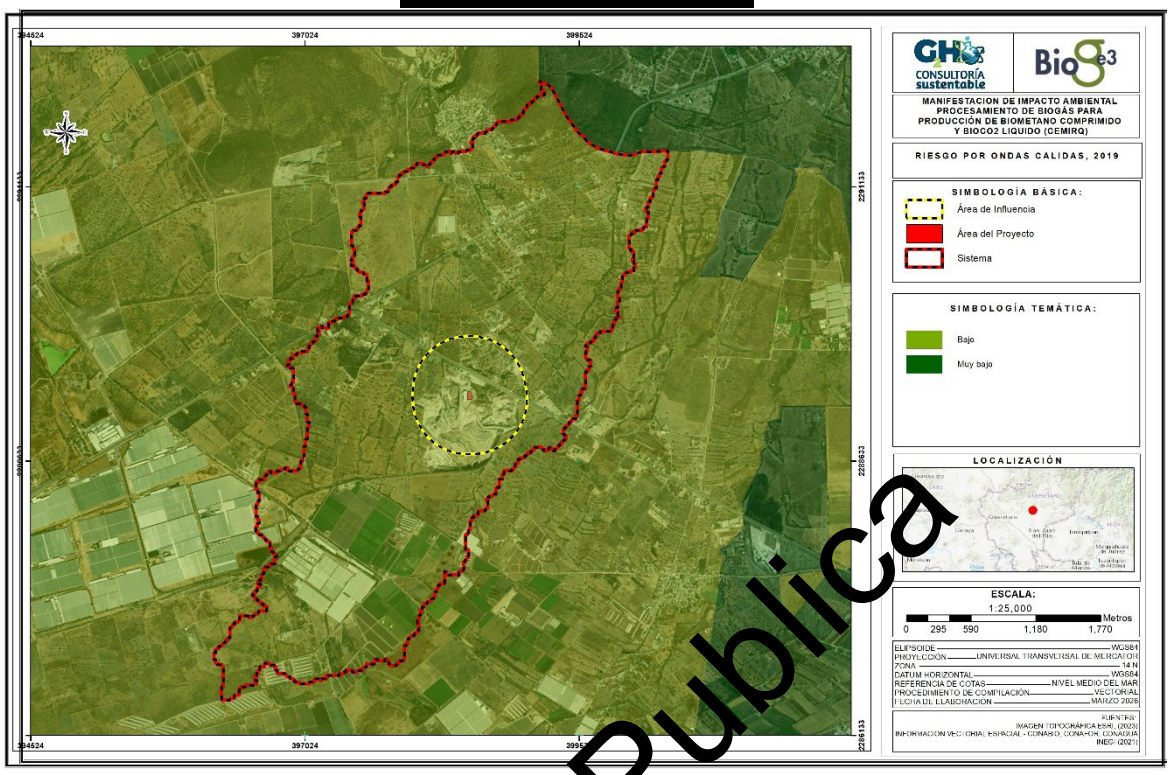


Figura 4.12 Riesgo por Ondas Cálidas

Sequías

Es un lapso característico por un prolongado y anormal déficit de humedad. Su magnitud, duración y severidad se consideran relativos, ya que sus efectos están directamente relacionados con las actividades humana. En cuanto al riesgo de sequía, este se clasifica como BAJO, por lo cual la zona estadísticamente sufrirá pocos efectos de sequía, que aun así deben ser considerados junto con la precipitación para la demanda de agua en la zona.

Versión Publica

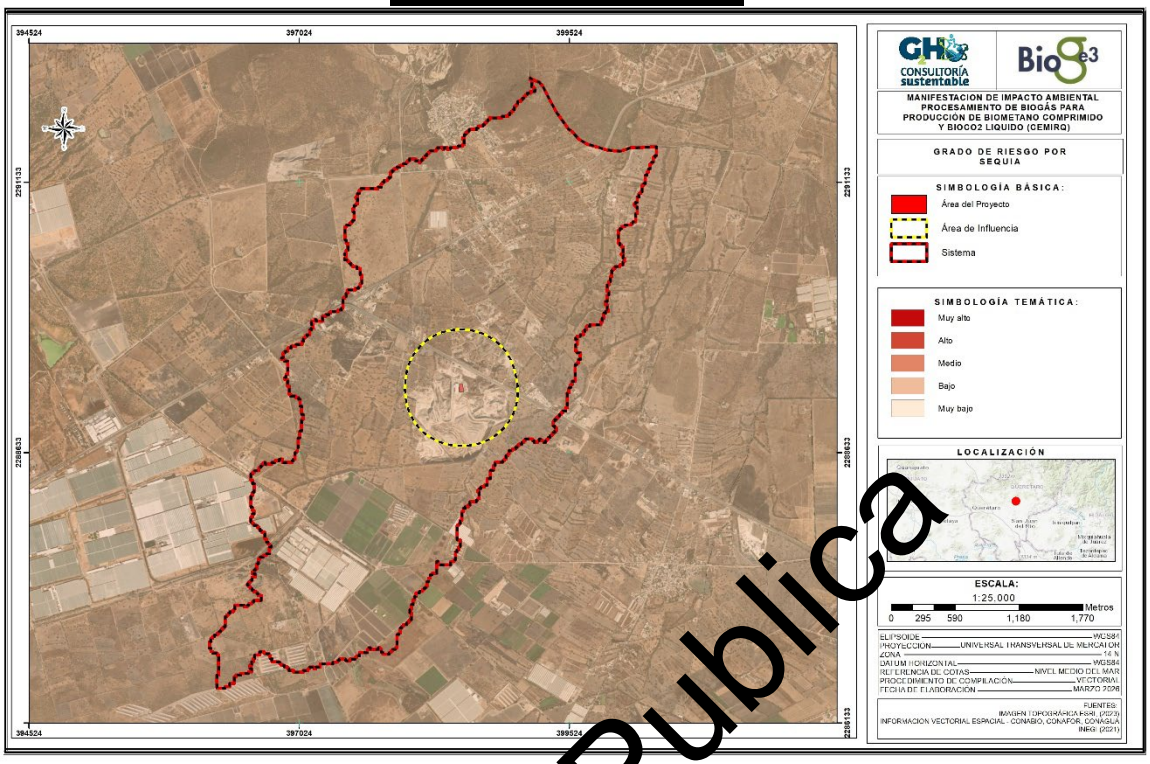


Figura 4.13 Grado de Riesgo por Sequía (CENSAPRED)

Versión Publica

Bajas Temperaturas

Es la disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua 0°C (WMO, 1992). La cubierta de hielo es una de sus formas producida por la sublimación del vapor de agua sobre los objetos; ocurre cuando se presentan dichas temperaturas (Ascaso y Casasls, 1986). Se presentan particularmente en las noches de invierno por una fuerte pérdida radiactiva. Suele acompañarse de una inversión térmica junto al suelo, donde se presentan los valores mínimos, que pueden descender a los 2°C o aún más.

Como se observa en la siguiente figura, el riesgo por bajas temperaturas es BAJO en la totalidad del Sistema Ambiental, el Área del Proyecto y el Área de Influencia. Esto quiere decir que, si bien se esperan temperaturas frías, el peligro para la población es mínimo, implicando que las condiciones meteorológicas son manejables con las precauciones habituales, pero se debe de estar informado y tomar medidas básicas de protección.

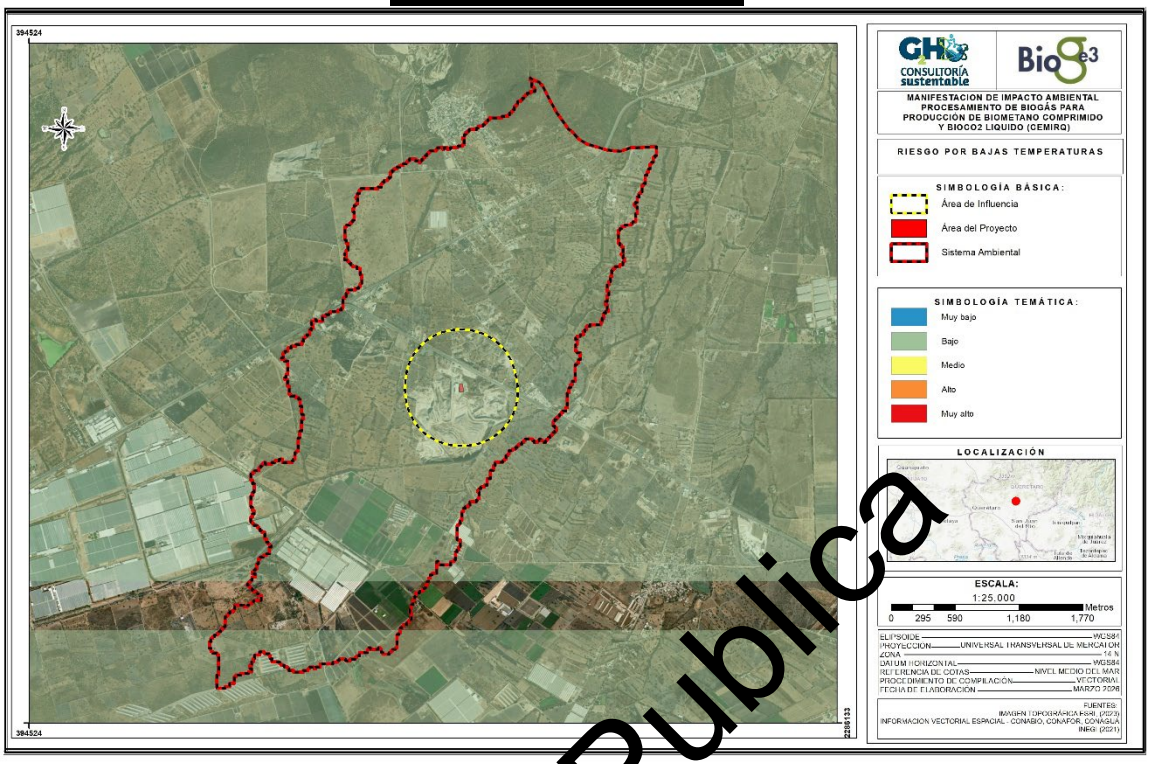


Figura 4.14 Riesgo por Bajas Temperaturas (CENAPRED)

Tornados

Es uno de los fenómenos meteorológicos más violentos. Se origina en la base de una nube de tormenta cuando dos masas de aire de diferente temperatura, humedad y velocidad chocan entre sí, formando un embudo que llega a la tierra, la velocidad de sus vientos puede ser de 100 hasta más de 450 km/h. En México los tornados se presentan en cualquier época y hora del año, la probabilidad de que suceda un tornado en México se extiende a todo el territorio, sin embargo, los más fuertes han tenido presencia en el norte del país.

De acuerdo con información de CENAPRED la zona donde se encuentra el proyecto presenta una vulnerabilidad por tornados BAJA, esto quiere decir que la susceptibilidad de la población y la infraestructura a sufrir daños por la acción de un tornado es relativamente reducida. Es importante entender que una vulnerabilidad baja no quita completamente el riesgo, por lo que si se presentara un evento de alta intensidad este podría causar daños, aunque probablemente menos severos que en una zona más vulnerable, por lo que se deben de tomar las debidas precauciones para las instalaciones del proyecto y mantener al personal capacitado para saber que hacer en caso de que ocurra este fenómeno.

Versión Publica

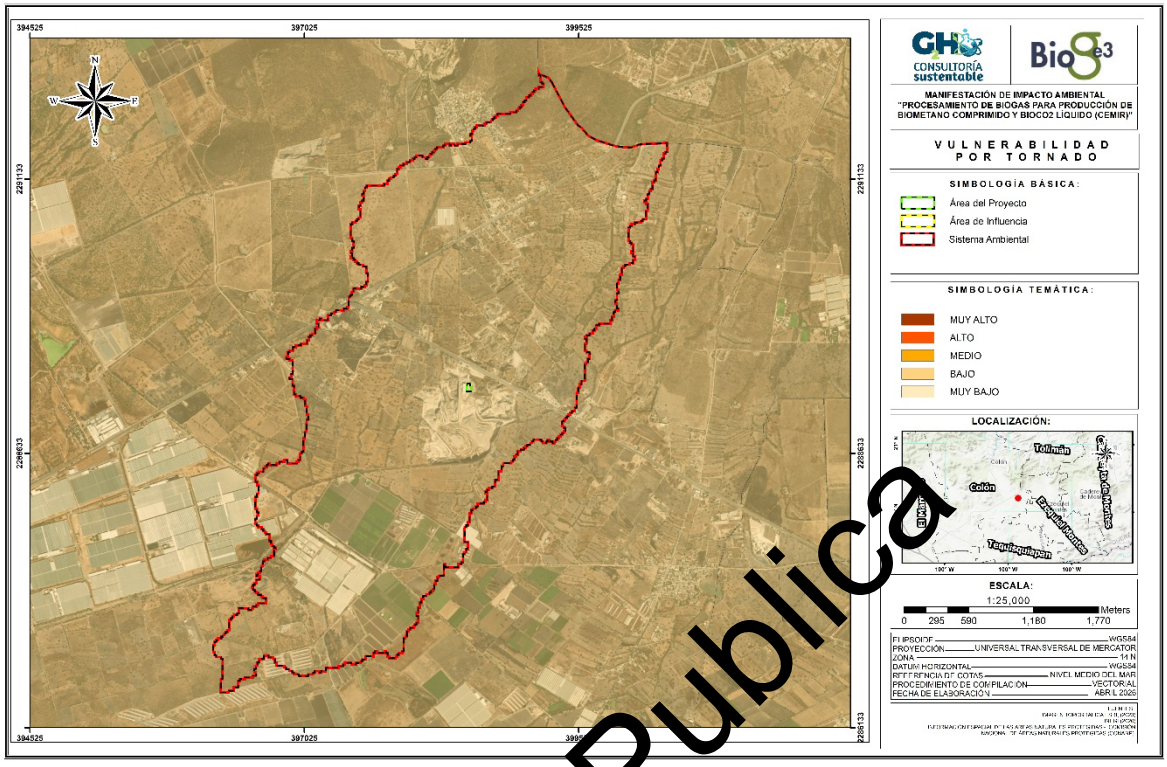


Figura 4.15 Vulnerabilidad por Tornados (CENAPRED)

Degradación del Suelo

La degradación de los suelos se refiere básicamente a los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener o mejorar la calidad del aire y agua, y para preservar la salud humana. Se estima que alrededor de 2,000 millones de hectáreas en el mundo sufren algún tipo de deterioro como consecuencia de las actividades del hombre. La erosión provocada por el agua es la forma más común de degradación del suelo.

Si bien no existe degradación del suelo en el área del sistema Ambiental y por consiguiente del proyecto y el área de influencia, la actividad antrópica de la zona podría ocasionar remoción de la capa fértil del suelo en tanto esa actividad se incremente y la vegetación local disminuya.

Versión Publica

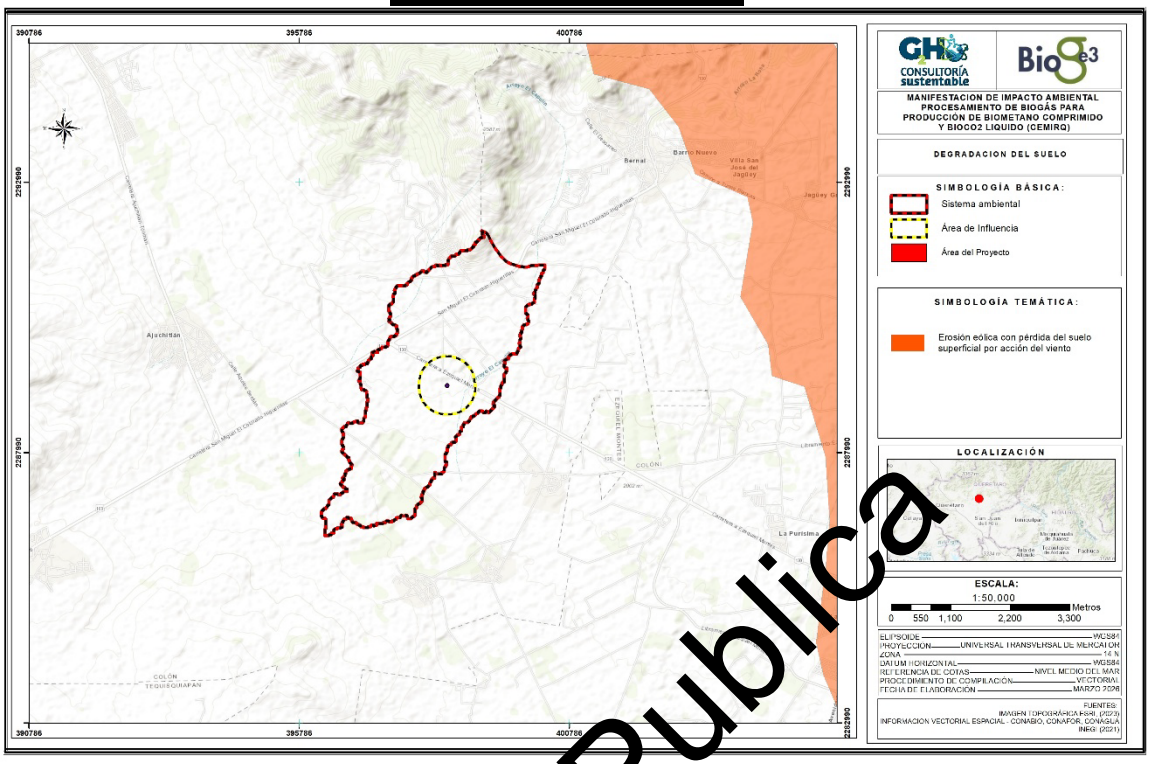


Figura 4.16 Degradación del Suelo

Incendios Forestales

En cuanto a los incendios forestales, de acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), no se han registrado eventos de este tipo dentro del Sistema Ambiental (SA). El evento más reciente reportado y cercano al sistema ambiental se ubicó al suroeste, en el año 2025.

La ausencia de incendios recientes en la zona indica una baja recurrencia histórica de estos eventos, lo que puede estar asociado a diversos factores, como la dispersión de la vegetación, la baja densidad de material combustible o las condiciones climáticas locales que no favorecen la propagación del fuego.

Tabla 4.6 Registro de Incendios Forestales

No	Fecha	Municipio	Causa	Tipo de Vegetación	Impacto	Superficie afectada (Ha)
1	11-04-2025	Colon	Desconocida	Matorral Crasicaule	Impacto Mínimo	142.7

Versión Publica

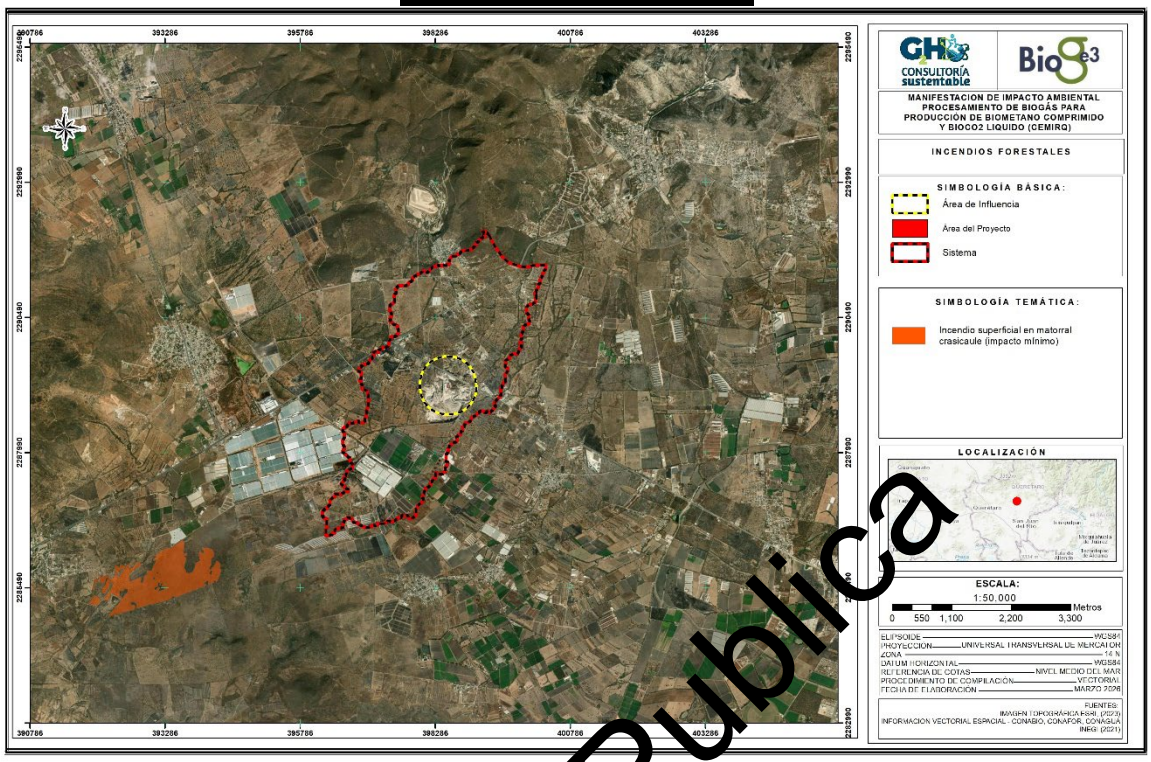


Figura 4.17 Incendios Forestales (CONAFOR)

Versión Publica

4.2.1.3 Geología y geomorfología

Características litológicas del área

De acuerdo con la Serie I de Geología del INEGI, se presentan tres litologías distintas; suelo aluvial en toda la zona del proyecto y gran parte del área de influencia, volcaniclástica en la parte norte de ambos el SA y el área de influencia, además de una porción al norte del SA con Riolita-Toba Ácida

- Volcániclásticos: Se refiere a rocas vulcanosedimentarias producto de la sedimentación de material piroclástico depositado. Su composición es como la de muchas rocas ígneas pero existen diferentes depósitos de rocas que se pueden clasificar como volcaniclásticos: lahar, peperitas, hialoclastitas, corrientes de densidad piroclástica, entre otros.
- Suelo aluvial. Está compuesto por materiales sueltos como grava, arena, limo y arcilla, que han sido depositados por corrientes de agua. Las características de los suelos aluviales incluyen una alta porosidad y permeabilidad, lo que facilita la infiltración de agua y puede influir en la estabilidad del suelo y en la capacidad de soporte de la infraestructura. Además, pueden ser susceptibles a la erosión y a cambios en las condiciones hidrológicas, lo que debe ser considerado en el diseño y construcción del proyecto para garantizar su seguridad y durabilidad.
- Riolita-Toba acida. Son asociaciones de rocas ígneas con alto contenido de sílice, mayor al 69 %. Son producto de vulcanismo efusivo y explosivo. Se presentan con colores claros y textura afanítica y bandeada, con ocasionales bandas de flujo.
-

Tabla 4.7 Características litológicas del Sistema Ambiental

Clave	Entidad	Clase	Tipo	Era	Sistema	Serie
Q(al)	Suelo	N/A	Aluvial	Cenozoico	Cuaternario	N/A
Ts(R-Ta)	Unidad Cronoestratigráfica	Ígnea extrusiva	Riolita-Toba ácida	Cenozoico	Neógeno	N/A
Ts(Vc)	Unidad Cronoestratigráfica	Ígnea extrusiva	Volcanoclástico	Cenozoico	Neógeno	N/A

Versión Publica

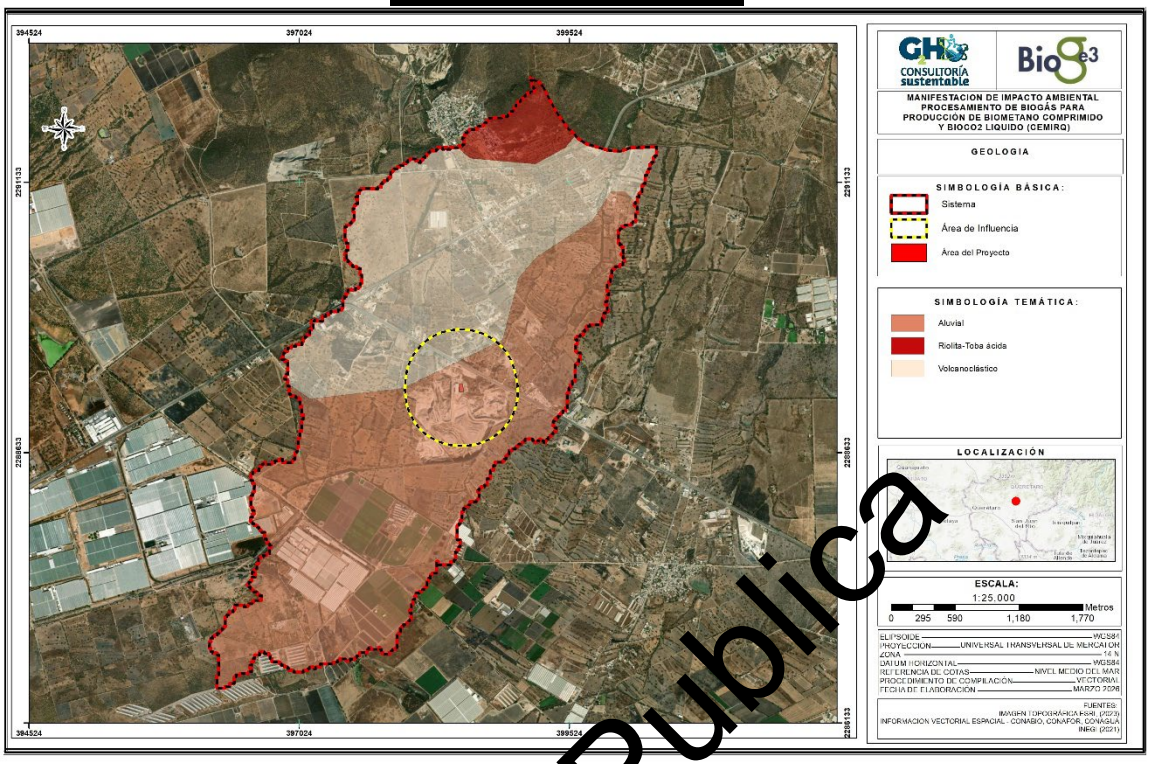


Figura 4.18 Geología

Versión Publica

Características del relieve

- **Provincia Fisiográfica**

De acuerdo con la información cartográfica de INEGI, el Sistema ambiental se localiza dentro de la provincia fisiográfica de la del Eje Neovolcánico Transversal, la cual colinda al norte con la Llanura Costera del Pacífico, la Sierra Madre Occidental, la Mesa del Centro, la Sierra Madre Oriental, y la Llanura Costera del Golfo Norte; al sur con la Sierra Madre del Sur y la Llanura Costera del Golfo Sur. Por el oeste llega al Océano Pacífico y por el este hasta el Golfo de México. Abarca parte de los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, México, Hidalgo, Colima, Puebla y Veracruz; así como todo el estado de Tlaxcala y el Distrito Federal. Se caracteriza como una enorme masa de rocas volcánicas de todos los tipos, acumulada en innumerables y sucesivas etapas, desde mediados del Terciario (unos 35 millones de años atrás) hasta el presente. Esta región está integrada por grandes sierras volcánicas y coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto y depósitos de arenas y cenizas, entre otras formaciones, que se encuentran dispersos entre llanuras. Incluye la cadena de grandes estrato- volcanes denominada propiamente "Eje Neovolcánico": Volcán de Colima, Tancítaro, Zinantécatl (Nevado de Toluca), Popocatépetl, Iztaccíhuatl, Matlalcuéyetl (Malinche) y Citlaltépetl (Pico de Orizaba), que casi en línea recta atraviesan el país, más o menos sobre el paralelo 19 y dan el trazo de la gran falla Clarión, cuya existencia fue postulada desde el siglo pasado por el Barón Von Humboldt- Las amplias cuencas cerradas ocupadas por lagos (Pátzcuaro, Cuitzeo, Texcoco. El Carmen y Totolcingo, entre otros) o por depósitos de lagos antiguos (Zumpango, Chalco, Xochimilco, varios llanos del Bajío INEGI. Síntesis geográfica del estado de Hidalgo. 1992 Guanajuatense, etc.) constituyen otro rasgo esencial

de la provincia. Estos lagos se formaron por el bloqueo del drenaje original, debido a lavas u otros productos volcánicos, o por el afallamiento, que es otro rasgo característico, el cual dio origen al lago de Chapala, área antiguamente rodeada por fallas que se hundió y formó una depresión llamada graben. Hay también depresiones circulares de origen volcánico llamadas calderas, como la de Huichapan, Hidalgo, la cual tiene unos 8.5 km de diámetro y es una de las más notables y atractivas. La de Teziutlán, con sus 30 km de diámetro, podría ser la mayor de Norteamérica y una de las mayores del mundo. En la provincia el clima dominante es el templado subhúmedo, pero en el poniente impera el semicalido y en el norte el semiseco. En las altas cumbres se presentan climas semifríos subhúmedos y en los picos más elevados (Iztaccíhuatl, Popocatépetl y Citlaltépetl) climas muy fríos, al grado de que en ellos se dan tres de los pocos pequeños glaciares de la región intertropical del mundo. Fn áreas reducidas de los extremos este y oeste de la provincia, las condiciones climáticas son cálidas subhúmedas. Esta variedad en los climas, entre otros factores, determina la presencia de diversos tipos de vegetación. En las sierras volcánicas del oeste y sur de la provincia y en la franja que colinda con la Sierra Madre Oriental se desarrollan bosques de encinos y coníferas. En Jalisco, al occidente, hay selvas bajas caducifolias y en el centro (Altos de Jalisco, Bajío, etc), mezquitales. Los pastizales y matorrales de climas semisecos se presentan hacia el oriente, en Hidalgo y Puebla. En la costa del Golfo de México hay franjas pequeñas de bosques mesófilos y selva caducifolia. Gran parte de esta vegetación ha sido eliminada por la actividad humana. En esta región se encuentra casi totalmente la cuenca del río Lerma, desde que nace al oeste de Toluca hasta que vierte sus aguas en el lago de Chapala. Solamente los afluentes que bajan de la Mesa Central quedan fuera. En toda la parte sur de la provincia, de Michoacán a Puebla, se originan afluentes del Balsas.

Subprovincia Fisiográfica

Por otro lado, el SA se encuentra específicamente en la subprovincia fisiográfica de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo. Esta subprovincia se extiende desde el oeste de la ciudad de Querétaro, hasta Pachuca, Hidalgo. Engloba totalmente a los municipios de Tecozautla, Huichapan, Nopala de Villagrán, Chapantongo, Alfajayucan, Tepetitlán, Tezontepec de Aldama, Tlaxcoapan, Atitalaquia, Tetepango, Tlahuelilpan, Chilcuautla, El Arenal, Omitlán de Juárez, Francisco I. Madero y Metepec; además, parte de los de Cinagán, Tasquillo, Ixmiquilpan, Tula de Allende, Tepeji de O campo, Atotonilco de Tula, Mixquiahuala, Progreso, San Bartolo Tutotepec, San Salvador, Actopan, Zapotlán de Juárez, San Agustín Tlaxiaca, Pachuca, Mineral del Chico, Mineral del Monte, Mineral de la Reforma, Epazoyucan, Zempoala, Huasca de 0campo, Atotonilco el Grande, Acatlán, Tulancingo, Acaxochitlán, Santiago Tulantepec, Cuautepec, Tenango de Doria, Agua Blanca, Mezquititlán, Zacualtipán de Angeles, Metztitlán, Molango, Tianguistengo, Xochicoatlán, Tolcayuca, Ajacuba, Cardonal, Santiago de Anaya y Singuilucan. De poniente a oriente presenta un corredor, abajo de ios 2 000 m.s.ri.m., de lomeríos bajos de material volcánico y llanuras. Aparte de ciertas prominencias dentro de dicho corredor, queda prácticamente encerrado desde todos los lados por sistemas de sierras, mesetas y lomeríos, casi todos de origen volcánico, que exceden los 2 000 m.

Versión Pública

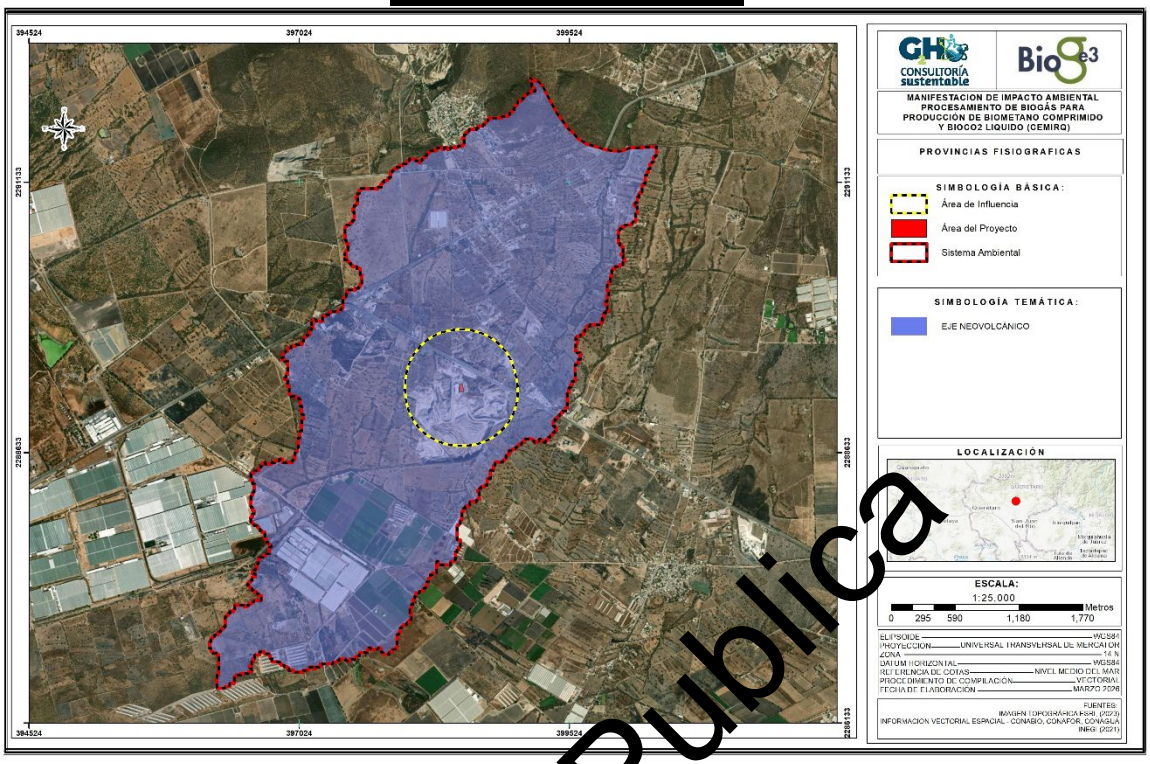


Figura 4.19 Provincias Fisiográficas

- **Subprovincia Fisiográfica**

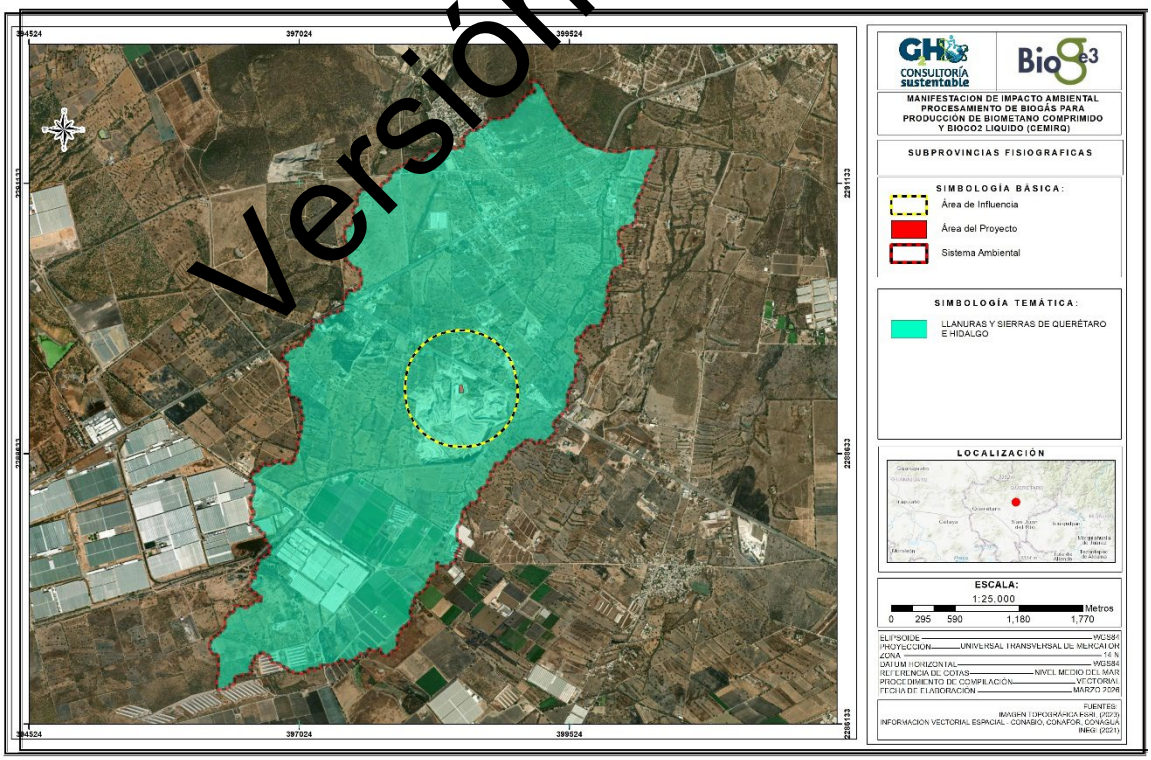


Figura 4.20 Subprovincias Fisiográficas

Versión Publica

Tabla 4.8 Distribución de la superficie de las unidades fisiográficas

Unidad Fisiográfica	Nombre	Área (Ha)
		SA
Provincia Fisiográfica	Eje Neovolcánico	1075.2051
Subprovincia Fisiográfica	Llanuras y Lomeríos	1075.2051

Pendientes

En cuanto a las pendientes en el Sistema Ambiental (SA), se observa poca una pendiente gradual de norte a sur, desde una altitud de 2200 msnm hasta los 1950 al sur del SA. La pendiente en general del SA es suave excepto en su parte norte y en el área de influencia y del proyecto son suaves completamente.

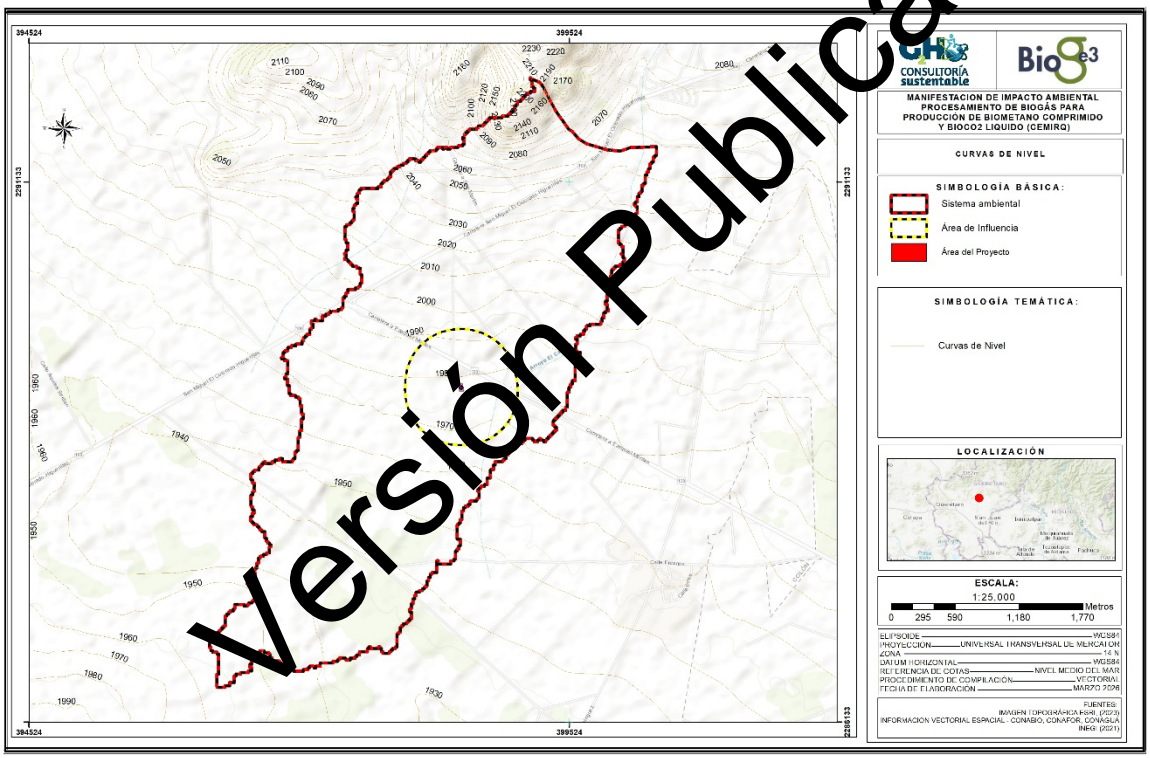


Figura 4.21 Curvas de Nivel

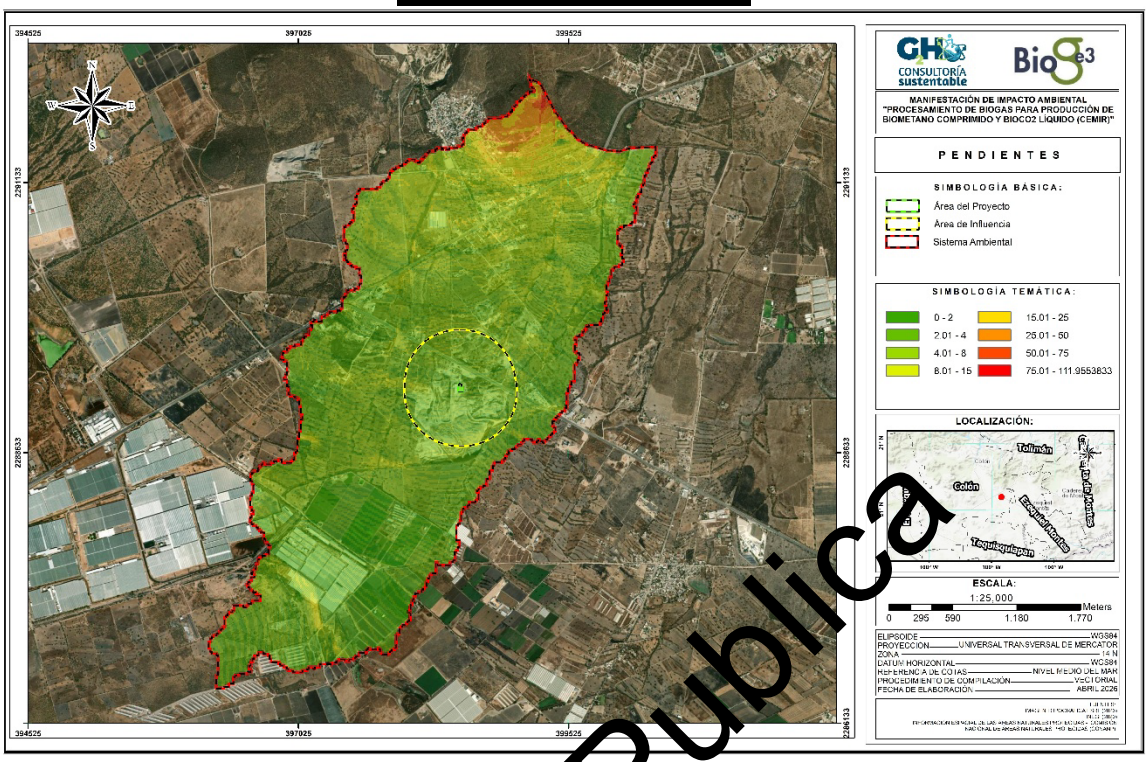


Figura 4.22 Pendientes

Versión Publica

Estructuras geológicas secundarias

Son deformaciones como fallas, fracturas y pliegues, los cuales se forman en las rocas después de su creación original, debido a esfuerzos aplicados por la Tierra o fuerzas tectónicas, las cueles llegan a alterar la geometría inicial y deforman la corteza terrestre. Comprender estas estructuras y sus peligros asociados es de gran importancia para la planificación territorial y la implementación de medidas de prevención y mitigación de desastres.

En el Sistema Ambiental (SA) no se identifican fallas activas o fracturamientos relevantes que atravisen su superficie. Sin embargo, a una distancia aproximada de 8.7 al noroeste del SA, se localiza una fractura, la cual corresponde a una estructura geológica, la cual pude provocar inestabilidad de ladera y taludes o riesgos de derrumbes, filtraciones de aguas y problemas en infraestructuras, llegando a afectar la estabilidad y seguridad. Adicionalmente al oeste del SA a 10.9 Km se encuentra otra fractura.

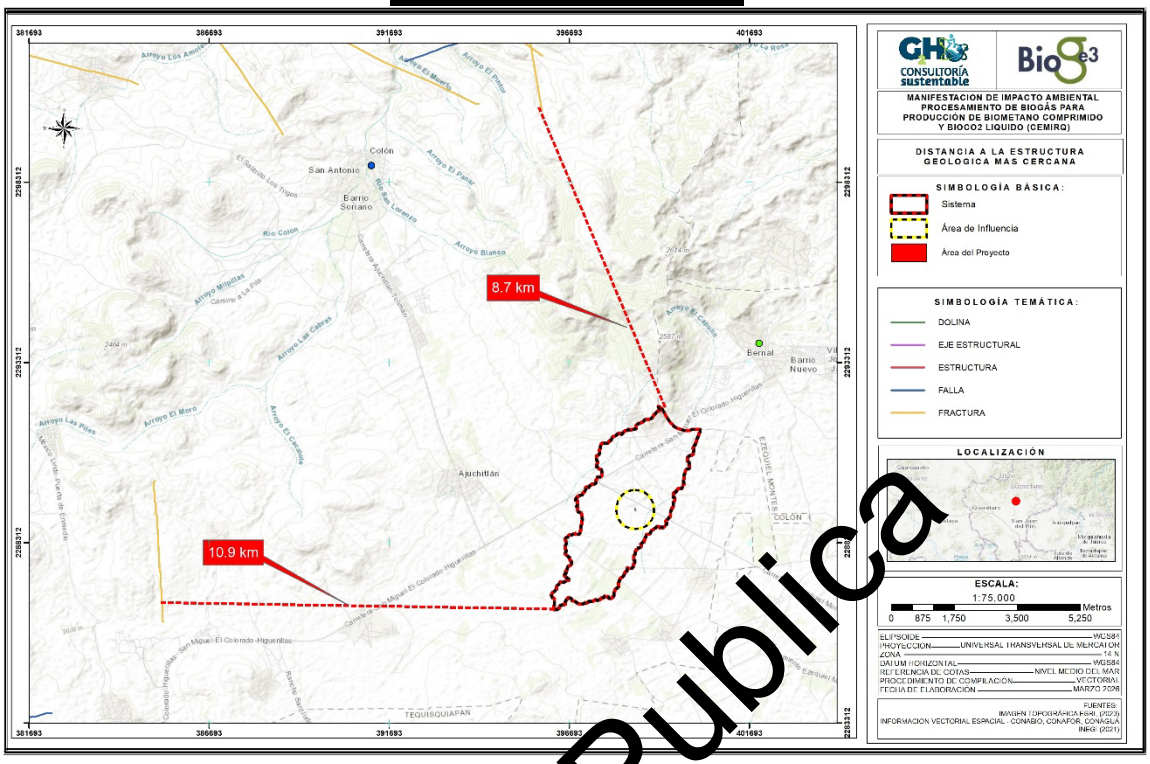


Figura 4.23 Distancia a las estructuras geológicas más cercanas

Regionalización sísmica

México se encuentra situado en una región altamente sísmica, debido principalmente a la interacción entre las placas de Rivera y Cocos con la placa de Norteamérica. Por otro lado, también ocurren otros sismos, aunque menos numerosos y poco estudiados, se localizan lejos de los contactos entre las placas llamados intraplaca; que como su nombre lo dice, son originados dentro de una placa, en donde la ocurrencia de estos eventos sísmicos es poco frecuente y generalmente con magnitudes variadas, lo que ha dificultado su estudio. Finalmente se han registrado otro tipo de sismos de carácter más superficial, generados en fallas activas clasificadas y que se encuentran dentro de la base de datos de fallas y fracturas del INEGI.

El Sistema Ambiental (SA) se localiza dentro de la regionalización sísmica zona "b", la cual corresponde a un grado de susceptibilidad sísmica MEDIO, de acuerdo con la clasificación sísmica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015).

No existen relevantes estructuras geológicas como fallas y fracturas en la zona del SA, sin embargo el riesgo de que se formen dichas estructuras existe ya que el grado medio nos indica una actividad sísmica relevante en la zona, lo cual es importante para considerar en el desarrollo del proyecto.

Versión Publica

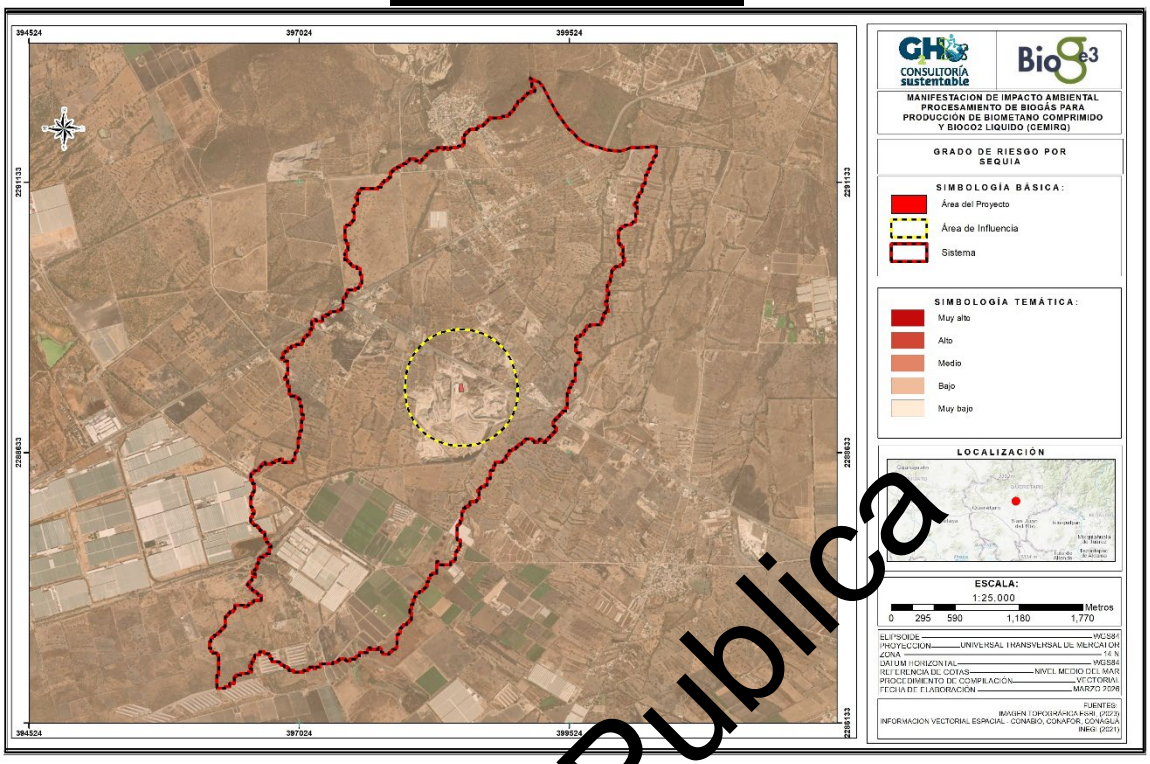


Figura 4.24 Regionalización sísmica, CFE-2015

Versión Publica

Susceptibilidad por inestabilidad de ladera

La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que pueda ocurrir inestabilidad, y se refiere solamente a factores intrínsecos (condicionantes) a los materiales naturales de la ladera, sin considerar factores desencadenantes, como sería el caso de la precipitación o la sismicidad.

La forma más habitual de exponer este análisis es a través de mapas de susceptibilidad por inestabilidad de laderas. Estos mapas presentan la clasificación de la estabilidad relativa o la propensión a la inestabilidad de un área en diferentes categorías, a las que se asigna una escala de color, siguiendo los criterios habituales para los análisis de peligros y riesgos (rojos y naranjas para las categorías de susceptibilidad alta y amarillos y verdes para los rangos de susceptibilidad media y baja), y muestra donde hay o no, condiciones para que pueda ocurrir inestabilidad de ladera (Gonzales et al., 2005).

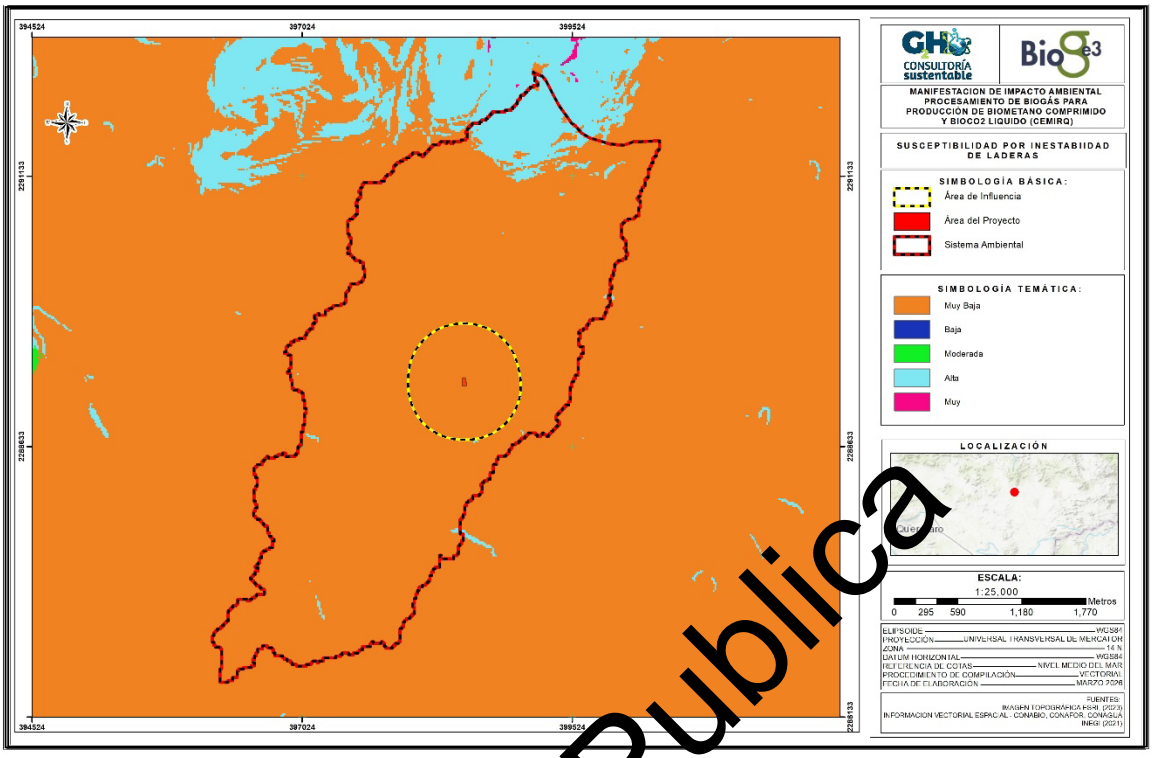


Figura 4.25 Susceptibilidad por inestabilidad de laderas

Versión Publica

Actividad volcánica

Los peligros de la actividad volcánica incluyen flujos piroclásticos, caída de ceniza, proyectiles, y gases tóxicos, sin embargo, algunos de ellos pueden ocurrir incluso si no hay actividad en el volcán, como es el caso de los lahares y avalanchas de escombros, causando daños por quemaduras, asfixia, colapsos de estructuras, problemas respiratorios y afectando la infraestructura y el clima a distancia.

Como se observa en la siguiente figura, el volcán más cercano se localiza a 57.1 KM del Sistema Ambiental (SA) y se trata del "Campo Volcánico Michoacan Guanajuato", se localiza al noreste de San Luis Potosí y es un conjunto de volcanes monogenéticos del cuaternario. Dada la distancia de este respecto al proyecto no representa ningún tipo de peligro.

Tabla 4.9 Características del Campo Volcánico

Nombre	Localización	Tipo	Actividad	Distancia km (SA)
Campo Volcánico Michoacan Guanjuato	Norte de Michoacan y Sur de Guanajuato	Volcanes Monogenéticos	Cuaternario	57.1

Fuente: CENAPRED, 2020



Figura 4.26 Distancia al campo volcánico activo más cercano

4.2.1.4 Suelo

Edafología

Es el estudio del suelo; relacionando la composición y naturaleza del mismo, con las plantas y el entorno que le rodea. Los suelos están formados por horizontes o capas, que están acomodadas más o menos paralelos a la superficie; esto puede ser apreciado en cortes verticales de la tierra (zanjas, pozos, cortes de carretera, cantera.) La mayoría de los suelos presentan tres o cuatro horizontes, definidos principalmente por el color, textura, estructura, contenido en materia orgánica, presencia de carbonatos y sales solubles. Algunos suelos muestran un cambio gradual de un horizonte a otro, mientras que otros varían de manera más brusca entre ellos.

El grado en el que cada una de las características resultantes, de la acción de los factores formadores del suelo, son representados en los horizontes o capas (máximo medibles y observables), sirven de base para la clasificación y denominación de los suelos. El análisis de estas características nos permitirá saber aspectos como profundidad, drenaje, nutrientes, pedregosidad, entre muchos otros, que finalmente ayudarán en la toma de decisiones para el mejor manejo del recurso suelo (agrícola, pecuario, forestal, ingeniería civil, etcétera.).

En el Sistema Ambiental se presentan seis tipos de suelos, a continuación, se describe cada uno de estos:

Litosol. Actualmente representan suelos con menos de 25 cm de espesor o con más de 80% de su volumen ocupado por piedras o gravas. Son muy susceptibles a la erosión. Se localizan generalmente en las zonas montañosas con más de 40% de pendiente.

Versión Publica

Feozem. Suelos de clima semiseco y subhúmedo, de color superficial pardo a negro, fértiles en magnesio, potasio y sin carbonatos en el subsuelo. El relieve donde se desarrollan estos suelos es generalmente plano o ligeramente ondulado. En México constituyen los suelos más importantes para la agricultura, por ejemplo, en los Altos de Jalisco, las llanuras de Querétaro, Hidalgo y norte de Guanajuato, en la Gran Meseta Chihuahuense, al pie de la Sierra Madre Occidental y en numerosos valles del sur y sureste de México.

Vertisol. Suelos llamados pesados, se crean bajo condiciones alternadas de saturación sequía, se forman grietas anchas, abundantes y profundas cuando están secos y con más de 30% de arcillas expandibles. Mediante un buen programa de labranza y drenaje son bastante fértiles para la agricultura por su alta capacidad de retención de humedad y sus propiedades de intercambio mineral con las plantas.

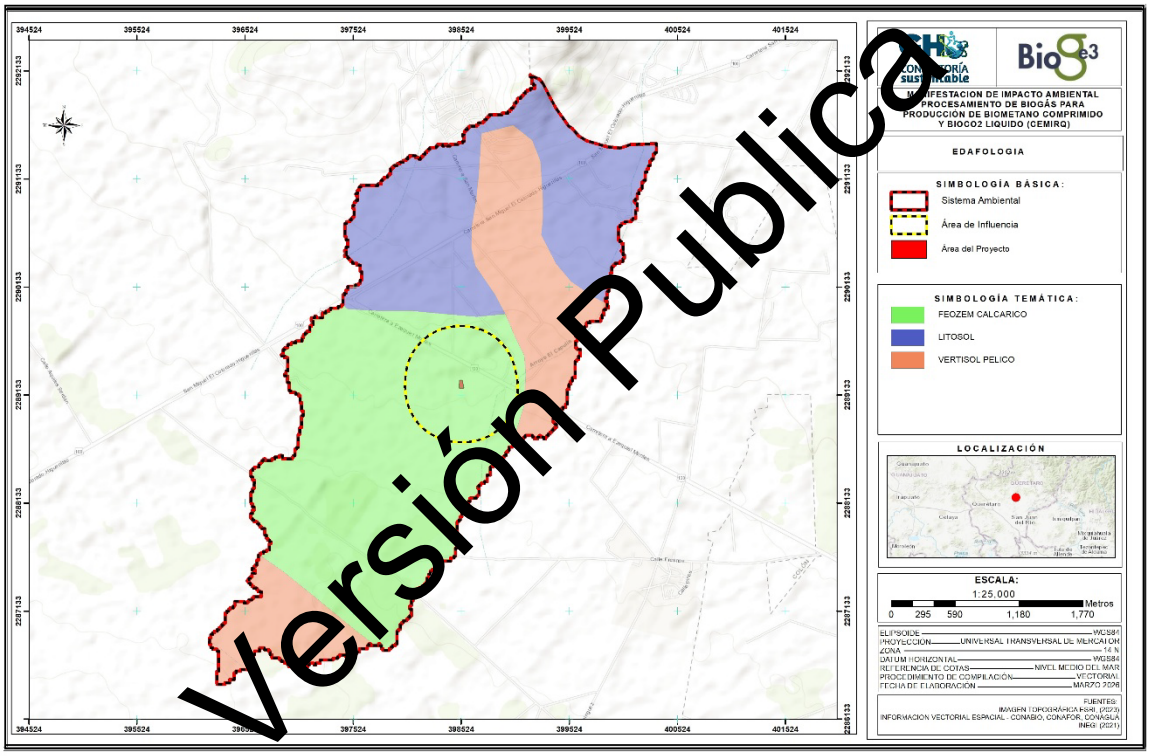


Figura 4.27 Edafología

Tabla 4.10 Características generales de los suelos

Clave	Nombre	Textura	Área (Ha)
HC	Feozem calcarico	Fina	531.57
L	Litosol	Media	305.28
V	Vertisol pélico	Fina	253.22

El área donde se localiza la "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)", presenta suelos del tipo Feozem, caracterizados por ser susceptibles a erosión y con buen drenaje. Este tipo de suelo es

compresible y la construcción sobre este debe ser evaluada, con mecánica de suelos. Dado que ya existe construcción dentro de este SA se puede comparar el tiempo de construcción, el peso de la estructura y el hundimiento para estimar como se comportará soportando otras estructuras.

Uso de Suelo y Vegetación

El Uso de Suelo y Vegetación del INEGI es un conjunto de datos geoespaciales esenciales en México que mapea la distribución de ecosistemas naturales, áreas agrícolas, ganaderas y urbanas a nivel nacional, permitiendo analizar cambios ambientales, planificar el uso de recursos, proteger la biodiversidad y mitigar desastres, ofrece una visión detallada de cómo se usa y cómo está cubierta la superficie de México, crucial para entender y gestionar el territorio.

En el Sistema Ambiental se identifican cinco tipos de uso de suelos: agricultura de riego anual y permanente, ubicado en gran parte del sistema ambiental y área de influencia, desprovisto de vegetación en parte del área de influencia y toda el área del proyecto, agricultura de temporal anual, asentamientos humanos y vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule.

En el Sistema Ambiental se presentan seis tipos de suelos, a continuación, se describe cada uno de estos:

Agricultura de riego anual y semipermanente. Corresponde a áreas destinadas al cultivo de especies agrícolas que requieren el suministro artificial de agua mediante sistemas de riego. Incluye cultivos de ciclo anual (que se siembran y cosechan en un periodo menor a un año) y cultivos semipermanentes, los cuales permanecen en el terreno por más de un ciclo agrícola, pero no son permanentes a largo plazo. Este tipo de uso implica una modificación intensiva del suelo y de la cobertura vegetal natural, así como la implementación de infraestructura hidráulica para garantizar la disponibilidad de agua.

Agricultura de temporal anual. Se refiere a superficies utilizadas para la producción de cultivos de ciclo anual que dependen exclusivamente de la precipitación pluvial, sin el uso de sistemas de riego. Este tipo de agricultura está sujeta a la variabilidad climática, particularmente a la cantidad y distribución de lluvias durante el año, lo que influye directamente en la productividad del suelo. Generalmente implica la sustitución de la vegetación original por especies cultivadas.

Asentamientos humanos. Comprende áreas ocupadas por infraestructura urbana o rural, incluyendo viviendas, vialidades, instalaciones industriales, comerciales y de servicios. Este uso del suelo implica una transformación total o casi total de la cobertura natural, dando lugar a superficies impermeabilizadas o modificadas por actividades humanas permanentes.

Desprovisto de vegetación. Incluye superficies donde no existe cobertura vegetal aparente o ésta es prácticamente inexistente. Puede deberse a condiciones naturales (como suelos rocosos o erosionados) o a procesos antrópicos (como desmontes, actividades extractivas o disposición de residuos). Estas áreas presentan alta vulnerabilidad a procesos erosivos y una baja capacidad de recuperación ecológica.

Vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule. Se refiere a comunidades vegetales que se desarrollan después de la alteración o eliminación de la vegetación original, en zonas donde predominan especies arbustivas adaptadas a condiciones áridas o semiáridas, características del matorral crasicaule. Estas especies suelen presentar adaptaciones como tallos suculentos para

Versión Pública

almacenar agua. Este tipo de vegetación indica procesos de regeneración ecológica en etapas intermedias tras disturbios previos.

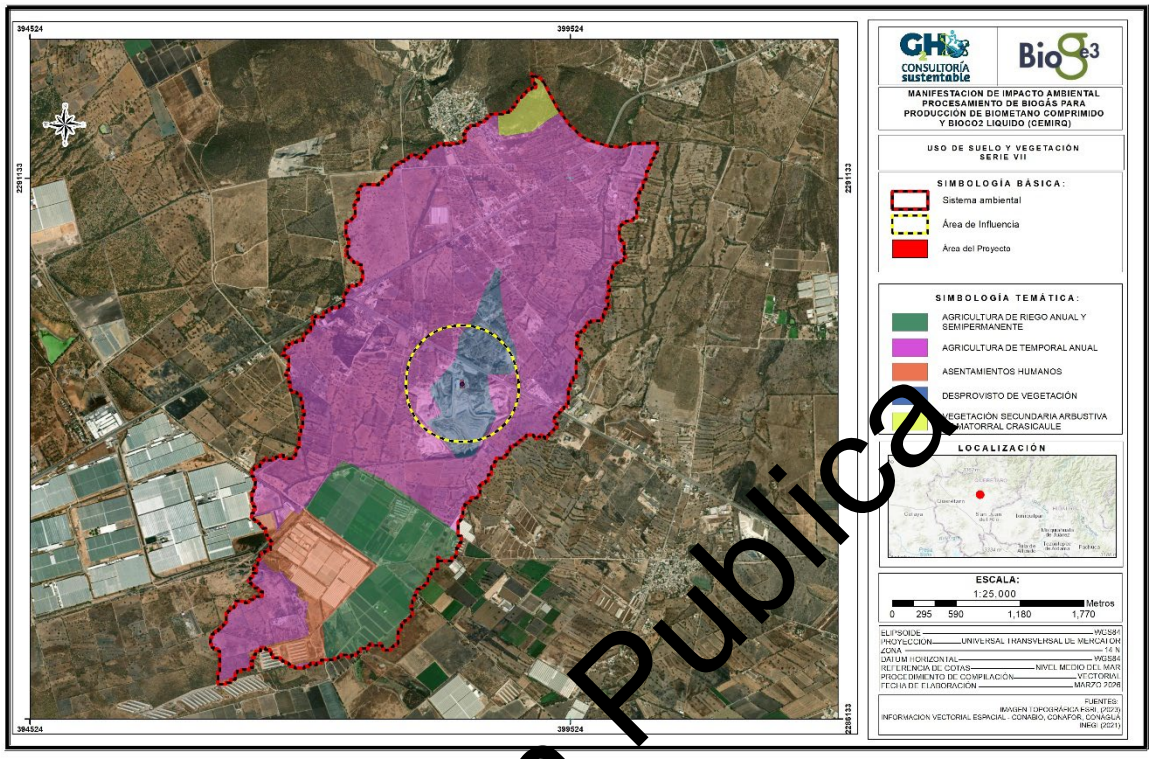


Figura 4.28 Uso de Suelo y Vegetación, Serie VII

Tabla 4.11 Uso de Suelo y Vegetación

Uso de Suelo y Vegetación	Área (Ha)
	SA
Agricultura de riego anual y semipermanente	131.45
Agricultura de temporal anual.	68.45
Asentamientos humanos	792.51
Desprovisto de vegetación	75.39
Vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule.	16.54

Versión Publica

La caracterización de los usos de suelo en el área de estudio evidencia un entorno altamente transformado por actividades antrópicas, donde destacan superficies agrícolas, asentamientos humanos y, de manera particular, zonas desprovistas de vegetación. El hecho de que el proyecto se ubique específicamente en un área sin cobertura vegetal indica un alto grado de alteración previa y una baja presencia de elementos naturales. En este sentido, las condiciones actuales del sitio resultan compatibles con el desarrollo del proyecto, ya que no implica la remoción de vegetación ni la afectación de ecosistemas, por lo que los impactos adicionales sobre el suelo y la cobertura vegetal se consideran mínimos.

4.2.1.5 Hidrología superficial

Región Hidrológica

Región Hidrologica 26 Pánuco. La RH-26 Pánuco se ubica al centro-noreste de la República Mexicana; colinda al norte con la RH-37 y la RH-25, al este con el Golfo de México y la RH-27, al sur con la RH-18 y al oeste con la RH-12. Es una de las regiones hidrológicas más importantes de la República Mexicana; el volumen de sus corrientes superficiales la sitúan dentro de las cinco más grandes del país. Es drenada por un conjunto de corrientes intermitentes pequeñas y por corrientes perennes, presentando un patrón de drenaje dendrítico subparalelo.

Cuenca Hidrológica

Cuenca Hidrológica R. Moctezuma. Se localiza al noreste de la entidad, comprende el 35.45% de la superficie estatal. Al norte se extiende alinterior de los estados de Querétaro de Arteaga e Hidalgo; al este colinda con la cuenca (A) de la RH-18 y se continúa a los estados de Puebla, Hidalgo y Tlaxcala; al sur limita con la cuenca (F) de la RH-18 y penetra al Distrito Federal; mientras que al oeste, tiene colindancia con la cuenca (A) de la RH-12.

El drenaje es de tipo dendrítico subparalelo, conformado por corrientes perennes y subcolectores intermitentes de segundo y tercer orden. El río San Juan en el estado de México (río Tula al pasar por el estado de Hidalgo) da origen a la corriente más importante de esta cuenca: el río Moctezuma, que recibe este nombre después de un recorrido de 174 km desde su nacimiento, y se considera el principal afluente del río Pánuco.

Tabla 4.12 Hidrología Superficial

Características	Región Hidrológica	Cuenca Hidrológica
Nombre	Pánuco	Río Moctezuma
Área (Ha)	1083.78	1083.78
Tipo	Exorreica	Exorreica

Versión Publica

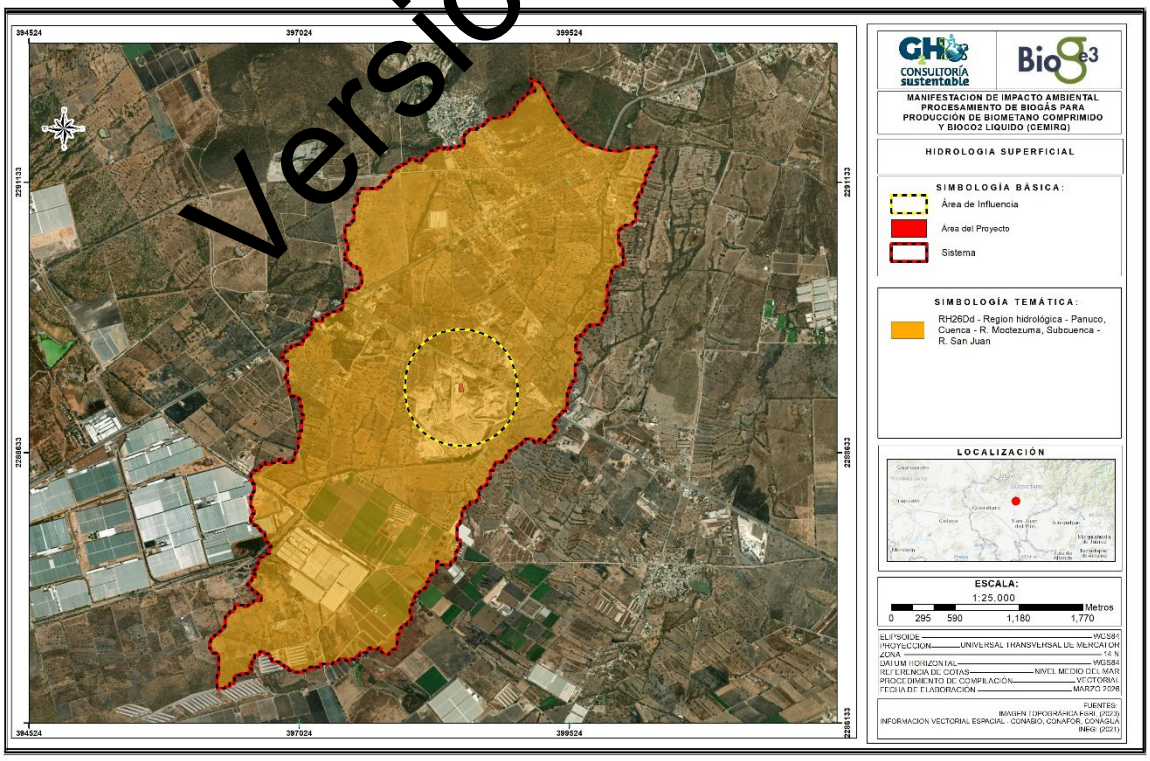


Figura 4.29 Hidrología Superficial

4.2.1.6 Hidrología subterránea

Para la hidrología subterránea, como se observa en la siguiente figura, el Sistema Ambiental (SA), Área de Influencia (AI) y Área del Proyecto (AP) se encuentra sobre el acuífero "Valle de Tequisquiapan".

El acuífero Valle de Tequisquiapan, definido con la clave 2205 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción central del estado de Querétaro, entre las coordenadas geográficas 20° 50' y 20° 26' de latitud norte y 99° 48' y 100° 07' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 757 km2.

Limita al suroeste con el acuífero Valle de San Juan del Río, al noroeste con Valle de Amazcala, al norte con Tolimán y al este con Valle de Cadereyta, todos estos pertenecientes al estado de Querétaro; y al sureste con Huichapan-Tecozautla, perteneciente al estado de Hidalgo.

La zona geohidrológica de Tequisquiapan se ubica dentro de la región hidrológica No 26 perteneciente al Pánuco, cuenca del Río San Juan, no existe una red de drenaje superficial, los principales afluentes de esta cuenca se encuentran hacia el sur; siendo su principal colector el Río San Juan que recibe este nombre después de la unión de los ríos Arroyo Zarco con el Río Prieto, así como los ríos Galindo y la H. Hacia el margen izquierdo del colector principal, atraviesa en su porción sur el acuífero de Tequisquiapan con una dirección Suroeste-Noreste.

Versión Pública

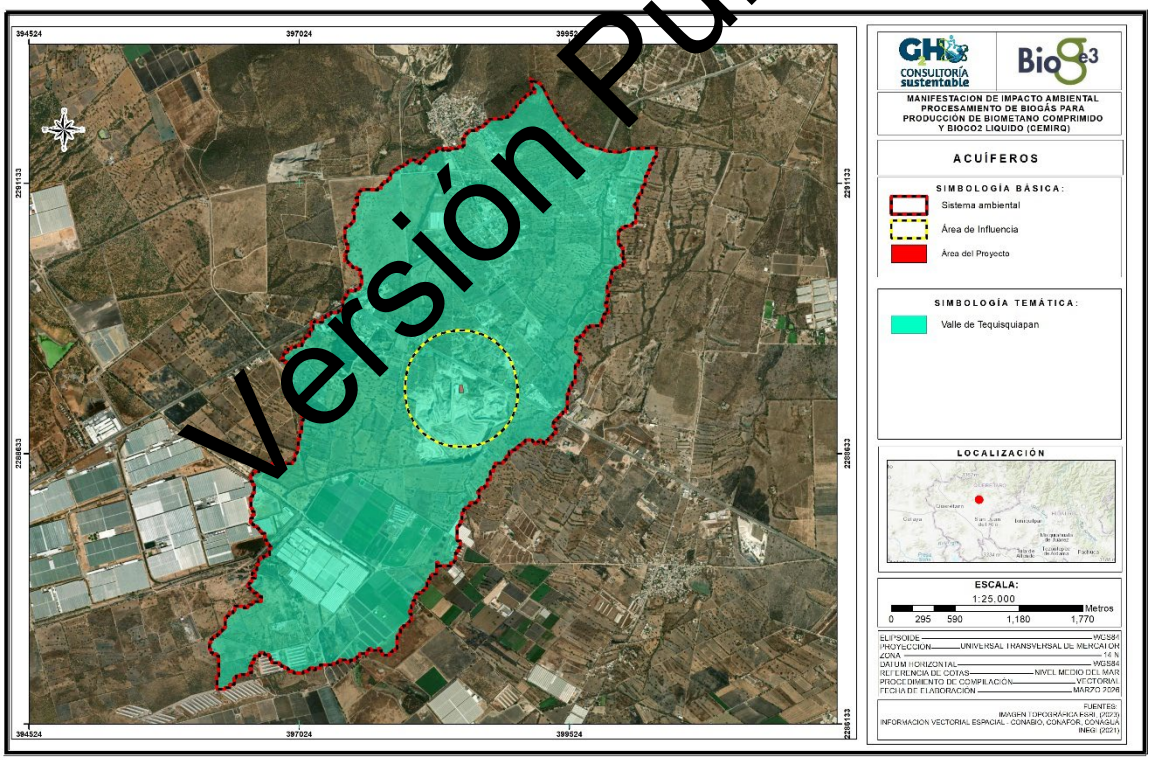


Figura 4.30 Acuíferos

Tabla 4.13 Situación del acuífero en que incide el proyecto

Acuífero Carmen-Salinas-Victoria	
Clave	2205

Acuífero Carmen-Salinas-Victoria	
Nombre	Valle de Tequisquiapan
Dirección	Suroeste-Noroeste.
Usos	Agricola y público urbano
DMA	-5.149624 hm^3/año.
R	108.1 hm^3/año
DNC	2.6 hm^3 anuales
VEAS	110,649,624 m^3 anuales

El proyecto de procesamiento de biogás para la producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ líquido se localiza dentro del ámbito del acuífero denominado Valle de Tequisquiapan, el cual, de acuerdo con información oficial, presenta condiciones de déficit, sin disponibilidad de volumen para nuevas concesiones. No obstante, el proyecto no contempla la extracción directa de agua subterránea ni la gestión de concesiones, ya que sus requerimientos hídricos son mínimos y se limitan a actividades puntuales de mantenimiento, sin depender de fuentes locales. En este sentido, el proyecto no representa una presión adicional sobre el acuífero ni contribuye a su sobreexplotación. Asimismo, al desarrollarse dentro de un sitio previamente impactado, no se prevén modificaciones que alteren los procesos de recarga, ni la calidad o dinámica del agua subterránea. Por lo anterior, se considera que la interacción del proyecto con el acuífero Valle de Tequisquiapan es compatible con las condiciones actuales, siempre que se mantenga un uso eficiente del recurso y el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable.

Cuerpos y corrientes de agua

De acuerdo con la información hidrológica del INEGI, dentro del Sistema Ambiental (SA) y del Área de Influencia (AI) se identifican diversas corrientes de agua de tipo intermitente, así como la presencia de cuerpos de agua también de carácter intermitente. En particular, la corriente más cercana al Área del Proyecto (AP) se localiza aproximadamente a 450 metros de distancia y corresponde a un escurrimiento intermitente. No obstante, durante los recorridos de campo realizados en el sitio, no se identificaron evidencias físicas claras de dichas corrientes, lo cual se asocia a las condiciones actuales del área, caracterizada por una alta intervención derivada de la operación del relleno sanitario, incluyendo actividades de nivelación, compactación y modificación del terreno, que han alterado la expresión superficial de los escurrimientos naturales originalmente cartografiados.

Versión Pública

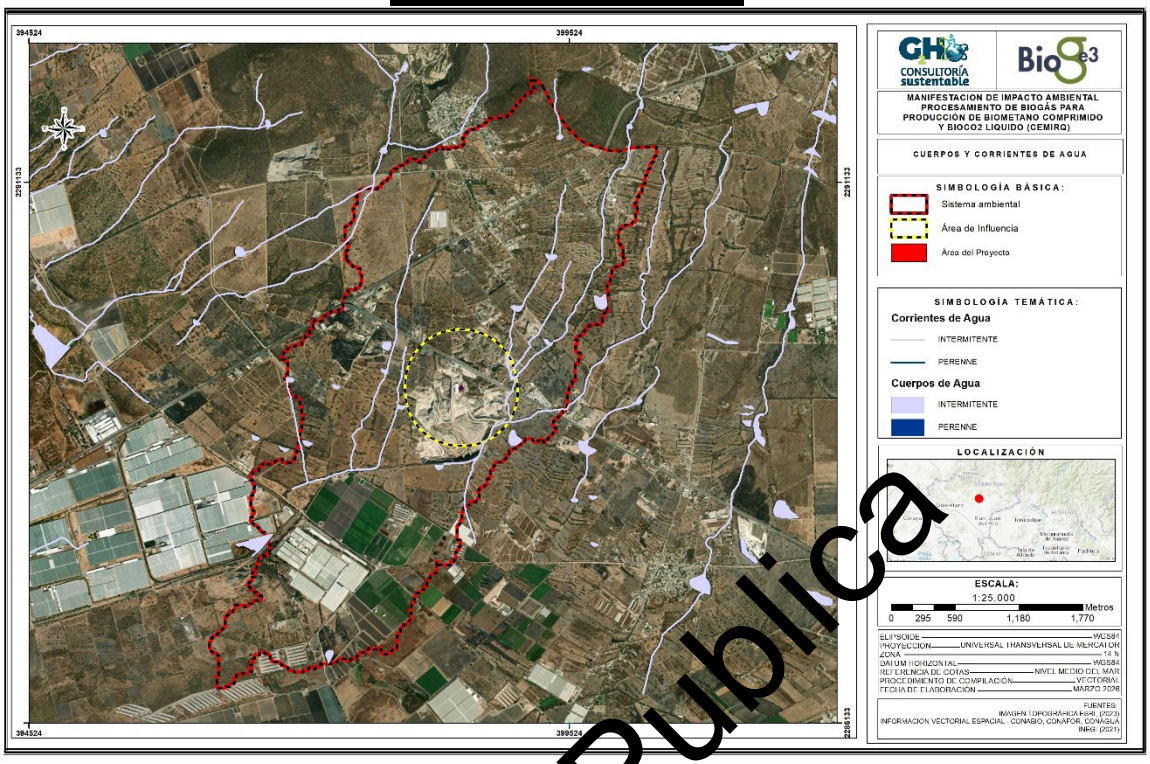


Figura 4.31 Cuerpos y corrientes de agua

Versión Publica

4.2.1.7 Regiones prioritarias

Regiones Hidrológicas Prioritarias

Las Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP) son unidades definidas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) con el objetivo de identificar áreas estratégicas para la conservación de la biodiversidad asociada a sistemas hídricos. La región del Golfo de México comprende un conjunto de cuencas, ríos, humedales, estuarios y sistemas costeros que drenan hacia el litoral del Golfo, abarcando porciones de diversos estados del país. Esta región se caracteriza por su alta conectividad hidrológica y su relevancia ecológica, al integrar ecosistemas terrestres, dulceacuícolas y marinos.

Biodiversidad

La región del Golfo de México destaca por su elevada biodiversidad y heterogeneidad de ecosistemas, que incluyen selvas húmedas, manglares, pantanos, lagunas costeras, arrecifes y sistemas estuarinos. Estos ambientes albergan una gran variedad de especies de flora y fauna, muchas de ellas endémicas o en alguna categoría de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010. En particular, los humedales y manglares funcionan como zonas de reproducción, alimentación y refugio para peces, aves migratorias, reptiles y mamíferos. Asimismo, los sistemas arrecifales y las praderas de pastos marinos contribuyen a la productividad biológica y a la protección de las costas.

Problemática

A pesar de su importancia ecológica, la región enfrenta diversas presiones antropogénicas que comprometen su integridad. Entre las principales problemáticas se encuentran la contaminación por descargas urbanas, industriales y agropecuarias, la modificación de cauces y pérdida de conectividad

hidrológica, la deforestación y cambio de uso de suelo, así como la sobreexplotación de recursos pesqueros. Adicionalmente, el desarrollo urbano, turístico y de infraestructura energética ha propiciado la degradación de humedales y manglares. A estos factores se suman los efectos del cambio climático, como el incremento del nivel del mar, la alteración de patrones de precipitación y la mayor frecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos.

Conservación

En respuesta a estas problemáticas, se han implementado diversas estrategias de conservación que incluyen el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP), la protección de sitios Ramsar, programas de restauración de manglares y humedales, así como instrumentos de política ambiental orientados a la gestión integral de cuencas. Asimismo, instituciones como CONABIO, SEMARNAT y CONANP promueven acciones para la conservación de la biodiversidad y el uso sustentable de los recursos naturales. No obstante, la efectividad de estas medidas depende de la coordinación interinstitucional y del fortalecimiento de mecanismos de vigilancia, restauración y participación social.

Versión Pública

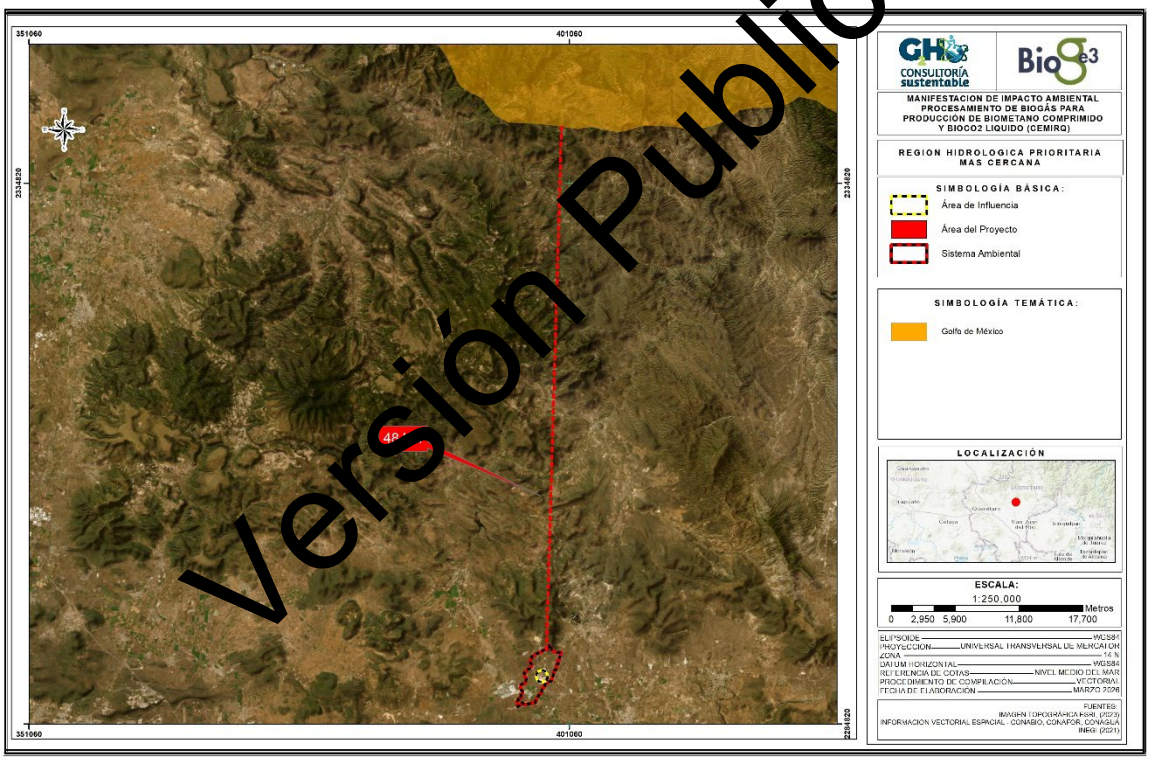


Figura 4.32 Región Hidrológica Prioritaria

Región Terrestre Prioritaria

Las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) corresponden a áreas continentales que destacan por la presencia de ecosistemas representativos y su alta diversidad biológica, siendo consideradas de importancia estratégica para la conservación de la biodiversidad. Estas regiones son definidas con base en criterios como su extensión, grado de integridad ecológica, función como corredores biológicos, diversidad de ecosistemas y presencia de especies endémicas o en alguna categoría de

riesgo, lo que las convierte en unidades clave para la protección de los procesos ecológicos a nivel regional.

Dentro del Sistema Ambiental (SA) del proyecto no se identifica la presencia de alguna Región Terrestre Prioritaria. No obstante, en el entorno regional se localizan la RTP "Cerro Zamorano", ubicada aproximadamente a 19.8 km al noroeste del SA, y la RTP "Sierra Gorda–Río Moctezuma", a 37.1 km al norte de este. Estas regiones se caracterizan por albergar ecosistemas bien conservados, principalmente de matorral, bosques y selvas, así como por su relevancia en la conservación de la biodiversidad y su papel como corredores biológicos en el centro del país.

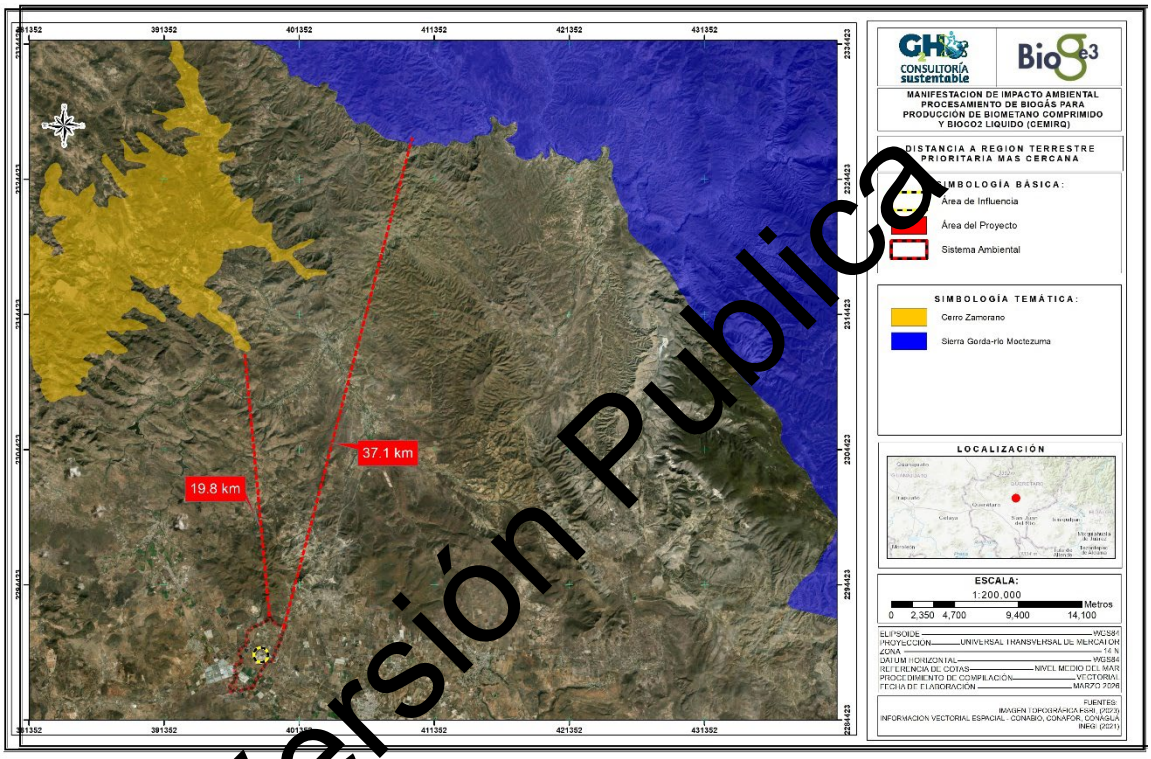


Figura 4.33 Región Terrestre Prioritaria

Versión Pública

Región Marina Prioritaria

Las Regiones Marinas Prioritarias (RMP) corresponden a áreas del medio marino que destacan por su alta diversidad biológica, productividad y relevancia ecológica, siendo consideradas estratégicas para la conservación de los ecosistemas marinos y costeros. Estas regiones son definidas con base en criterios como la riqueza de especies, presencia de hábitats críticos (arrecifes, manglares, pastos marinos), procesos oceanográficos relevantes, así como la existencia de especies endémicas o en alguna categoría de riesgo.

En el contexto nacional, la región del Golfo de México constituye una de las principales Regiones Marinas Prioritarias, caracterizada por la presencia de una amplia diversidad de ecosistemas, tales como sistemas arrecifales, lagunas costeras, estuarios y plataformas continentales altamente productivas. Esta región alberga una importante riqueza de flora y fauna marina, incluyendo especies de peces, aves, reptiles y mamíferos marinos, además de desempeñar un papel fundamental en procesos ecológicos como la reproducción, alimentación y migración de diversas especies.

Dentro del Sistema Ambiental (SA) del proyecto no se identifica la presencia directa de alguna Región Marina Prioritaria, debido a su localización continental. No obstante, a escala nacional, el Golfo de México representa la región marina prioritaria más cercana (a 259.5 km), cuya relevancia radica en su alta biodiversidad y en los servicios ecosistémicos que proporciona, tales como la regulación climática, la protección costera y el sustento de actividades pesqueras.

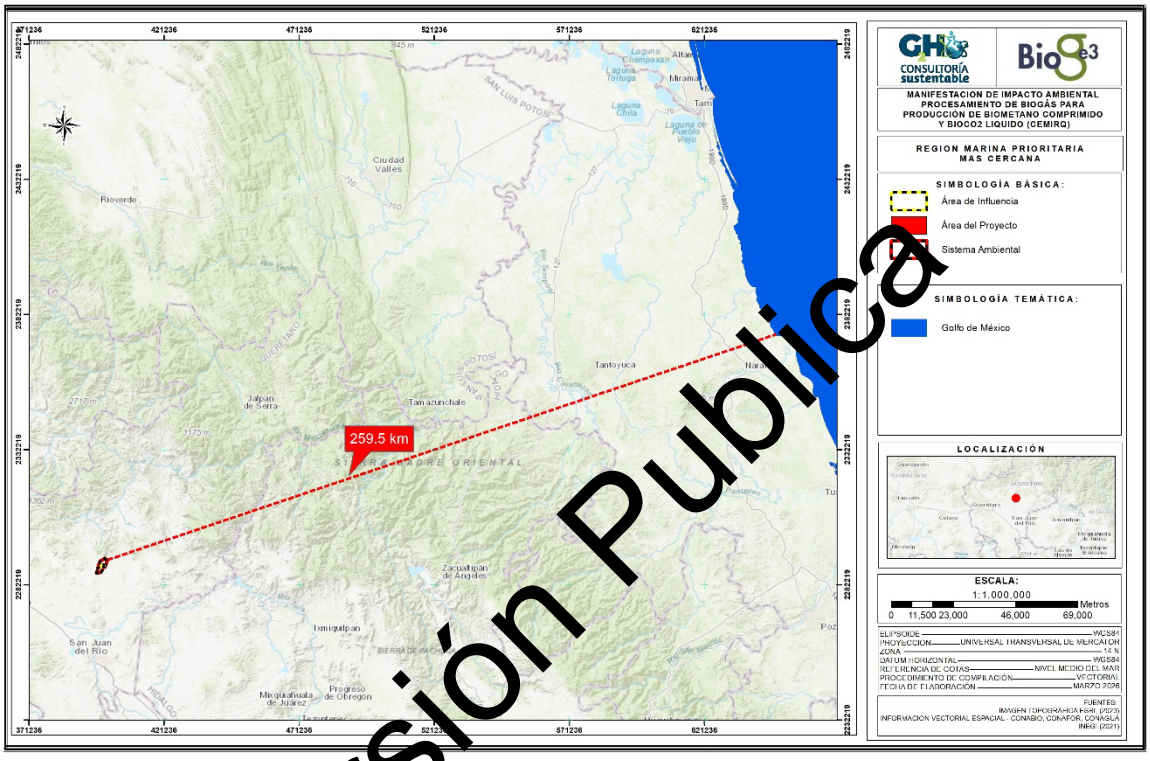


Figura 4.34 Región Marina Prioritaria

Versión Pública

Áreas Naturales Protegidas

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) corresponden a zonas del territorio nacional destinadas a la conservación de la biodiversidad, los ecosistemas y los servicios ambientales, siendo establecidas mediante instrumentos legales que regulan su uso y manejo. Estas áreas se caracterizan por albergar ecosistemas representativos, especies de importancia ecológica y procesos naturales relevantes, por lo que constituyen elementos clave dentro de la política ambiental del país.

Con base en el análisis cartográfico, dentro del Sistema Ambiental (SA) y del Área de Influencia (AI) del proyecto no se identifica la presencia directa de alguna Área Natural Protegida. No obstante, en el entorno regional se localizan diversas ANP de relevancia, entre las que destacan el Parque Nacional El Cimatario, ubicado aproximadamente a 39.1 km al suroeste del proyecto; la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, a una distancia de 36.7 km al norte; y el área natural protegida Peña Colorada, localizada a aproximadamente 37.8 km al oeste.

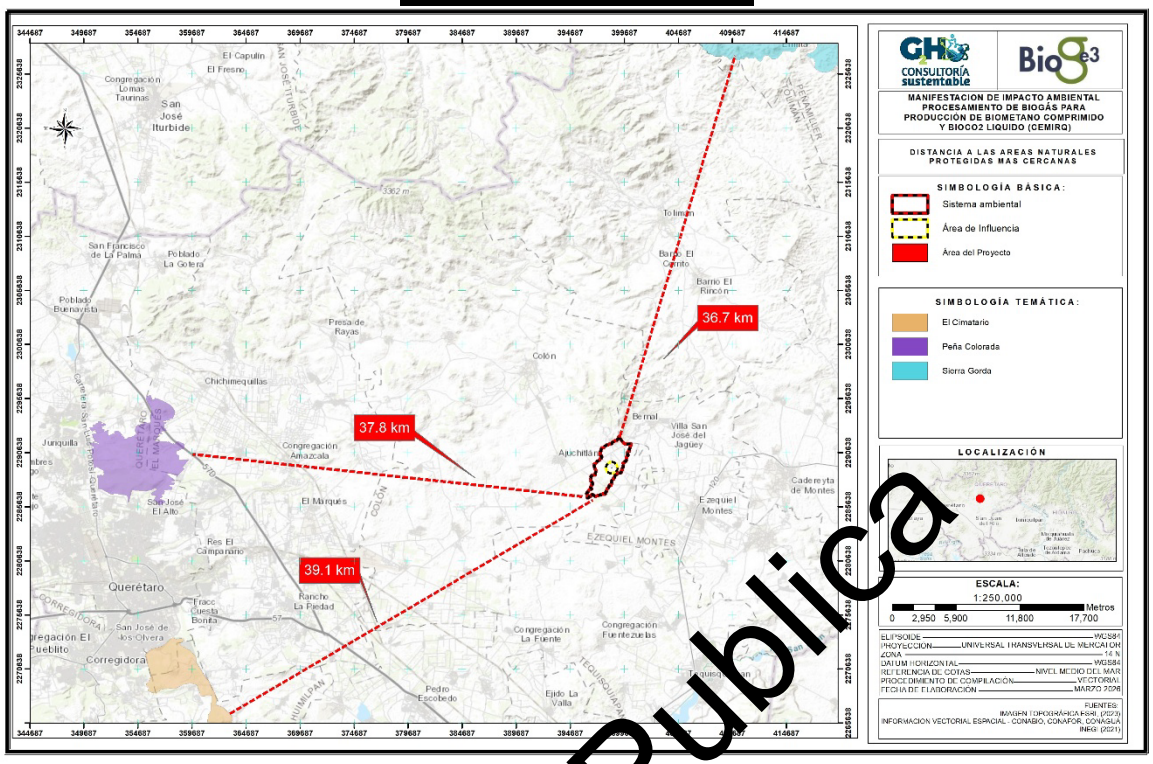


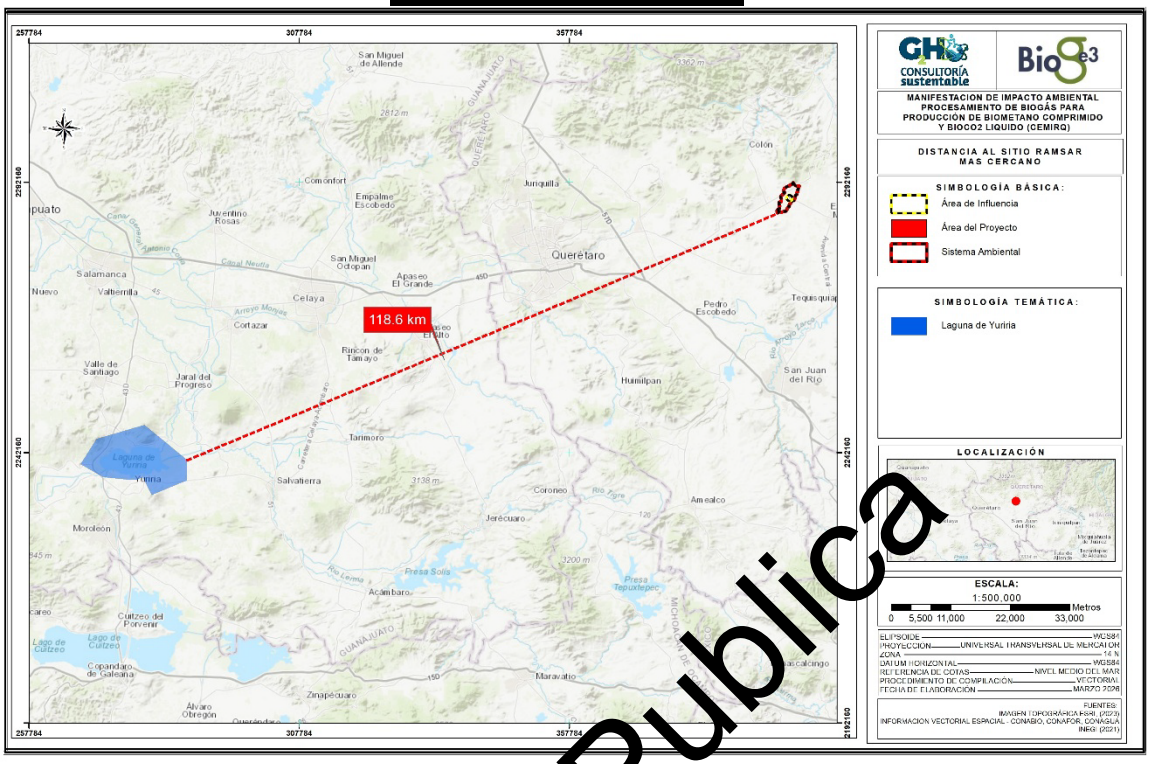
Figura 4.35 Área Natural Protegida más cercana al SA

Sitios RAMSAR

Los sitios Ramsar corresponden a humedales de importancia internacional designados bajo la Convención Ramsar, debido a su relevancia ecológica, hidrológica y biológica, particularmente por su función en la conservación de la biodiversidad, regulación del ciclo del agua y provisión de hábitat para especies acuáticas, incluyendo aves migratorias.

Con base en el análisis cartográfico, dentro del Sistema Ambiental (SA) y del Área de Influencia (AI) del proyecto no se identifica la presencia de algún sitio Ramsar. No obstante, a escala regional, el sitio Ramsar más cercano corresponde a la Laguna de Yuriria, ubicada aproximadamente a 118.6 km al suroeste del área del proyecto.

Versión Publica


MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL
PROCESAMIENTO DE BIOGÁS PARA
PRODUCCIÓN DE BIOMETANO COMPRIMIDO
Y BIOCO2 LIQUIDO (CEMIRQ)
DISTANCIA AL SITIO RAMSAR
MÁS CERCANO
SIMBOLOGÍA BÁSICA:
Área de Influencia
Área del Proyecto
Sistema Ambiental
SIMBOLOGÍA TEMÁTICA:
Laguna de Yuriria
LOCALIZACIÓN
ESCALA:
1:500,000
Metros
0 5,500 11,000 22,000 33,000
118.6 km
Querétaro
Celaya
Salvatierra
Yuriria
Acámbaro
Jerécuaro
Tarimoro
Coroneo
Huimilpan
Amealco
Pedro Escobedo
Tequisquiapan
San Juan del Río
Colón
Juriquilla
Comonfort
Empalme Escobedo
Juventino Rosas
San Miguel Octopan
Apaseo El Grande
Cortazar
Rincón de Tamayo
Valle de Santiago
Jaral del Progreso
Salamanca
Valtierrilla
Moroleón
Cuitzeo del Porvenir
Copandaro de Galeana
Álvaro Obregón
Zinapécuaro
Maravatío
Presa Solís
Presa Tepuxtepec
Río Lerma
Río Apaseo
Río Querétaro
Río Laja
Río Turbio
Río Temascatío
Río Tarimoro
Río Pueblo Nuevo
Río Arroyo Monjas
Río Arroyo Colorado
Río Arroyo Cortazar
Río Arroyo Salvatierra
Río Arroyo Jaral
Río Arroyo Valtierrilla
Río Arroyo Celaya
Río Arroyo Apaseo
Río Arroyo Juventino Rosas
Río Arroyo Comonfort
Río Arroyo Empalme Escobedo
Río Arroyo Juriquilla
Río Arroyo Colón
Río Arroyo Pedro Escobedo
Río Arroyo Tequisquiapan
Río Arroyo San Juan del Río
Río Arroyo Huimilpan
Río Arroyo Amealco
Río Arroyo Jerécuaro
Río Arroyo Tarimoro
Río Arroyo Coroneo
Río Arroyo Acámbaro
Río Arroyo Salvatierra
Río Arroyo Yuriria
Río Arroyo Moroleón
Río Arroyo Cuitzeo del Porvenir
Río Arroyo Copandaro de Galeana
Río Arroyo Álvaro Obregón
Río Arroyo Zinapécuaro
Río Arroyo Maravatío
Río Arroyo Acámbaro
Río Arroyo Jerécuaro
Río Arroyo Tarimoro
Río Arroyo Coroneo
Río Arroyo Huimilpan
Río Arroyo Amealco
Río Arroyo Pedro Escobedo
Río Arroyo Tequisquiapan
Río Arroyo San Juan del Río
Río Arroyo Colón
Río Arroyo Juriquilla
Río Arroyo Comonfort
Río Arroyo Empalme Escobedo
Río Arroyo Juventino Rosas
Río Arroyo San Miguel Octopan
Río Arroyo Apaseo El Grande
Río Arroyo Cortazar
Río Arroyo Rincón de Tamayo
Río Arroyo Valle de Santiago
Río Arroyo Jaral del Progreso
Río Arroyo Salamanca
Río Arroyo Valtierrilla

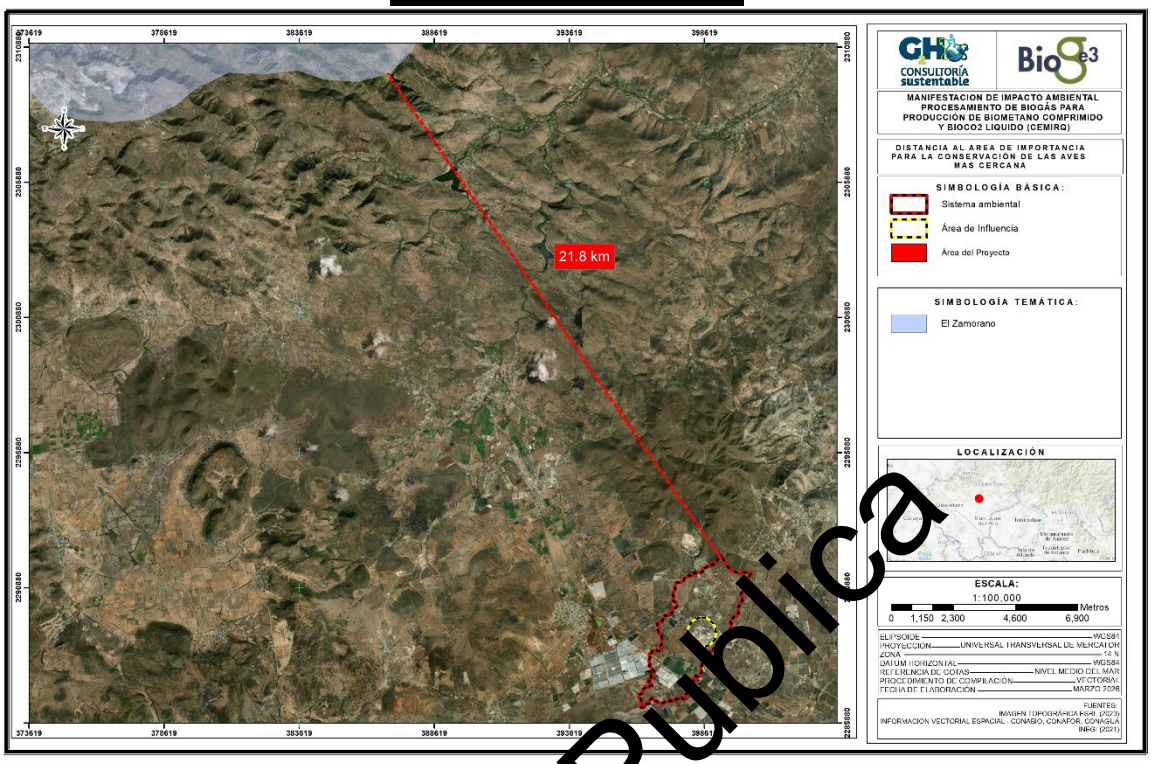


Figura 4.37 AICA más cercana al SA

Versión Pública

4.2.1.8 Caracterización y análisis del aire

La calidad del aire se explica por la interrelación de diversos aspectos, entre los que se encuentran: la actividad demográfica (crecimiento de la población y demanda de servicios), los aspectos geográficos (topografía y clima), la actividad económica (sectores dominantes: primario, secundario o terciario), así como la forma en que se mueven o transportan las personas y los bienes (tipo de transporte y consumo de combustibles fósiles).

De acuerdo con el "Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de Querétaro-San Juan del Río (ProAire) 2014-2023", la problemática atmosférica en la región se caracteriza por una alta concentración de contaminantes provenientes de diversas fuentes, siendo las fuentes móviles las de mayor impacto. Según el inventario de emisiones contenido en dicho documento, los vehículos automotores generan el 98% del Monóxido de Carbono (CO) con una emisión anual de 99,498 toneladas, además de contribuir significativamente con 13,635 toneladas de Óxidos de Nitrógeno (NOx). Por su parte, las fuentes de área y las fuentes naturales son los principales emisores de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y partículas suspendidas (PM10 y PM2.5), estas últimas con una emisión reportada de 11,540 y 2,683 toneladas anuales respectivamente.

Este escenario ambiental tiene una incidencia directa en la salud pública de la zona metropolitana, donde se ha documentado una correlación entre los niveles de contaminación y el incremento de Infecciones Respiratorias Agudas (IRA), así como enfermedades circulatorias y afecciones perinatales. En lo particular, el municipio de Colón presenta un contexto de crecimiento demográfico acelerado del 141% en las últimas décadas y una relevancia logística fundamental por la operación

del Aeropuerto Internacional de Querétaro. Debido a su ubicación y altitud (1,800 msnm), el municipio se integra a la dinámica de dispersión de contaminantes de la zona, lo que hace indispensable el seguimiento de las medidas de control de emisiones y el fortalecimiento del sistema de monitoreo atmosférico para asegurar que la calidad del aire se mantenga dentro de los límites permisibles establecidos por las normas oficiales mexicanas.

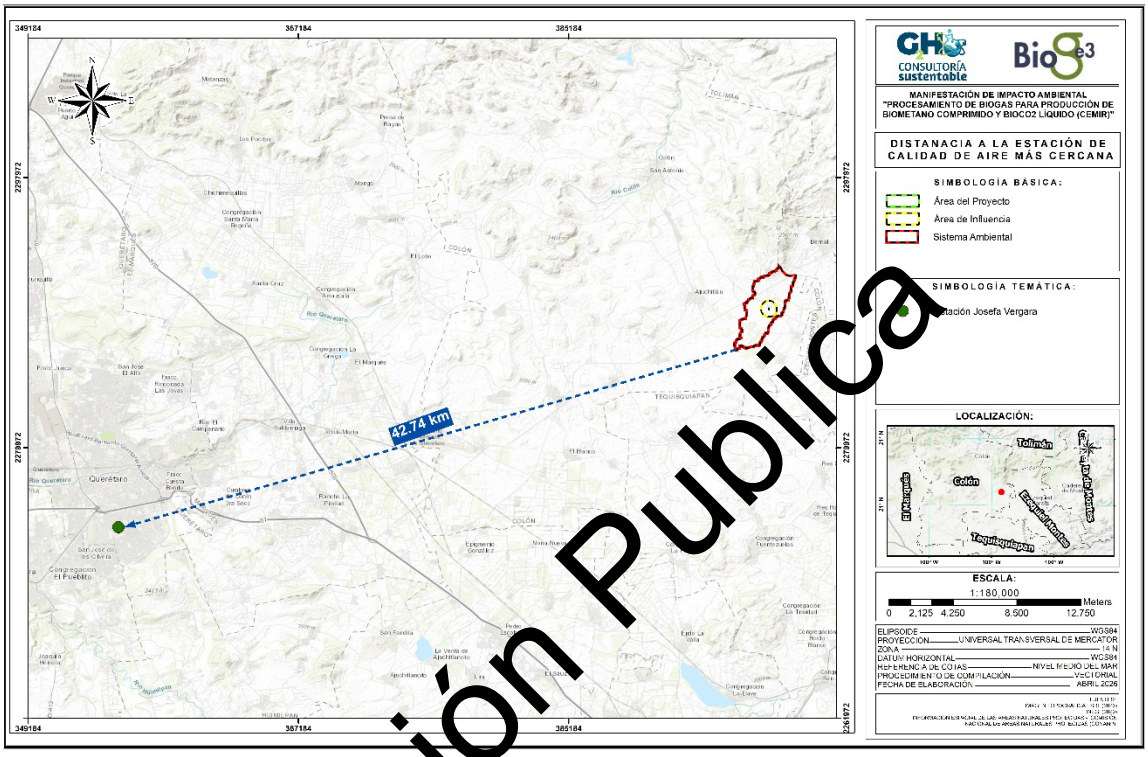


Figura 4.38 Distancia a la Estación de Monitoreo de la Calidad del Aire más cercana

De acuerdo con el inventario de infraestructura de monitoreo atmosférico, la estación de monitoreo de calidad del aire más cercana al Sistema Ambiental del proyecto es la denominada Josefa Vergara. Esta estación se localiza hacia el oeste, a una distancia aproximada de 42.74 km, y forma parte de la red encargada de medir de manera continua los niveles de contaminantes criterio en la región para asegurar que se mantengan dentro de los límites establecidos por la normatividad ambiental vigente.

Versión Publica

4.2.2 Aspectos bióticos

Metodología

La metodología de trabajo de campo para el presente estudio se diseñó considerando las características específicas del sitio del proyecto, el estado actual de intervención del predio y los alcances establecidos en la Manifestación de Impacto Ambiental previamente autorizada para la planta del usuario final (Expediente)

El levantamiento de información en campo se llevó a cabo mediante la selección de puntos de muestreo estratégicamente ubicados en zonas cercanas a Áreas Perturbadas (AP), dentro del Área de Influencia del proyecto, al interior de las instalaciones de una planta industrial ya construida y en operación, la cual cuenta con autorización ambiental vigente.

La elección de esta metodología respondió a que el sitio de estudio corresponde a un entorno totalmente intervenido, con infraestructura existente, superficies compactadas, ausencia de cobertura vegetal natural y sin evidencia de procesos ecológicos activos. En este contexto, la implementación de métodos de muestreo extensivos o el establecimiento de transectos en áreas no perturbadas no resultaba técnicamente procedente ni ambientalmente justificable, ya que no aportaría información adicional relevante para la evaluación de impactos.

Asimismo, la ubicación de los puntos de muestreo cercanos a AP permitió verificar las condiciones ambientales reales del entorno inmediato, identificar posibles efectos residuales asociados a la operación de la planta y confirmar la estabilidad ambiental del área de influencia, sin generar nuevas alteraciones al sitio ni interferir con las actividades operativas de la instalación.

Adicionalmente, se realizó una búsqueda y recopilación de información sobre el contenido florístico de la región utilizando fuentes oficiales como la Serie VII de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI, la información de ecosistemas terrestres de CONABIO y la plataforma Naturalista para identificar zonas puntuales de predominancia de flora. Sin embargo, dichas fuentes no arrojaron datos dentro del buffer de los 2500 metros que presenta el portal.

Finalmente, se seleccionó un total de 7 puntos de muestreo en los que se tomó a consideración la accesibilidad y las condiciones logísticas del terreno para facilitar los trabajos de campo y optimizar los tiempos de muestreo.

Puntos de Muestreo

Para el levantamiento de flora, se empleó un muestreo sistemático por cuadrantes en dos ubicaciones: cercanas del Área del Proyecto y cinco puntos en zonas adyacentes dentro del Área de Influencia. Se evaluaron los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo.

En cuanto a la fauna, se realizaron recorridos simultáneos en los mismos cuadrantes, empleando diversas metodologías para la identificación y cuantificación de especies: conteo por puntos para aves, observación directa e indirecta de mamíferos, reptiles, anfibios y aves.

Los datos obtenidos, tanto en campo como mediante consulta a fuentes secundarias (SNIB-CONABIO), se integraron para calcular los índices de biodiversidad y realizar un análisis más robusto del entorno biótico del sitio, cuyos resultados se detallan en el **ANEXO VIII. Índices de Biodiversidad.**

Asimismo, las coordenadas respecto a los cuadrantes de levantamiento de flora que se realizaron en campo se desglosan en la tabla 4.14 y se visualizan estos en la figura 4.39

Tabla 4.14 Coordenadas UTM 14 N de los puntos de muestreo de flora y fauna

Cuadrante	X	Y
1	398574.95	2289255.9
	398580.11	2289246.49
	398580.74	2289256.04
	398573.95	2289246.53
2	398557.34	2289281.75
	398558.34	2289285.4
	398552.83	2289287.61
	398551.83	2289283.22
3	398319.65	2289407.45

Versión Publica

Cuadrante	X	Y
	2289407.45	2289421.85
	398309.33	2289418.4
	398313.24	2289404.23
4	398339.47	2289387.59
	398339.48	2289379.61
	398338.96	2289379.46
	398354.12	2289379.8
5	398192.82	2288849.51
	398196.61	2288844.58
	398199.66	2288847.12
	398195.92	2288851.98
6	398207.79	2288841.71
	398208.55	2288837.31
	398215.52	2288837.75
	398214.66	2288841.82
7	398941.83	2289141.19
	398941.99	2289121.17
	398951.64	2289121.35
	398950.02	2289141.69

Versión Publica

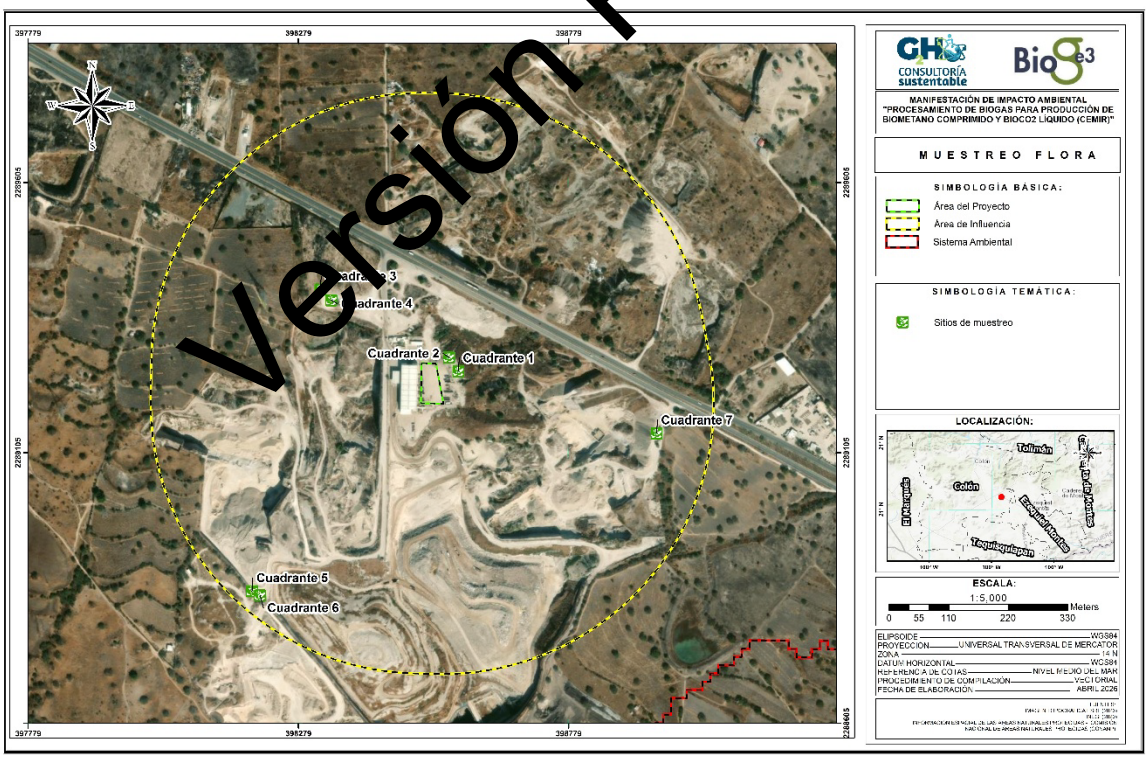


Figura 4.39 Puntos de muestro para levantamiento de flora y fauna

4.2.2.1 Flora

El estado de Querétaro presenta una alta diversidad florística, con 108 familias de plantas vasculares, predominando las angiospermas y destacando familias como Asteraceae, Poaceae y Leguminosae. Asimismo, se reportan especies raras, con estatus en la NOM-059-SEMARNAT y especies microendémicas, lo que resalta la relevancia biológica de la región. No obstante, el crecimiento urbano y la expansión agrícola han favorecido la pérdida y fragmentación de la vegetación.

El levantamiento de información florística se llevó a cabo dentro del Área de Influencia (AI), en puntos de muestreo seleccionados con la finalidad de recabar la totalidad de la información de flora en aquellas zonas donde las obras del proyecto incidirán de manera directa. El muestreo realizado permitió identificar una composición vegetal representativa tanto del Área de Influencia como del Sistema Ambiental (SA) del proyecto.

De acuerdo con los resultados obtenidos en campo, la vegetación registrada corresponde a una comunidad propia de ambientes semiáridos y sitios con perturbación antrópica, en la que predominan especies herbáceas y, en menor proporción, elementos arbustivos y arbóreos dispersos. La composición observada sugiere una cobertura vegetal de carácter secundario, asociada a procesos de transformación previa del sitio y a condiciones de disturbio que han favorecido el establecimiento de especies tolerantes, de amplia distribución y rápida colonización.

La presencia reducida de componentes leñosos y el predominio de formas de vida herbáceas permiten inferir que se trata de una vegetación con baja complejidad estructural, congruente con áreas sujetas a modificación del uso del suelo. En este sentido, la flora registrada no refleja una comunidad conservada o madura, sino un ensamblaje vegetal adaptado a condiciones de intervención, donde la composición y estructura responden más a la alteración del entorno que a un estado de conservación ecológica elevado.

Esta composición vegetal, dominada por especies herbáceas y con presencia limitada de estratos arbustivo y arbóreo, sugiere una estructura simplificada. En conjunto, estos resultados indican que el sitio corresponde a un ambiente previamente perturbado o intervenido, donde la vegetación original ha sido sustituida por comunidades secundarias de rápida colonización, propias de zonas con uso de suelo modificado. Esta condición es consistente con el contexto regional de fragmentación y transformación del paisaje, y permite inferir una menor complejidad ecológica en el área de estudio.

A continuación, en la Tabla 4.15, se enlistan las especies de vegetación registradas en campo, en conjunto con aquellas obtenidas mediante la búsqueda bibliográfica, las cuales se presentan separadas por estratos.

Tabla 4.15 Vegetación por estratos hallada en el área de estudio

Familia	Nombre común	Nombre científico	Endemismo	NOM-059	UICN	CITES
Arbóreo						
Fabaceae	Huizache	*Neltuma laevigata*	Nativa	N/A	LC	N/A
Anacardiaceae	Pirul	*Schinus molle*	Introducida	N/A	N/A	N/A
Arbustivo						
Asteraceae	Azomiate	*Barkleyanthus salicifolius*	Nativa	N/A	LC	N/A
Chenopodiaceae	Cardo ruso	*Salsola kali subsp. Tragus*	Introducida	N/A	N/A	N/A

Versión Publica

Familia	Nombre común	Nombre científico	Endemismo	NOM-059	UICN	CITES
Solanaceae	Tabaquillo sudamericano	*Nicotina glauca*	Introducida	N/A	N/A	N/A
Cactaceae	Nopal de castilla	*Opuntia ficus-indica*	Nativa	N/A	N/A	II
Fabaceae	Acacia	*Acacia farnesiana*	Nativa	N/A	LC	N/A
Herbáceo						
Nyctaginaceae	Maravilla del desierto	*Mirabilis multiflora*	Nativa	N/A	N/A	N/A
Brassicaceae	Arúgula del Mediterráneo	*Eruca vesicaria*	Introducida	N/A	N/A	N/A
Solanaceae	Tomate de cáscara	*Physalis philadelphica*	Nativa	N/A	LC	N/A
Resedaceae	Acelguilla euroasiática	*Reseda luteola*	Introducida	N/A	N/A	N/A
Papaveraceae	Cardo santo	*Argemone ochroleuca*	Nativa	N/A	N/A	N/A
Malvaceae	Hierba del negro	*Sphaeralcea angustifolia*	Nativa	N/A	N/A	N/A
Malvaceae	Lengua de gallo	*Mirabilis laevis*	Nativa	N/A	N/A	N/A
Poaceae	Barbas de indio	*Chloris virgata*	Nativa	N/A	N/A	N/A
Asteraceae	Limoncillo	*Thymophylla pentachaeta*	Nativa	N/A	N/A	N/A
Asteraceae	Hierba de la vaca	*Baileya californica*	Nativa	N/A	N/A	N/A
Asteraceae	Hierba del golpe	*Parthenium hysterophorus*	Nativa	N/A	N/A	N/A

Versión Publica

La vegetación registrada en el área de estudio fue clasificada en tres estratos principales: arbóreo, arbustivo y herbáceo, con base en su morfología, estructura y altura, este análisis permite conocer la diversidad florística, así como identificar especies relevantes por su estatus de conservación, endemismo o carácter exótico-invasor.

Estrato arbóreo

El estrato arbóreo registrado en el área de estudio presenta una composición altamente simplificada, conformada únicamente por *Neltuma laevigata* (huizache) y *Schinus molle* (pirul). La presencia de estas especies refleja condiciones típicas de ambientes semiáridos con historial de perturbación, donde el componente arbóreo ha sido reducido y sustituido por especies resistentes y de amplia tolerancia ecológica.

Neltuma laevigata, como especie nativa, es característica de zonas áridas y semiáridas, con capacidad de establecerse en suelos degradados y con limitada disponibilidad hídrica, mientras que *Schinus molle*, especie introducida, suele asociarse a entornos antropizados, caminos y áreas urbanas, evidenciando procesos de modificación del paisaje.

La baja riqueza específica en este estrato, junto con la ausencia de especies arbóreas de mayor valor ecológico o de conservación, indica una estructura vertical poco desarrollada, lo que limita funciones como la provisión de hábitat, regulación microclimática y soporte de biodiversidad. En conjunto, el estrato arbóreo refleja un sistema con bajo grado de conservación, donde la cobertura leñosa ha sido fragmentada o reducida, manteniéndose únicamente elementos aislados adaptados a condiciones de disturbio.

Estrato arbustivo

El estrato arbustivo presenta una composición limitada y dominada por especies oportunistas, integrando tanto elementos nativos como introducidos. Destaca la presencia de *Barkleyanthus salicifolius*, así como especies introducidas de carácter ruderal como *Salsola kali* subsp. *tragus* y *Nicotiana glauca*, comúnmente asociadas a sitios perturbados.

La coexistencia de especies nativas con especies introducidas refleja un grado importante de alteración del sistema, donde las condiciones ambientales han favorecido el establecimiento de flora tolerante a disturbios, suelos removidos y cambios en el uso del suelo. En particular, la presencia de especies como *Salsola kali* y *Nicotiana glauca* es indicativa de ambientes abiertos con baja competencia vegetal.

Asimismo, se registra la presencia de *Opuntia ficus-indica*, especie incluida en el Apéndice II de la CITES, lo que indica que, si bien no se encuentra en peligro de extinción, su aprovechamiento debe ser regulado para evitar afectaciones a sus poblaciones en estado silvestre.

En conjunto, el estrato arbustivo evidencia una estructura intermedia poco consolidada, con baja diversidad y dominancia de especies resistentes, lo que limita su papel en la generación de hábitats complejos y en la conectividad ecológica del sistema.

Estrato herbáceo

El estrato herbáceo constituye el componente más representativo de la vegetación en el área de estudio, con una mayor riqueza específica en comparación con los estratos leñosos. Se encuentra dominado principalmente por especies nativas de amplia distribución, acompañadas por algunas especies introducidas, lo que refleja un ensamblaje vegetal típico de ambientes semiáridos con perturbación recurrente.

La composición de este estrato está integrada por especies de carácter ruderal y arvense, con alta capacidad de colonización y adaptación a condiciones de disturbio, tales como remoción de suelo, compactación y cambios en el uso del suelo. Este tipo de vegetación suele establecerse rápidamente en áreas abiertas, ocupando nichos disponibles tras la alteración de la cobertura original.

Desde una perspectiva ecológica, el predominio del estrato herbáceo indica una etapa sucesional temprana o intermedia, donde las especies de rápido crecimiento y ciclo corto dominan la dinámica del sistema. Si bien este estrato cumple funciones importantes como la protección del suelo y la captura inicial de nutrientes, su dominancia, en ausencia de una estructura leñosa bien desarrollada, se asocia a una menor complejidad estructural y funcional del ecosistema.

En conjunto, el estrato herbáceo refleja un sistema vegetal adaptado a condiciones de intervención, donde la dinámica ecológica está fuertemente influenciada por factores antrópicos y por la capacidad de resiliencia de especies oportunistas.

Índice de biodiversidad

Versión Publica

El índice de biodiversidad es una medida cuantitativa que se utiliza para evaluar la variedad y la abundancia de especies en un ecosistema o área geográfica específica. Este índice se utiliza comúnmente en ecología y conservación para entender la riqueza y la composición de las comunidades biológicas, así como para monitorear cambios en la biodiversidad a lo largo del tiempo.

El Índice de Diversidad Biológica se utiliza para proporcionar una comprensión más completa de la biodiversidad en un área en comparación con simplemente contar el número de especies presentes. Cuanto mayor sea la diversidad biológica, se considera que un ecosistema es más resiliente y saludable, ya que diferentes especies pueden desempeñar funciones ecológicas importantes y contribuir a la estabilidad del ecosistema.

Índice de Shannon (H)

Por otro lado, el Índice de Shannon (H), desarrollado por Claude Shannon, se utiliza para cuantificar la diversidad de especies en una comunidad. Se basa en la idea de la teoría de la información y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H = \sum(p_i * ln(p_i))$$ [3]

El resultado del cálculo es un valor que representa la diversidad en la comunidad. Cuanto mayor sea el valor de *H*, mayor será la diversidad. El Índice de Shannon tiene en cuenta tanto la riqueza de especies (número de especies presentes) como la equidad (uniformidad en la distribución de abundancias) en la comunidad.

Índice de Simpson (S)

El Índice de Simpson, desarrollado por Edward H. Simpson, se utiliza para cuantificar la dominancia o la concentración de abundancias en una comunidad. A diferencia del Índice de Shannon, el Índice de Simpson se enfoca en la probabilidad de seleccionar dos individuos al azar de la comunidad y que pertenezcan a la misma especie. La fórmula es:

$$S = \sum(p_i)^2$$ [4]

El cálculo del Índice de diversidad para el proyecto arrojó los siguientes valores:

Tabla 4.16 Índice de biodiversidad de flora

Índice de biodiversidad	Estrato arbóreo	Estrato arbustivo	Estrato herbáceo
Índice de Shannon-Wiener	0.687	0.877	1.314
Índice de Simpson	0.556	0.541	0.614

Los valores obtenidos para los índices de Shannon-Wiener y Simpson evidencian una diferenciación clara en la diversidad y organización ecológica de la vegetación, mostrando un sistema con marcada dominancia del componente herbáceo. Los mayores valores registrados en este estrato (Shannon =

[3] Donde:
- *H* es el índice de Shannon
- P_i es la proporción de individuos de la especie *i* con respecto al total de individuos en la comunidad.
- Ln(p_i) es el logaritmo natural de p_i
- La sumatoria se realiza sobre todas las especies presentes en la comunidad.

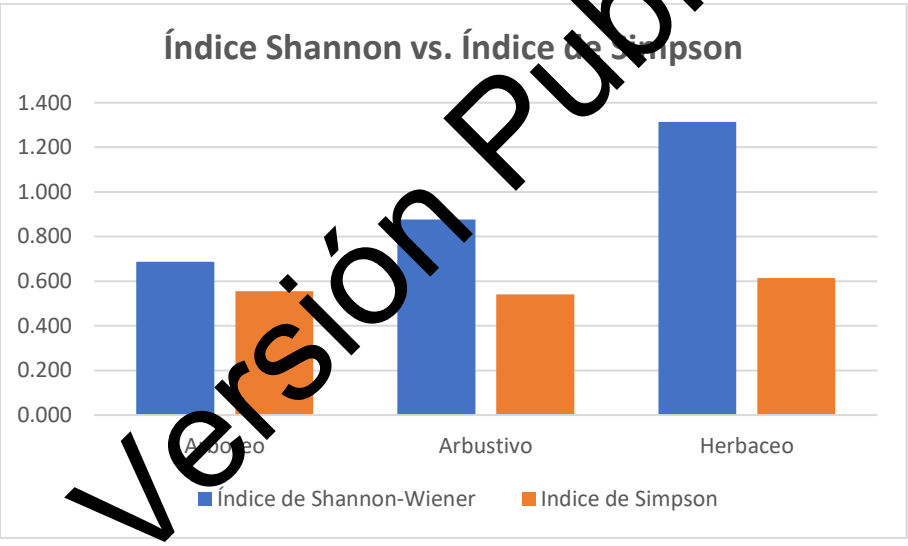
[4] Donde:
- *S* es el índice de Simpson
- P_i es la proporción de individuos de la especie *i* con respecto al total de individuos en la comunidad.

Versión Publica

1.314; Simpson = 0.614) indican una mayor riqueza específica y una distribución relativamente homogénea de abundancias, patrón característico de comunidades en etapas sucesionales tempranas o intermedias, donde predominan especies de rápido crecimiento y alta capacidad de colonización bajo condiciones de perturbación.

En contraste, los valores asociados a los estratos arbustivo (Shannon = 0.877; Simpson = 0.541) y arbóreo (Shannon = 0.687; Simpson = 0.556) reflejan una menor riqueza específica y una estructura más limitada, lo que sugiere un desarrollo incipiente de los componentes leñosos. Si bien existe cierta equitatividad en la distribución de las especies presentes, la baja representatividad de estos estratos restringe su contribución a funciones ecológicas clave, como la generación de microhábitats y la complejidad vertical del sistema.

La distribución de los índices revela una vegetación con estructura vertical incompleta, donde el predominio de formas de vida herbáceas sobre los estratos leñosos es indicativo de un sistema secundario y previamente perturbado. Esta configuración no solo responde a procesos de alteración del entorno, sino que también se traduce en una menor complejidad ecológica, una funcionalidad limitada y una capacidad reducida para sostener comunidades biológicas más diversas o procesos ecológicos más estables en el tiempo.



Versión Publica

Figura 4.40 Gráfico de Índices de Biodiversidad de vegetación por estrato en el área de estudio

Conclusión

La vegetación presente en el área de estudio corresponde a un sistema secundario, simplificado y con evidencia de perturbación antrópica, caracterizado por el predominio del estrato herbáceo y una baja representatividad de los componentes leñosos. Si bien a nivel regional se reconoce una alta diversidad florística y presencia de especies de interés, las condiciones particulares del sitio reflejan una pérdida de complejidad estructural y funcional, donde la composición vegetal está dominada por especies oportunistas y adaptadas a ambientes intervenidos.

En este contexto, la flora registrada presenta una capacidad limitada para sostener procesos ecológicos complejos, así como para proveer hábitat diverso, lo que es consistente con un paisaje fragmentado y sujeto a presión antrópica. No obstante, los remanentes vegetales existentes mantienen un papel

relevante en la estabilidad del suelo y en la dinámica ecológica local, por lo que su conservación y manejo adecuado resultan fundamentales dentro del desarrollo del proyecto.

En el ANEXO VIII se adjunta el listado completo de fauna, así como los cálculos realizados.

4.2.2.2 Fauna

En el municipio de Querétaro se registra una alta diversidad faunística asociada a la heterogeneidad de ecosistemas presentes, determinada por sus características geográficas, geológicas y climáticas. De acuerdo con el Inventario Faunístico Municipal y diversas fuentes institucionales como CONABIO, SEDESU y la Facultad de Ciencias Naturales de la UAQ, se han documentado múltiples grupos taxonómicos, incluyendo insectos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, varios de ellos con estatus de protección conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010. Destaca particularmente la riqueza de aves, tanto residentes como migratorias, así como la presencia de especies sensibles a la modificación del hábitat, lo que posiciona a la región como un espacio relevante desde el punto de vista ecológico.

Sin embargo, este contexto regional de alta biodiversidad contrasta con las condiciones específicas del área de estudio, donde los procesos de urbanización y fragmentación han modificado de manera significativa la disponibilidad y calidad de los hábitats.

Durante el levantamiento de campo se registró una cantidad limitada de especies dentro del Sistema Ambiental, identificándose principalmente aves como *Columbina inca* (tortolita cola larga), *Ardea alba* (garza blanca) y *Passer domesticus* (gorrión común), así como mamíferos asociados a actividades humanas como *Bos taurus* (ganado vacuno) y *Capra hircus* (cabra doméstica). La composición observada corresponde en su mayoría a especies generalistas, tolerantes a la presencia humana, así como a especies introducidas o invasoras, lo que es consistente con ambientes perturbados.

Asimismo, la consulta al Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB-CONABIO) no arrojó registros relevantes de especies dentro del área específica del proyecto, lo que refuerza la evidencia de una baja representatividad faunística en el sitio.

La fauna identificada refleja un sistema con baja diversidad, donde la presencia de especies está fuertemente condicionada por la intervención antrópica y la disponibilidad limitada de hábitat natural, favoreciendo a organismos oportunistas sobre aquellos con mayores requerimientos ecológicos. En la siguiente tabla, se muestra un desglose de las especies encontradas en el área de estudio:

Tabla 4.17 Fauna presente en el área de estudio desglosada por grupos

Familia	Nombre común	Nombre científico	Endemismo	NOM-059	UICN	CITES
Aves						
Columbidae	Tortolita cola larga	*Columbina inca*	*Nativa*	N/A	LC	N/A
Ardeidae	Garza blanca	*Ardea alba*	*Nativa*	N/A	LC	N/A
Passeridae	Gorrión común	*Passer domesticus*	*Introducida*	N/A	N/A	N/A
Mamíferos						

Versión Publica

Bovidae	Ganado vacuno	*Bos taurus*	*Introducido*	N/A	N/A	N/A
Bovidae	Cabra doméstica	*Capra hircus*	*Introducido*	N/A	N/A	N/A

Aves

El grupo de aves registrado en el área de estudio se encuentra conformado por un número reducido de especies, predominando aquellas de amplia distribución y alta tolerancia a ambientes antropizados. Especies como *Columbina inca* y *Passer domesticus* son típicas de zonas urbanas y periurbanas, donde encuentran condiciones favorables para su establecimiento, mientras que *Ardea alba* suele asociarse a cuerpos de agua o zonas abiertas, lo que sugiere la existencia de elementos del paisaje que permiten su presencia ocasional.

Desde una perspectiva ecológica, la composición de este grupo indica una baja especialización, con ausencia de especies sensibles o estrictamente dependientes de hábitats conservados. La presencia de especies introducidas, como *Passer domesticus*, refuerza el carácter intervenido del sitio, evidenciando condiciones que favorecen la colonización por fauna sin requerimientos ecológicos estrictos.

Adicionalmente, ninguna de las especies registradas se encuentra bajo alguna categoría de protección en la NOM-059-SEMARNAT, y su estatus en la UICN corresponde a preocupación menor (LC) o no evaluado, lo que indica que, a escala regional y global, no representan elementos críticos desde el punto de vista de conservación.

Mamíferos

El grupo de mamíferos registrado en el área de estudio se limita a especies domésticas como *Bos taurus* (ganado vacuno) y *Capra hircus* (cabra doméstica), ambas introducidas y estrechamente vinculadas a actividades productivas. La ausencia de mamíferos silvestres durante el levantamiento de campo sugiere condiciones poco favorables para su establecimiento, asociadas a la modificación del hábitat, la fragmentación y la presencia constante de actividad humana.

Desde el punto de vista ecológico, la dominancia exclusiva de especies domésticas indica una sustitución funcional de la fauna nativa, donde los procesos ecológicos que normalmente serían desempeñados por mamíferos silvestres (como dispersión de semillas o regulación de poblaciones) se ven alterados o ausentes.

Asimismo, la presencia de estas especies puede estar relacionada con prácticas de pastoreo o uso pecuario del terreno, lo que influye directamente en la estructura y composición de la vegetación, favoreciendo la compactación del suelo, la remoción de cobertura vegetal y la persistencia de especies herbáceas oportunistas.

En este contexto, el componente mastofaunístico del área refleja un sistema altamente intervenido, con baja representatividad de fauna silvestre y una dinámica ecológica condicionada principalmente por actividades antrópicas.

Índices de biodiversidad

Con el objetivo de evaluar y comparar la diversidad faunística del área de estudio, se calcularon los índices de diversidad de Simpson y Shannon-Wiener para los principales grupos registrados: anfibios,

Versión Publica

aves, mamíferos y reptiles. Estos índices permiten estimar tanto la riqueza (número de especies) como la equitatividad (proporción de individuos por especie) dentro de cada grupo, proporcionando una visión más precisa sobre la estructura de la comunidad biológica y el estado de conservación del ecosistema.

El índice de Simpson se interpreta en una escala de 0 a 1, donde valores cercanos a 1 indican mayor diversidad. Por su parte, el índice de Shannon-Wiener no tiene un límite superior fijo, pero a mayor valor, mayor complejidad y diversidad en la comunidad evaluada

Tabla 4.18 Índice de Biodiversidad para fauna

Índice de biodiversidad	Aves	Mamíferos
Índice de Shannon-Wiener	0.898	0.677
Índice de Simpson	0.600	0.515

Los valores obtenidos para los índices de Shannon-Wiener y Simpson reflejan una baja diversidad faunística en el área de estudio, con una ligera predominancia del grupo de aves sobre los mamíferos. En el caso de las aves (Shannon = 0.898; Simpson = 0.600), los valores indican una diversidad moderada, asociada principalmente a especies generalistas con alta capacidad de adaptación a ambientes perturbados, lo que coincide con la composición observada en campo.

Por su parte, los mamíferos presentan valores menores (Shannon = 0.677; Simpson = 0.515), lo que responde a la escasa riqueza específica y a la ausencia de fauna silvestre, limitándose a especies domésticas. Aunado a lo anterior, durante el levantamiento de campo no se registraron especies de reptiles ni anfibios, lo que refuerza la evidencia de condiciones poco favorables para grupos faunísticos con mayores requerimientos ecológicos y sensibilidad a la alteración del hábitat.

La diferencia entre los grupos registrados no refleja un sistema diverso, sino una dominancia relativa de especies oportunistas, particularmente en el caso de las aves, frente a un componente mastofaunístico prácticamente ausente en términos ecológicos. Este patrón es consistente con ambientes altamente intervenidos, donde la disponibilidad de hábitat, alimento y refugio se encuentra limitada para especies con mayores requerimientos ecológicos.

Versión Pública

En este sentido, los índices de biodiversidad no solo confirman la baja riqueza observada en campo, sino que también evidencian una fauna funcionalmente empobrecida, en la que predominan especies adaptadas a la presencia humana y se reduce la capacidad del sistema para sostener interacciones ecológicas más complejas.

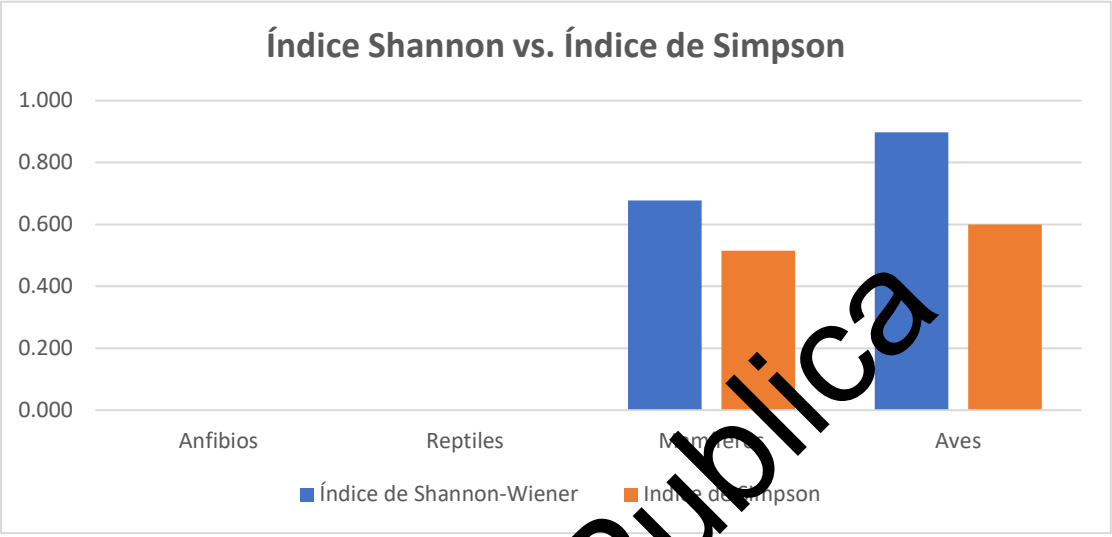


Figura 4.41 Gráfico de índices de biodiversidad de fauna por grupo en el área de estudio

Versión Pública

Conclusión

La fauna registrada en el área de estudio corresponde a un sistema altamente simplificado y con fuerte influencia antrópica, donde la diversidad se encuentra limitada tanto en términos taxonómicos como funcionales. La composición faunística está dominada por especies generalistas y tolerantes a la perturbación, principalmente aves, mientras que el componente de mamíferos se restringe a especies domésticas, evidenciando la ausencia de fauna silvestre representativa.

La falta de registros de anfibios y reptiles, aunada a la ausencia de especies con estatus de protección, refuerza la interpretación de un entorno con condiciones ambientales poco favorables para el establecimiento de especies sensibles, asociado a la fragmentación del hábitat, la modificación del uso del suelo y la presión constante de actividades humanas.

Bajo este contexto, el sistema presenta una baja complejidad ecológica y funcional, con limitada capacidad para sostener procesos ecológicos relevantes y comunidades faunísticas diversas, lo que es consistente con un paisaje transformado donde predominan dinámicas asociadas a ambientes urbanos o productivos.

En el ANEXO VIII se adjunta el listado completo de fauna, así como los cálculos realizados.

4.2.2.3 Ecosistemas

El Sistema Ambiental del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" se sitúa en un

entorno caracterizado por la interacción de factores climáticos, geológicos y biológicos que determinan la estructura y funcionalidad de los ecosistemas presentes.

Ecorregiones

El Sistema Ambiental (SA) donde se localiza el proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" se encuentra completamente inserto en la ecorregión de Lomeríos y Planicies del Altiplano con Matorral Xerófilo y Pastizal en la parte sur del SA y hacia la parte norte la ecorregión Planicie Interior con Mezquital.

La ecorregión de Lomeríos y Planicies del Altiplano con Matorral Xerófilo y Pastizal .se caracteriza por un clima seco a semiseco con vegetación adaptada a la aridez, como matorrales micrófilos-rosetófilos, pastizales y matorrales arborescentes. Mientras que la ecorregión Planicie Interior con Mezquital es una zona predominantemente plana en su parte central, conocida como el Valle de Tula-Actopan, enmarcada por relieves ondulados en sus extremos, presenta climas Semidesértico, caracterizado por temperaturas extremas (calor y frío) y una baja pluviosidad.

Versión Pública

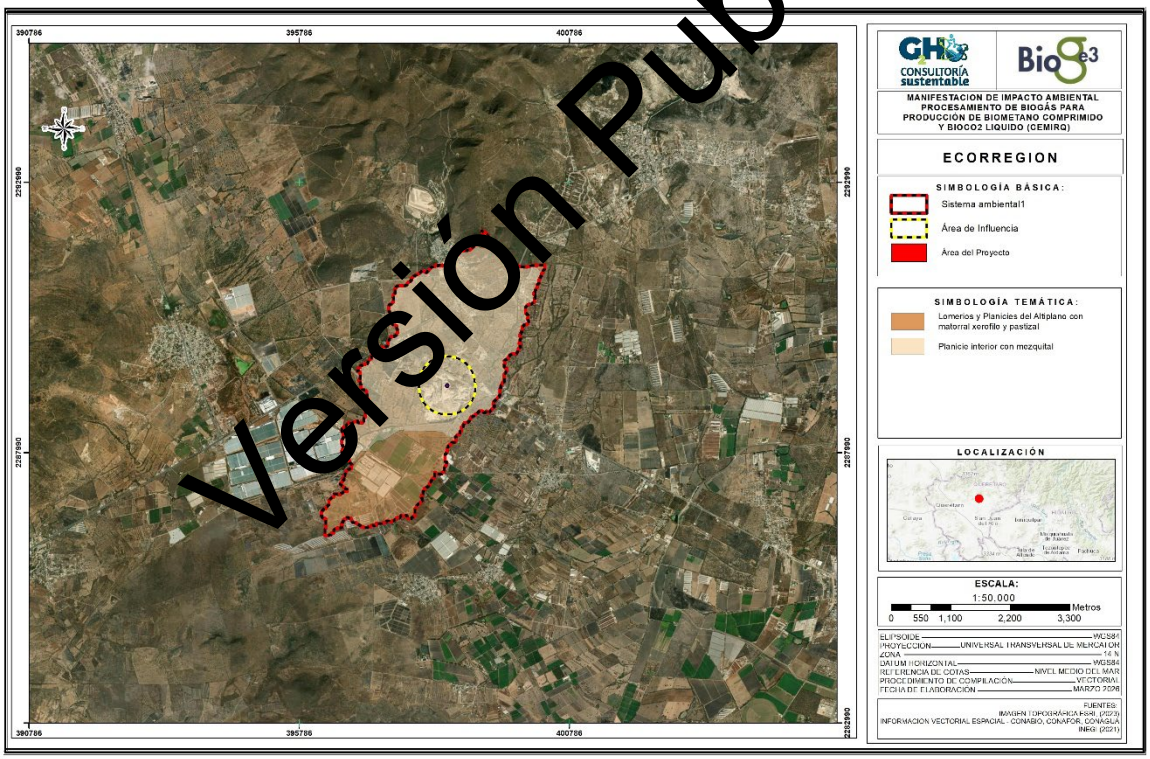


Figura 4.42 Ecorregión

4.2.3 Paisaje

La ecología del paisaje es un enfoque que nos permite analizar las acciones y el impacto que tendrá un proyecto específico en el paisaje. Para ello, es necesario establecer una línea base, que es la condición inicial del paisaje antes de la implementación del proyecto.

La percepción del paisaje es importante no solo porque es el origen de los fenómenos culturales y la interpretación del entorno, sino también porque nos ayuda a comprender y gestionar de manera más efectiva los recursos naturales. El proceso de percepción del paisaje implica la selección de información, el reconocimiento y la interpretación visual de un área específica.

Un análisis adecuado del paisaje nos permite lograr objetivos deseables, como la conservación de la integridad funcional de los ecosistemas, el mantenimiento de la funcionalidad ecológica, el control de la erosión y la continuidad en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos. Esto se basa en el hecho de que cualquier acción directa sobre el medio ambiente es dependiente del espacio en el que se lleva a cabo.

A pesar de las diferencias de percepción, existen patrones comunes que se pueden identificar y valorar en los paisajes, lo que nos ayuda a clasificarlos a través de la evaluación cualitativa y posteriormente cuantitativa de sus componentes naturales y antrópicos, así como las interrelaciones entre ellos. Este análisis nos proporciona información importante para tomar decisiones informadas sobre cómo gestionar y conservar el paisaje de manera sostenible.

Versión Publica

Unidades del Paisaje

La unidad de paisaje (UP) corresponde al nivel de menor generalización dentro del análisis físico-geográfico y se define como la combinación particular de elementos geomorfológicos, edáficos, climáticos y biológicos que, a una determinada escala, confieren una fisonomía específica y una organización morfológica diferenciable, haciendo que una porción del territorio sea distinguible de otra.

De acuerdo con el Mapa de Paisajes Físico-Geográficos de México (2012) elaborado por el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México, el Sistema Ambiental Regional donde se ubicará el proyecto se encuentra conformado por tres Unidades de Paisaje, las cuales reflejan las condiciones geomorfológicas y los procesos dominantes en la región.

El Sistema Ambiental del proyecto abarca las siguientes Unidades de Paisaje (UP):

- Planicies volcánicas onduladas: constituidas por rocas extrusivas ácidas en clima templado árido a muy árido, con cultivos agrícolas, pastizal huizachal, matorral xerófilo y pastos inducidos sobre Regosol, Xerosol, Leptosol, Chernozem y Andosol.
- Planicies estructural-plegadas onduladas: constituidas por depósitos aluviales en clima templado árido a muy árido, con matorral xerófilo, cultivos agrícolas, vegetación halófila y gipsófila, pastos inducidos, pastizal huizachal, áreas sin vegetación, vegetación de galería, vegetación de desiertos arenosos y bosque bajo abierto sobre Xerosol, Leptosol, Regosol, Solonchak, Yermosol, Planosol, Solonetz, Fluvisol y Cambisol.
- Planicies eólico-acumulativas onduladas (cadenas de dunas interiores): constituidas por depósitos arenosos en clima templado árido a muy árido, con vegetación de desiertos arenosos, vegetación halófila y gipsófila, matorral xerófilo, cultivos agrícolas, pastizal huizachal, áreas sin vegetación, pastos inducidos y bosque bajo abierto sobre Arenosol, Regosol, Solonetz, Xerosol, Yermosol y Solonchak.

Las ecorregiones del SA se caracterizan por paisajes de planicies onduladas de origen volcánico, aluvial y eólico, dominadas por condiciones de clima templado árido a muy árido. En conjunto, presentan una alta heterogeneidad de suelos y coberturas vegetales, donde predominan los matorrales

xerófilos, pastizales y usos agrícolas, reflejando ambientes frágiles con limitada disponibilidad de agua y fuerte influencia de procesos geomorfológicos y edáficos.

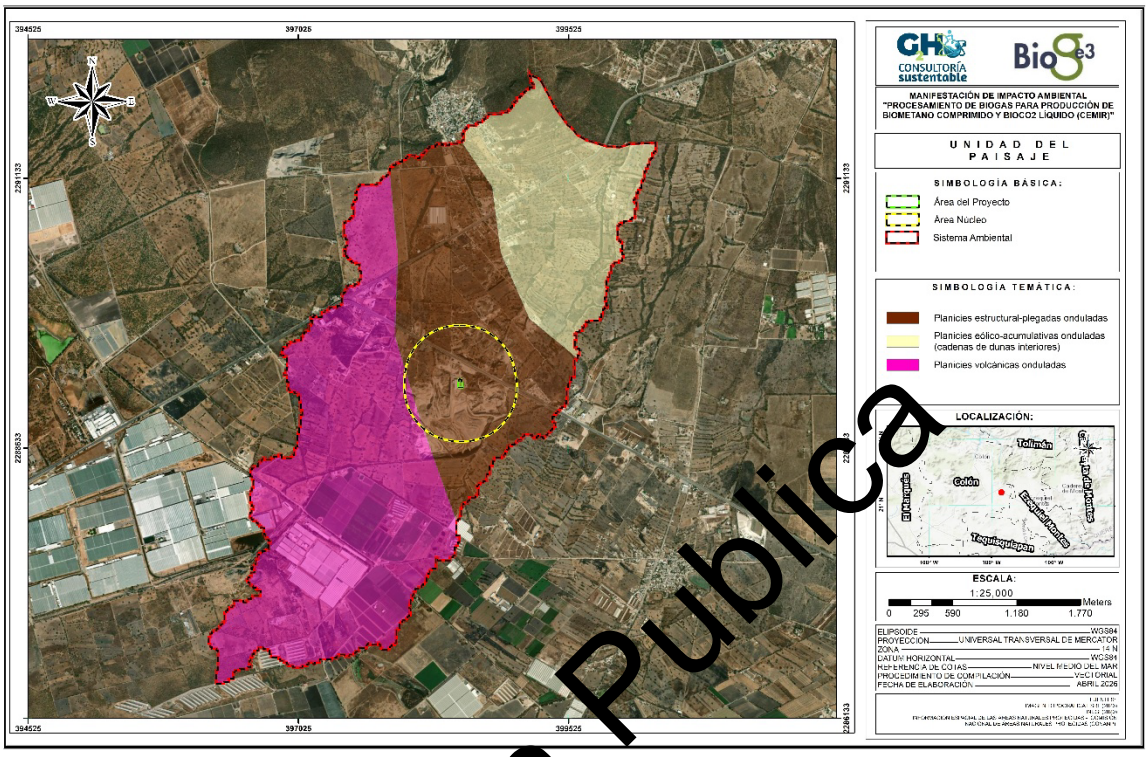


Figura 4.45 Unidades del Paisaje

Versión Publica

Visibilidad del Paisaje

A continuación, se presenta una ponderación del 1 (valor bajo) al 5 (valor más alto) para cada elemento (topografía, suelo, vegetación, geología y uso de suelo) en las Unidades de Paisaje (UP) mencionadas. Esta ponderación tiene como finalidad evaluar la visibilidad del paisaje en cada UP, considerando su relevancia visual y ecológica.

Tabla 4.19 Valoración de las UP

Valoración	Elemento	Calidad visual
Montañas volcánicas y tectónico-volcánicas en clima templado	Topografía	2
	Suelo	3
	Vegetación	3
	Geología	2
	Uso de suelo	4

La evaluación de la visibilidad del paisaje en el área de influencia del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" se basa en la ponderación de elementos clave como topografía, suelo, vegetación, geología y uso del suelo. La distribución de la calidad visual se representa en una escala que va de muy baja a muy alta, conforme a la Tabla 4.19, donde los valores asignados reflejan la singularidad y variedad de los rasgos paisajísticos.

Características intrínsecas

En el área del proyecto, las características intrínsecas del paisaje se encuentran fuertemente condicionadas por su uso como relleno sanitario, lo que se traduce en un entorno con marcada intervención antrópica, superficies modificadas y limitada naturalidad. Estas condiciones generan un paisaje con baja complejidad visual, donde predominan formas simples, colores poco variados asociados a suelos expuestos y residuos, y una escasa integración con el entorno natural circundante, compuesto principalmente por matorral xerófilo y pastizales.

Calidad visual del entorno inmediato

Es baja, debido a la presencia directa de residuos, infraestructura operativa y áreas sin cobertura vegetal, lo que reduce significativamente el atractivo escénico. La falta de elementos naturales bien conservados y la dominancia de componentes artificiales provocan una percepción visual poco armónica, con contrastes negativos respecto al paisaje circundante.

Calidad del fondo escénico

Se caracteriza por un paisaje abierto y continuo de planicies onduladas con vegetación de baja altura, lo que genera una amplia visibilidad del horizonte. Sin embargo, esta misma apertura favorece que el relleno sanitario se perciba como un elemento discordante dentro del fondo, alterando la continuidad visual y aumentando su notoriedad a media y larga distancia, lo que incrementa la sensibilidad del paisaje ante este tipo de intervención.

Versión Publica

Tabla 4.20 Calidad Visual del SA

Valores	Calidad visual
Muy bajo	Áreas de calidad muy baja, áreas con muy poca variedad en la forma, color línea y textura (0 a 6 puntos)
Bajo	Áreas de calidad baja, áreas con muy poca variedad en la forma, color línea y textura (6 a 16 puntos)
Medio	Áreas de calidad media, áreas cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color y línea, pero que resultan comunes en la región estudiad y no son excepcionales (17 a 27 puntos)
Alto	Áreas de calidad alta, con rasgos singulares y sobresalientes (28 a 38 puntos)
Muy alto	Áreas de calidad muy alta, con rasgos singulares y sobresalientes (30 a 40 puntos)

Fuente. Elaboración propia

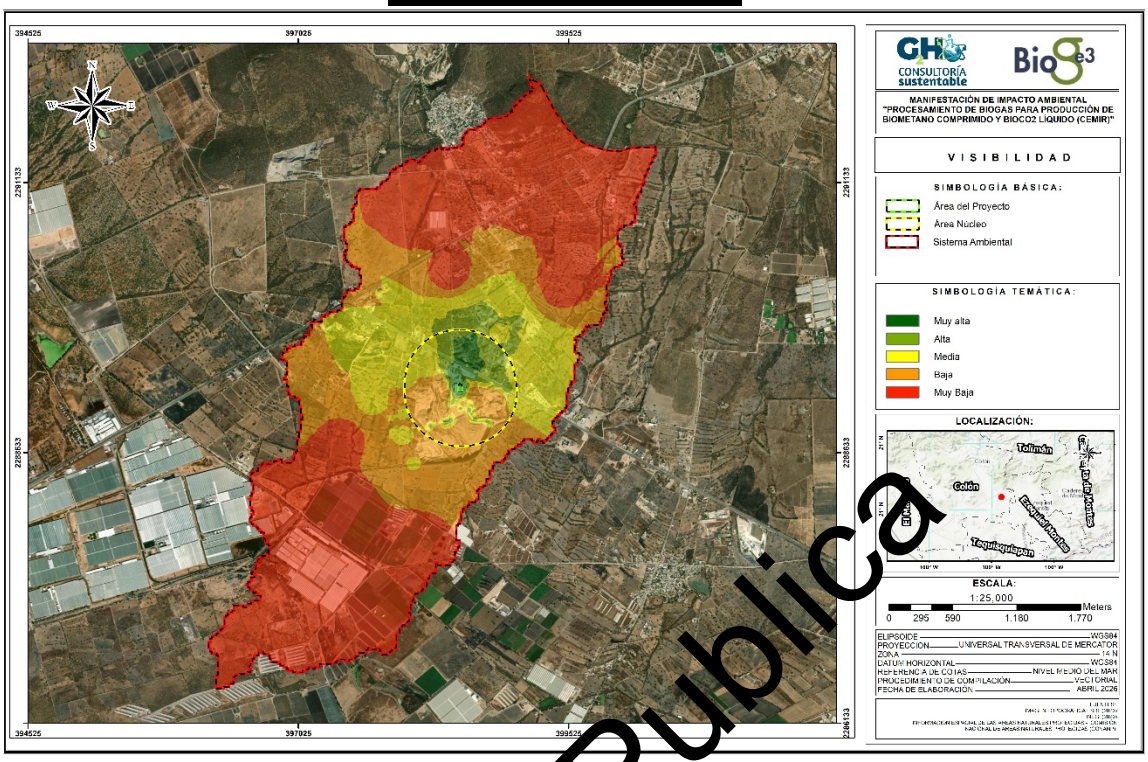


Figura 4.44 Visibilidad del paisaje

Versión Publica

4.2.4 Aspectos sociales

4.2.4.1 Demografía

Querétaro

El estado de Querétaro se localiza en la región centro-norte de la República Mexicana y colinda al norte con San Luis Potosí, al oeste con Guanajuato, al este con Hidalgo y al sur con el Estado de México y Michoacán. Presenta una dinámica sociodemográfica caracterizada por un crecimiento poblacional sostenido, asociado al desarrollo industrial y de servicios en la entidad.

De acuerdo con el INEGI, la población total asciende a 2,368,467 habitantes, de los cuales el 48.8 % corresponde a hombres y el 51.2 % a mujeres, con una relación de 95.4 hombres por cada 100 mujeres. La edad mediana es de 29 años, lo que refleja una población predominantemente joven, mientras que la razón de dependencia es de 45.8, indicando una proporción relevante de población en edad productiva. La distribución poblacional es mayoritariamente urbana, concentrándose en la Zona Metropolitana de Querétaro, aunque persisten localidades rurales con menor densidad y acceso diferenciado a servicios.

La brecha de edades por sexo y el porcentaje que ocupa cada uno se muestra a continuación

[redacted]

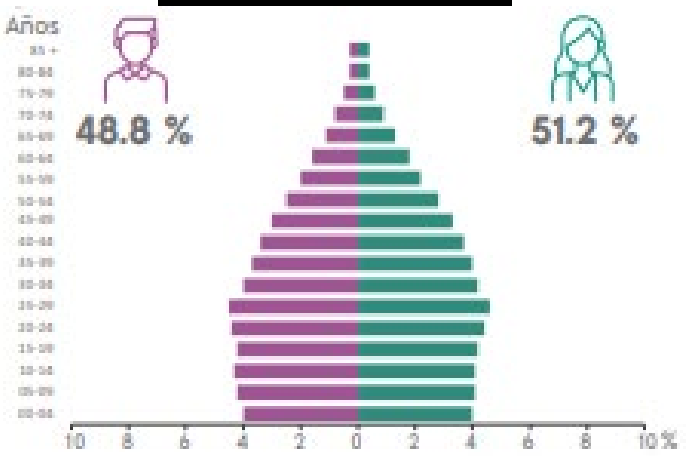


Figura 4.45 Pirámide poblacional del estado de Querétaro

De acuerdo con el panorama sociodemográfico del estado de Querétaro (INEGI, 2020), la entidad cuenta con una población total de 2,368,467 habitantes, con una distribución equilibrada por sexo (48.8 % hombres y 51.2 % mujeres), una edad mediana de 29 años y una razón de dependencia de 45.8, lo que indica una población mayoritariamente en edad productiva.

En materia económica, la población económicamente activa (PEA) representa el 65.0 % de la población de 12 años y más, de la cual el 98.2 % se encuentra ocupada. Por su parte, la población no económicamente activa (PNEA) corresponde al 34.7 %, integrada principalmente por personas dedicadas a los quehaceres del hogar (42.4 %) y estudiantes (31.3 %), lo que refleja una estructura social con alta participación laboral.

Respecto a las características educativas, predomina la población con educación básica (45.1 %), seguida de educación superior (27.5 %) y media superior (23.1 %), mientras que únicamente el 4.1 % no cuenta con escolaridad. En este sentido, la tasa de alfabetización es elevada, alcanzando el 99.2 % en población de 15 a 24 años y 95.3 % en población de 25 años y más.

En cuanto a vivienda, el estado registra 668,487 viviendas particulares habitadas, con un promedio de 3.5 ocupantes por vivienda. La mayoría cuenta con servicios básicos, destacando la disponibilidad de energía eléctrica (99.3 %), drenaje (97.1 %), servicios sanitarios (97.8 %) y agua entubada (85.2 %). Asimismo, se observa una amplia disponibilidad de tecnologías de la información, como telefonía celular (90.9 %), internet (64.4 %) y computadora (48.0 %), lo que refleja condiciones adecuadas de equipamiento en los hogares.

Adicionalmente, el 79.1 % de la población se encuentra afiliada a servicios de salud, mientras que el 4.1 % presenta alguna discapacidad. En términos de fecundidad, el promedio de hijas(os) nacidas(os) vivas(os) es de 1.4, lo que indica una tendencia demográfica hacia la reducción en las tasas de natalidad.

Versión Publica

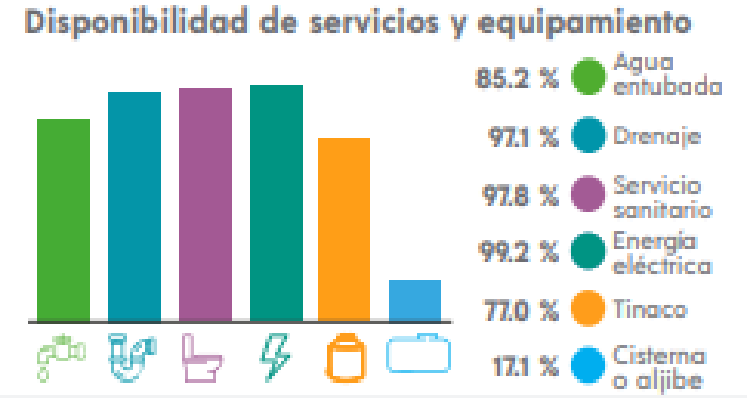


Figura 4.46 Disponibilidad de servicios en el estado de Querétaro

En el estado de Querétaro se registra presencia de población indígena, aunque en proporciones relativamente bajas a nivel estatal. De acuerdo con información del INEGI (2020), el 1.39 % de la población habla alguna lengua indígena, mientras que el 1.89 % se reconoce como indígena. El grupo predominante corresponde al pueblo otomí (hñähñu), seguido en menor proporción por hablantes de náhuatl. Esta población se concentra principalmente en municipios de la región sur y de la Sierra Gorda, como Amealco de Bonfil, Tolimán y Cadereyta de Montes. En este sentido, si bien existe presencia de comunidades indígenas en la entidad, su distribución es focalizada, por lo que su relevancia dentro del análisis dependerá de la ubicación específica del área de influencia del proyecto.

Colón

El municipio de Colón se localiza en la región centro-norte del estado de Querétaro y forma parte de la zona semidesértica de la entidad. Limita al norte con el municipio de Tolimán, al sur con El Marqués, al este con Ezequiel Montes y al oeste con el estado de Guanajuato. Su ubicación estratégica y conectividad con los principales corredores industriales del estado han favorecido un crecimiento reciente asociado al desarrollo de actividades industriales, logísticas y de servicios.

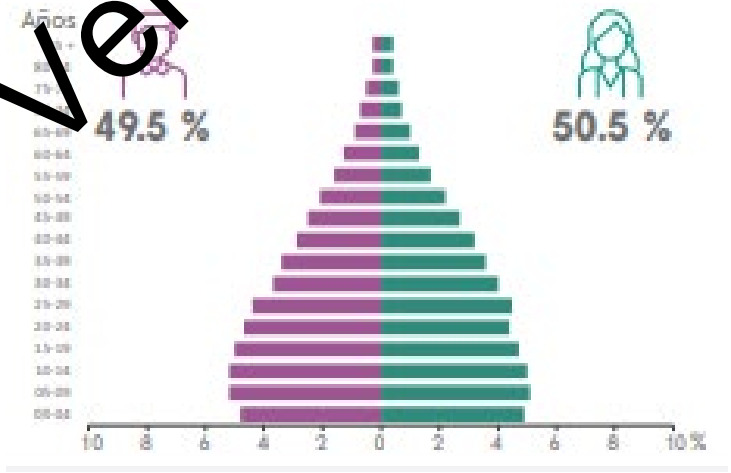


Figura 4.47 Pirámide poblacional del municipio de Colón

De acuerdo con el panorama sociodemográfico del municipio de Colón, Querétaro (INEGI, 2020), la población total asciende a 67,121 habitantes, con una distribución por sexo de 49.5 % hombres y 50.5

Versión Publica

% mujeres, y una relación de 97.9 hombres por cada 100 mujeres. La edad mediana es de 25 años, lo que refleja una población joven, mientras que la razón de dependencia es de 56.2, indicando una proporción significativa de población en edades dependientes.

En términos territoriales, el municipio cuenta con una superficie de 810.3 km², distribuidos en 105 localidades, siendo las de mayor población Colón, Ajuchitlán y El Blanco. La densidad de población es de 82.8 habitantes por km², lo que evidencia una ocupación territorial moderada con presencia de localidades rurales.

En materia de vivienda, se registran 16,146 viviendas particulares habitadas, con un promedio de 4.1 ocupantes por vivienda y 1.3 ocupantes por cuarto. El 5.8 % de las viviendas presenta piso de tierra, lo que puede asociarse con condiciones de rezago en ciertos sectores de la población. Asimismo, el 80.9 % de las viviendas dispone de refrigerador, el 59.4 % de lavadora y el 40.5 % de automóvil o camioneta.

En cuanto a tecnologías de la información, el 81.5 % de la población cuenta con telefonía celular, el 29.6 % tiene acceso a internet y el 36.8 % dispone de televisión de paga, lo que refleja un nivel intermedio de conectividad en el municipio.

En el ámbito económico, la población económicamente activa (PEA) representa el 61.9 % de la población de 12 años y más, de la cual el 98.3 % se encuentra ocupada. Por su parte, la población no económicamente activa (PNEA) corresponde al 37.8 %, integrada principalmente por personas dedicadas a los quehaceres del hogar (51.9 %) y estudiantes (31.3 %).

Respecto a las características educativas, predomina la población con educación básica (67.6 %), seguida de educación media superior (18.2 %) y superior (6.1 %), mientras que el 7.9 % no cuenta con escolaridad. La tasa de alfabetización es de 99.0 % en el grupo de 15 a 24 años y de 90.8 % en la población de 25 años y más. En cuanto a asistencia escolar, se observa una disminución progresiva conforme aumenta la edad.

En materia de salud, el 73.7 % de la población se encuentra afiliada a servicios de salud. Asimismo, el 4.9 % presenta alguna discapacidad, concentrándose principalmente en grupos de mayor edad.

Finalmente, en términos de composición étnica, el 0.26 % de la población habla alguna lengua indígena, predominando el otomí, seguido del náhuatl, lo que indica una presencia indígena limitada y focalizada en el municipio.

Versión Pública

4.2.4.2 Indicadores sociodemográficos

Servicios públicos

En cuanto a la disponibilidad de servicios públicos en el municipio de Colón, se observa que el 45.4 % de las viviendas cuenta con acceso a agua entubada, mientras que el 91.7 % dispone de drenaje y el 92.3 % de servicio sanitario. Por su parte, la cobertura de energía eléctrica alcanza el 98.9 %, lo que indica un alto nivel de acceso a este servicio básico en el municipio.

Adicionalmente, el 58.3 % de las viviendas cuenta con tinaco y el 6.1 % con cisterna, lo que sugiere la implementación de mecanismos de almacenamiento de agua ante posibles limitaciones en el suministro. En conjunto, estos indicadores reflejan una cobertura adecuada en servicios básicos como electricidad y saneamiento, aunque con áreas de oportunidad en el acceso al agua entubada.

Migración

En materia de migración, el 3.9 % de la población del municipio de Colón de 5 años y más reside en una entidad distinta a la que habitaba en marzo de 2015, lo que indica una movilidad poblacional moderada. Las principales causas de migración corresponden a motivos laborales (25.3 %), familiares (52.8 %) y, en menor proporción, por estudios (3.8 %), inseguridad (7.5 %) y otras causas (10.6 %).

Estos patrones reflejan que la dinámica migratoria del municipio está principalmente asociada a la búsqueda de oportunidades económicas y a procesos de reunificación familiar, lo cual puede influir en la configuración social y en la disponibilidad de mano de obra en la región.

Afectaciones del proyecto que contribuyen al cambio climático

El proyecto de aprovechamiento de biogás en el relleno sanitario del municipio de Colón se desarrollará en un sitio previamente intervenido, por lo que sus afectaciones se consideran principalmente locales, de baja a moderada magnitud y mitigables. No obstante, desde una perspectiva ambiental global, el proyecto adquiere relevancia al incidir directamente en la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente aquellas asociadas a la descomposición de residuos sólidos urbanos.

Contribuciones del proyecto en materia de cambio climático:

- Captura y aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario, evitando la liberación directa de metano (CH_4) a la atmósfera.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante la quema controlada o valorización energética del biogás.
- Disminución del potencial de calentamiento global asociado a los residuos sólidos urbanos.
- Sustitución parcial de fuentes de energía convencionales mediante el aprovechamiento de energía renovable.
- Contribución al cumplimiento de metas nacionales e internacionales en materia de mitigación del cambio climático.

Grado de rezago social

El Sistema Ambiental (SA) y el Área de Influencia (AI) del proyecto no presentan clasificación visible dentro de la cartografía de rezago social, lo que indica que no se identifican localidades evaluadas o con grado de rezago asignado dentro de estos polígonos. No obstante, en zonas cercanas se observan áreas con rezago social bajo a medio, así como presencia puntual de rezago alto en localidades más alejadas. En este sentido, el proyecto se inserta en un entorno inmediato sin evidencia cartográfica de rezago social, aunque en su periferia existen contrastes en las condiciones socioeconómicas que deben considerarse de manera general en el análisis.

Versión Publica

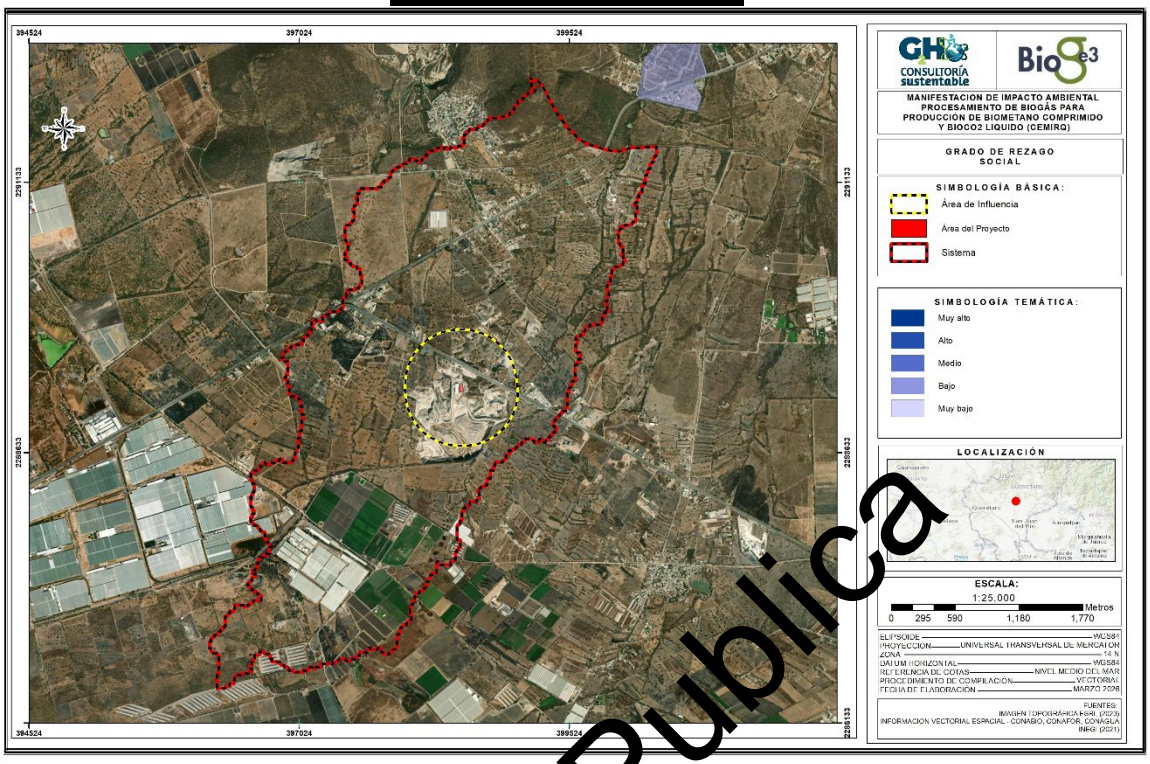


Figura 4.48 Grado de Rezago Social

Versión Publica

4.2.4.3 Factores socioculturales

Artesanías

En el municipio de Colón, Querétaro, la actividad artesanal se encuentra fuertemente asociada a la producción de textiles de lana, destacando el tejido en telar de pedal como una de las tradiciones más representativas de la región. Esta práctica, de origen histórico y vinculada a comunidades otomíes, ha sido transmitida por generaciones en talleres familiares, donde se elaboran piezas como sarapes, cobijas, tapetes y prendas de vestir. La importancia de esta actividad es tal que el municipio ha sido reconocido como "Tierra de sarapes", consolidando a la lana como el principal elemento de identidad artesanal local. Si bien existen otras expresiones artesanales en menor escala, la producción textil de lana constituye el eje central del patrimonio cultural y productivo del municipio.

Gastronomía

Su gastronomía tradicional refleja la herencia cultural del semidesierto queretano y de las comunidades rurales de la región. Entre los platillos más representativos destacan la barbacoa de borrego, preparada de manera tradicional en horno de tierra, así como las carnitas, los nopales en diversas preparaciones y los quelites, los cuales forman parte de la dieta local. Asimismo, es común el consumo de productos derivados del maíz, como tortillas hechas a mano y antojitos regionales. En el ámbito de las bebidas y productos complementarios, sobresalen el pulque y sus derivados, así como dulces tradicionales elaborados de manera artesanal. En conjunto, la gastronomía del municipio se caracteriza por el uso de ingredientes locales y técnicas tradicionales, constituyendo un elemento relevante de su identidad cultural.

Creencias y tradiciones

Las creencias y tradiciones en este municipio se encuentran fuertemente arraigadas a la religión católica y a las prácticas comunitarias propias de las localidades rurales del semidesierto queretano. Entre las expresiones más representativas destacan las fiestas patronales, en particular las dedicadas a santos locales, donde se combinan celebraciones religiosas con actividades culturales como danzas, música, ferias y eventos comunitarios. Asimismo, es relevante la presencia de peregrinaciones y manifestaciones de fe vinculadas a sitios de importancia regional, como la Basílica de Soriano, uno de los principales centros de devoción religiosa en el estado.

Zonas arqueológicas y monumentos históricos

El patrimonio histórico y cultural se manifiesta principalmente a través de monumentos arquitectónicos de carácter religioso y civil, así como vestigios arqueológicos en menor escala. Entre los principales referentes destaca la Basílica de Nuestra Señora de los Dolores de Soriano, considerada uno de los recintos religiosos más importantes del estado y un centro de peregrinación regional. Asimismo, se identifican templos, capillas y construcciones históricas en diversas localidades del municipio, que reflejan el desarrollo histórico de la región desde la época colonial.

En cuanto a zonas arqueológicas, si bien el municipio no cuenta con sitios de gran escala abiertos al público como otros del estado, se han registrado vestigios prehispánicos dispersos, asociados principalmente a asentamientos otomíes y chichimecas, los cuales forman parte del contexto histórico-cultural de la región. En conjunto, estos elementos constituyen parte del patrimonio cultural del municipio, contribuyendo a la identidad local y a la conservación de su historia.

Uso de recursos naturales

El uso de los recursos naturales se encuentra asociado principalmente a actividades agropecuarias, aprovechamiento de vegetación y consumo doméstico en zonas rurales. Entre los usos más relevantes destaca la agricultura de temporal, el pastoreo de ganado y el aprovechamiento de especies vegetales nativas para leña, forraje y, en algunos casos, usos tradicionales. Asimismo, en ciertas localidades se realiza el aprovechamiento de plantas del semidesierto para consumo humano, medicinal o artesanal, como nopales y otras especies adaptadas a condiciones áridas. Estos usos se desarrollan generalmente a pequeña escala y con fines de subsistencia o comercio local, dependiendo de las condiciones del entorno y la disponibilidad de recursos.

Nivel de aceptación del proyecto

En relación con el nivel de aceptación social del proyecto, no se identifican elementos que permitan anticipar una oposición significativa en el área donde se pretende desarrollar. Lo anterior, considerando que el proyecto se inserta en un sitio previamente intervenido y asociado a actividades de manejo de residuos, lo cual es consistente con el uso actual del suelo.

No obstante, la valoración específica de la percepción social, así como la identificación de posibles inquietudes o expectativas por parte de la población, será abordada de manera detallada mediante el desarrollo de la Manifestación de Impacto Social (MISSE), en cumplimiento con la normativa aplicable. En dicho instrumento se analizarán las características sociales del área de influencia y se definirán, en su caso, las medidas correspondientes para la adecuada gestión social del proyecto.

Versión Pública

4.3 Cambio Climático

El cambio climático representa una de las principales problemáticas ambientales a nivel global, derivada del incremento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que ha generado alteraciones en los patrones climáticos, aumento de temperaturas y mayor frecuencia de eventos extremos. En este contexto, las actividades relacionadas con la gestión de residuos sólidos urbanos adquieren relevancia, ya que los rellenos sanitarios constituyen fuentes importantes de emisiones de metano, un gas con alto potencial de calentamiento global. Por ello, la implementación de proyectos orientados a la captura, control y aprovechamiento del biogás se posiciona como una estrategia clave para la mitigación de emisiones, contribuyendo a la reducción de impactos asociados al cambio climático y al cumplimiento de objetivos ambientales en materia de sustentabilidad.

Afectaciones del proyecto que contribuyen al cambio climático

El proyecto de procesamiento de biogás para la producción de biometano comprimido y $BioCO_2$ líquido en el relleno sanitario de Ezequiel Montes, durante las etapas del proyecto se generan interacciones ambientales relacionadas con el cambio climático. Entre las principales contribuciones potenciales se identifican las siguientes:

1. **Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI):** En ausencia de control, el relleno sanitario constituye una fuente importante de emisiones de metano (CH_4) derivado de la descomposición anaerobia de los residuos sólidos urbanos. Sin embargo, con la implementación del proyecto, este gas será captado, conducido y procesado para su aprovechamiento como biometano, lo que reduce su liberación directa a la atmósfera. Adicionalmente, pueden presentarse emisiones indirectas asociadas al consumo de energía y operación de equipos; no obstante, estas son menores en comparación con las emisiones evitadas mediante la captura del biogás.
2. **Modificación del balance térmico local:** La instalación de infraestructura asociada al proyecto, como equipos de procesamiento, áreas operativas y superficies acondicionadas, puede generar variaciones puntuales en la absorción y liberación de calor, propiciando cambios menores en la temperatura superficial y en el microclima inmediato. No obstante, estos efectos son localizados y de baja magnitud, debido a que el proyecto se desarrolla dentro de un sitio previamente intervenido.

Versión Publica

Factores ambientales modificados por el cambio climático que afectan al proyecto

Incremento de la temperatura: El área del proyecto presenta un clima promedio de 17.5°C, donde se ha observado una tendencia al incremento de la temperatura asociada al cambio climático. Este fenómeno puede influir de manera indirecta en la operación del proyecto, particularmente en el desempeño de los equipos y en la dinámica de generación de biogás dentro del relleno sanitario. Asimismo, el aumento de la temperatura puede favorecer procesos de evaporación; sin embargo, dado que el proyecto no depende de manera intensiva del recurso hídrico, estos efectos no representan una limitante relevante para su funcionamiento.

Cambio en los patrones de precipitación: El área de estudio presenta variabilidad en los patrones de precipitación, la cual puede intensificarse como consecuencia del cambio climático, generando eventos de lluvia más concentrados en periodos cortos, alternados con lapsos de baja precipitación. Estas condiciones pueden influir en la escorrentía superficial dentro del relleno sanitario; no obstante,

el proyecto se desarrollará en un sitio previamente acondicionado, por lo que no se prevén afectaciones significativas, siempre que se mantenga el manejo adecuado de las condiciones operativas del sitio.

Mayor frecuencia de sequías: En el contexto regional, el incremento en la frecuencia e intensidad de periodos secos constituye un efecto asociado al cambio climático que puede incidir en la disponibilidad de recursos hídricos. Sin embargo, debido a que el proyecto no requiere un consumo significativo de agua ni depende directamente de fuentes hídricas locales para su operación, este factor no representa una restricción relevante para su desarrollo.

Incremento en el riesgo de inundaciones: El aumento en la intensidad de eventos de precipitación puede propiciar condiciones de escurrimiento superficial más intensas de manera puntual. No obstante, considerando que el proyecto se ubica dentro de un relleno sanitario previamente acondicionado y con condiciones de operación establecidas, no se prevén afectaciones significativas por inundaciones, siempre que se mantenga el adecuado manejo del sitio. En este sentido, los posibles efectos se consideran localizados y de baja magnitud.

Estimación de los cambios ambientales en intervalos de 5 años y sus afectaciones

Con base en los escenarios de cambio climático proyectados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) para regiones semiáridas, como la zona donde se ubica el proyecto, se anticipan cambios graduales en las condiciones climáticas que pueden incidir tanto en el entorno ambiental como en la operación del sistema de aprovechamiento de biogás en el relleno sanitario de Ezequiel Montes. A continuación, se describen las tendencias esperadas en distintos horizontes temporales y su posible interacción con el proyecto.

Periodo 0–5 años: En el corto plazo, se prevé un aumento ligero en la temperatura media, acompañado de una mayor frecuencia de días con temperaturas elevadas, especialmente durante la temporada de calor. De igual manera, los patrones de precipitación podrían volverse más irregulares, con eventos de lluvia intensa en periodos breves, alternados con lapsos secos. Estas condiciones pueden implicar ajustes menores en la operación del proyecto, particularmente en la gestión de equipos durante periodos de altas temperaturas y en el control de escurrimientos superficiales dentro del sitio, sin representar riesgos significativos para su funcionamiento.

Periodo 5–10 años: En este intervalo, se espera una mayor intensidad en las olas de calor y una recurrencia más marcada de periodos secos. La precipitación podría presentar una mayor variabilidad, con alternancia entre sequías prolongadas y lluvias intensas. Estas condiciones pueden incrementar la exposición del proyecto a eventos climáticos más extremos, lo que requerirá un manejo adecuado de las condiciones operativas, especialmente en lo relacionado con el control térmico de los equipos y la gestión de escurrimientos dentro del relleno sanitario.

Periodo 10–15 años: Para este periodo, se proyecta un incremento más evidente en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, tanto de altas temperaturas como de precipitaciones intensas. Asimismo, se prevé una mayor recurrencia de sequías. Bajo estas condiciones, el proyecto operaría en un entorno climático más variable, lo que implicará reforzar las medidas de mantenimiento, supervisión operativa y control ambiental, particularmente durante temporadas críticas.

Periodo 15–20 años: En el largo plazo, se espera la consolidación de un escenario climático caracterizado por temperaturas más elevadas de forma sostenida, alta variabilidad en la precipitación

Versión Publica

y una mayor frecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos. Estas condiciones podrían incrementar la exposición del proyecto a fenómenos como lluvias intensas o periodos prolongados de calor; sin embargo, dado que el proyecto se desarrolla en un sitio previamente acondicionado, su operación puede mantenerse bajo condiciones controladas mediante la aplicación continua de medidas de gestión ambiental, prevención de riesgos y mantenimiento adecuado.

Acciones de atenuación y adaptación

Con el objetivo de reducir las afectaciones del cambio climático en el proyecto y garantizar su operatividad a largo plazo, se proponen diversas estrategias de atenuación y adaptación:

- **Optimización del consumo de agua:** El proyecto no requiere un consumo intensivo de agua para su operación; sin embargo, se contempla un uso eficiente de este recurso, evitando desperdicios y promoviendo prácticas de control en su manejo. Esta condición resulta compatible con el contexto regional, donde existe un déficit hídrico, por lo que no se generan presiones adicionales sobre el recurso.
- **Monitoreo de emisiones de GEI:** Se considera el seguimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente del metano generado en el relleno sanitario. La implementación del sistema de captación, conducción y aprovechamiento del biogás permite reducir de manera significativa su liberación directa a la atmósfera, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.
- **Monitoreo ambiental:** Se prevé la supervisión continua de las condiciones ambientales del sitio, con el objetivo de identificar posibles variaciones que puedan influir en la operación del proyecto. Este seguimiento permitirá detectar oportunamente cambios en las condiciones climáticas y ambientales, facilitando la toma de decisiones para mantener la estabilidad operativa.
- **Revegetación y restauración del ecosistema:** No se contemplan acciones de revegetación o restauración a gran escala, debido a que el sitio corresponde a un área previamente impactada y desprovista de vegetación natural.
- **Infraestructura resiliente:** El proyecto considera el mantenimiento y adecuación de sus instalaciones para operar bajo condiciones variables, incluyendo el control de escurrimientos superficiales y la prevención de riesgos asociados a eventos climáticos extremos. Estas acciones permiten garantizar la seguridad y continuidad operativa en el sitio.

Versión Pública

4.4 Capacidad de carga del SA

La capacidad de carga del Sistema Ambiental del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)" ha sido evaluada considerando la interacción entre la obra desarrollada y las condiciones actuales del entorno. Se tomó como base la caracterización retrospectiva del sistema antes del inicio del proyecto, así como los cambios observados desde su operación.

El análisis se ha basado en la aplicación de un enfoque sistémico apoyado en indicadores ambientales clave (agua, suelo, vegetación y clima), junto con la revisión de fuentes oficiales como el Atlas Nacional de Riesgos y la carta topográfica, La metodología aplicada considera el modelo de balance

de presiones y respuestas (PSR), que evalúa las presiones del proyecto sobre los recursos, el estado actual de los componentes ambientales, y las respuestas de gestión implementadas.

Agua

El proyecto no requiere un consumo significativo de agua para su operación, ya que sus procesos principales se enfocan en la captación, conducción y aprovechamiento de biogás, por lo que el uso de este recurso se limita a actividades puntuales de mantenimiento. En este sentido, no se contempla la extracción directa de fuentes superficiales o subterráneas locales, lo que reduce la presión sobre los recursos hídricos de la región. Asimismo, aunque el área presenta condiciones climáticas variables, el riesgo por sequía se considera bajo, por lo que no se prevén restricciones relevantes para la operación del proyecto. Bajo este contexto, el uso eficiente del agua y el manejo adecuado de posibles descargas permiten mantener una interacción controlada con el entorno, sin generar impactos acumulativos ni rebasar la capacidad del sistema ambiental en términos de disponibilidad hídrica.

Suelo

En el área de estudio se identifican procesos de degradación del suelo asociados principalmente a erosión hídrica, favorecidos por la limitada cobertura vegetal. No obstante, el proyecto no constituye una fuente directa de este tipo de degradación, ya que se desarrollará dentro de un sitio previamente impactado y acondicionado como relleno sanitario. Si bien la presencia de superficies compactadas y áreas operativas puede influir de manera indirecta en la dinámica del suelo, estas condiciones ya existen en el sitio. En términos generales, la capacidad del suelo no se considera rebasada bajo las condiciones actuales; sin embargo, puede presentar cierta susceptibilidad ante eventos de precipitación intensa, por lo que resulta importante mantener medidas de control de escurrimientos y manejo adecuado del sitio para evitar procesos erosivos adicionales.

Vegetación y cobertura

El sistema ambiental donde se ubica el proyecto, correspondiente al relleno sanitario de Ezequiel Montes, presenta una cobertura vegetal prácticamente inexistente en el área específica del proyecto, debido a la intervención previa del sitio. La vegetación natural ha sido removida con anterioridad, por lo que actualmente no se identifican comunidades vegetales funcionales dentro del área de influencia directa. En este contexto, la implementación del proyecto no implica la remoción adicional de vegetación ni la fragmentación de hábitats. No obstante, la condición actual del sitio, caracterizada por la ausencia de cobertura vegetal, limita funciones ecológicas como la infiltración, la regulación térmica y la captura de carbono. Desde la perspectiva de capacidad de carga, este componente se mantiene estable bajo las condiciones actuales de uso, sin evidenciar un rebasamiento de sus límites; sin embargo, presenta una sensibilidad inherente a factores externos como la variabilidad climática, por lo que es necesario mantener medidas de manejo ambiental, como el mantenimiento de áreas verdes dentro del predio, para conservar condiciones ambientales adecuadas.

Clima y atmósfera

Las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al sitio se relacionan principalmente con la generación de biogás derivada de la descomposición de los residuos sólidos urbanos; no obstante, con la implementación del proyecto, este gas será captado y aprovechado, reduciendo de manera significativa su liberación directa a la atmósfera y, por ende, su contribución a la presión atmosférica regional. Aunado a lo anterior, las condiciones de cambio climático en la zona se caracterizan por una mayor variabilidad térmica y modificaciones en los patrones de precipitación, lo que puede

Versión Publica

representar un factor adicional de presión sobre el sistema ambiental, particularmente en aquellos componentes con menor capacidad de recuperación.

Con base en el análisis realizado, se determina que el sistema ambiental donde se ubica el proyecto mantiene una capacidad de carga funcional, considerando que se trata de un sitio previamente impactado y con condiciones ambientales ya modificadas. Si bien existen presiones asociadas principalmente a la disponibilidad hídrica y a la limitada cobertura vegetal, no se identifican condiciones que indiquen un rebasamiento de los umbrales críticos del sistema. En este sentido, la operación del proyecto, bajo las condiciones planteadas, no representa un factor adicional que comprometa la estabilidad del entorno.

Finalmente, se concluye que, mediante la aplicación continua de medidas de prevención, mitigación y manejo ambiental, el proyecto puede desarrollarse dentro de los límites de capacidad del sistema ambiental, sin generar alteraciones significativas en su funcionalidad. Asimismo, el aprovechamiento del biogás representa un beneficio ambiental al contribuir a la reducción de emisiones, favoreciendo un balance ambiental positivo en el sitio.

4.5 Diagnóstico ambiental

El análisis ambiental realizado integra información cuantitativa y cualitativa obtenida de la caracterización retrospectiva y actual del SA, considerando variables físicas, biológicas y socioeconómicas. El diagnóstico se fundamenta en la aplicación de metodologías como el modelo de Presiones-Estado-Respuesta (PSR) y en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la superposición de planos que evidencian zonas críticas en términos de vulnerabilidad, que se visualiza en la siguiente figura

Versión Pública

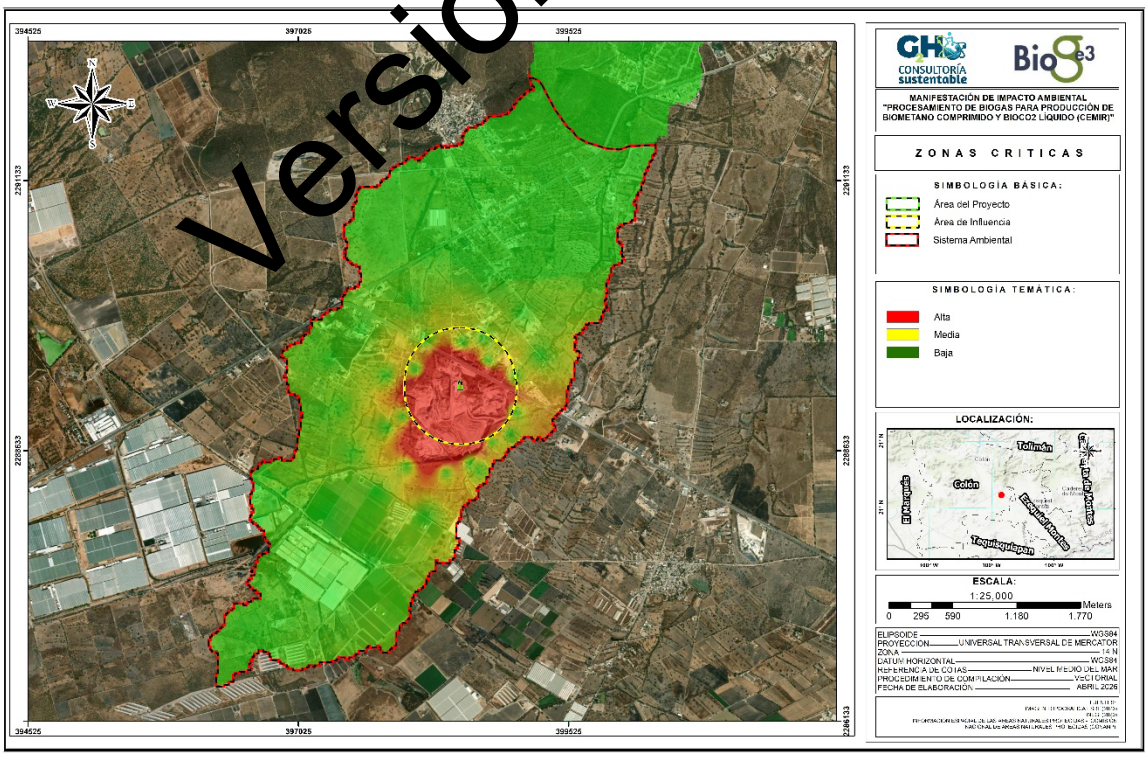


Figura 4.49 Zonas críticas

Factores climatológicos y meteorológicos

El sistema ambiental del proyecto se ubica en una región con clima característico del semidesierto queretano, el cual se distingue por condiciones secas a semiáridas, con temperaturas templadas a cálidas y marcada variabilidad estacional. Los veranos tienden a ser cálidos con presencia de lluvias concentradas, mientras que los inviernos son frescos y relativamente secos.

Asimismo, se presentan eventos meteorológicos como tormentas convectivas durante la temporada de lluvias, vientos moderados y alta radiación solar, lo cual es consistente con zonas de transición entre climas templados y secos del centro del país.

En este contexto, las condiciones climatológicas no representan una limitante para el desarrollo del proyecto; sin embargo, la estacionalidad de las lluvias y la intensidad de radiación solar deben considerarse en el manejo de escurrimientos, estabilidad del suelo y operación de la infraestructura.

Zonas vulnerables y estado de conservación

El sistema ambiental presenta un gradiente claro de alteración, donde la zona central —coincidente con el área del proyecto— corresponde a un espacio previamente intervenido por actividades de disposición de residuos, lo que implica alta modificación del suelo, pérdida de cobertura vegetal y alteración de procesos naturales.

A partir del análisis del mapa de zonas críticas, se identifica que la mayor vulnerabilidad se concentra en este núcleo, mientras que hacia el área de influencia existe una transición hacia condiciones intermedias y, finalmente, hacia zonas de menor alteración en el resto del sistema ambiental.

En términos generales, el estado de conservación del área no corresponde a un ecosistema natural, sino a un sistema ya perturbado, con funcionalidad ecológica limitada y dominado por procesos antrópicos previos al desarrollo del proyecto.

Biodiversidad y especies indicadoras

La biodiversidad presente en el sistema ambiental es representativa de ambientes semiáridos y perturbados, donde predominan comunidades vegetales secundarias y especies adaptadas a condiciones de estrés hídrico. En este tipo de ecosistemas es común la presencia de matorral xerófilo, pastizales inducidos y vegetación secundaria, con baja complejidad estructural.

En cuanto a la fauna, predominan especies generalistas, oportunistas y tolerantes a la presencia humana, las cuales suelen ocupar ambientes alterados y con baja cobertura vegetal. Este tipo de especies funciona como indicador de condiciones de perturbación, ya que refleja la reducción de hábitats especializados y la simplificación del ecosistema.

Capacidad de carga y respuestas ambientales

La capacidad de carga del sistema ambiental se encuentra condicionada por el grado de alteración existente, ya que el proyecto se desarrolla dentro de un sitio previamente utilizado para el manejo de residuos. Esto implica que el sistema ya ha sido sometido a presiones significativas, reduciendo su sensibilidad frente a nuevas intervenciones de características similares.

En este contexto, el sistema presenta una capacidad de asimilación moderada, siempre que las actividades del proyecto se mantengan dentro de los límites operativos previstos y se implementen medidas de manejo adecuadas. Las principales respuestas ambientales esperadas están relacionadas

Versión Publica

con la estabilidad del suelo, el control de emisiones y el manejo de escurrimientos, los cuales pueden ser gestionados mediante prácticas operativas y de mitigación.

Por lo tanto, el proyecto no implica una sobrecarga adicional significativa al sistema, sino la incorporación de una actividad compatible con su condición actual.

Contribución del proyecto al cambio climático y escenarios de riesgo

El proyecto tiene una contribución relevante en materia de cambio climático, al enfocarse en la captura y aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario, evitando la liberación directa de metano a la atmósfera, gas que posee un alto potencial de calentamiento global.

Desde esta perspectiva, el proyecto contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y al aprovechamiento energético de residuos, alineándose con estrategias de mitigación del cambio climático.

En cuanto a escenarios de riesgo, el cambio climático podría manifestarse en la región mediante mayor variabilidad en la precipitación, incremento de temperaturas y eventos meteorológicos más intensos, lo que podría influir en la operación del sitio, particularmente en el manejo de escurrimientos y condiciones térmicas de los equipos. No obstante, debido a la naturaleza del proyecto y su localización en un sitio previamente intervenido, estos riesgos se consideran manejables mediante medidas de diseño, operación y mantenimiento.

4.6 Conclusiones

El análisis integral del sistema ambiental permite concluir que el proyecto se inserta en un entorno previamente intervenido y con un grado de transformación significativo, derivado de su uso actual como sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos. Esta condición define de manera determinante la línea base ambiental, caracterizada por una funcionalidad ecológica reducida, presencia de vegetación secundaria y dominancia de procesos antrópicos sobre los naturales.

Desde el punto de vista físico, el sistema ambiental presenta condiciones típicas del semidesierto queretano, con clima seco o semiseco, variabilidad estacional en la precipitación y suelos susceptibles a erosión, sin que estos factores representen restricciones críticas para el desarrollo del proyecto, siempre que se implementen medidas adecuadas de manejo. En materia de hidrología, no se identifican elementos que sugieran alta vulnerabilidad directa, aunque el control de escurrimientos y la estabilidad del suelo constituyen aspectos relevantes para la operación.

En términos biológicos, la biodiversidad registrada corresponde a un sistema simplificado y con bajo nivel de conservación, en el que predominan comunidades vegetales secundarias y especies de fauna generalistas, indicadoras de perturbación. No se identifican hábitats críticos ni presencia significativa de especies en alguna categoría de protección dentro del área del proyecto, lo que refuerza la condición de un entorno ambientalmente modificado.

El análisis de zonas críticas confirma que el área del proyecto coincide con el sector de mayor nivel de alteración dentro del sistema ambiental, mientras que las zonas con mejor estado relativo se ubican en la periferia. Esto evidencia que el proyecto no implica la intervención de áreas conservadas, sino que se desarrolla sobre un núcleo previamente impactado.

En relación con la capacidad de carga, el sistema ambiental presenta una capacidad de asimilación moderada, determinada por su estado actual. Bajo este contexto, las actividades del proyecto no

Versión Pública

representan una presión adicional significativa, siempre que se mantengan dentro de los parámetros operativos y se implementen medidas de prevención, mitigación y control.

Finalmente, desde la perspectiva de cambio climático, el proyecto presenta una contribución ambiental positiva, al permitir la captura y aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario, reduciendo la emisión de metano a la atmósfera. Este beneficio ambiental, sumado a la localización del proyecto en un sitio previamente alterado, refuerza su viabilidad ambiental dentro del sistema analizado.

El Sistema Ambiental evaluado presenta condiciones que permiten la implementación del proyecto sin comprometer de manera significativa sus componentes, siempre que se garantice el cumplimiento de las medidas ambientales propuestas y el adecuado manejo operativo del sitio.

Versión Publica

5 Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales

El presente capítulo tiene como objetivo evaluar los impactos ambientales asociados al proyecto, basándose en la comparación entre las condiciones ambientales actuales y las condiciones una vez implementado el proyecto. Se identifican, evalúan y describen los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos significativos que puedan presentarse debido a las actividades directas e indirectas del proyecto, en sus diferentes etapas de desarrollo.

La evaluación del impacto ambiental de un proyecto es un estudio dirigido a identificar, predecir e interpretar los probables impactos que éste tenga sobre el medio en sus diferentes posibilidades de localización, tamaño y tecnología, así como a determinar las medidas de mitigación seguimiento y control requeridas para su ejecución. El desarrollo económico no debe traer como consecuencia la degradación del ambiente, se deberán predecir y evaluar los impactos adversos y benéficos en cada proyecto sobre el entorno y sus elementos y esto se logra por medio de la evaluación del impacto ambiental.

Un impacto ambiental es, por tanto, la alteración de la calidad del medioambiente producida por una actividad humana. Sin embargo, hay que considerar que no todas las alteraciones o variaciones medibles de un factor ambiental pueden ser consideradas como un impacto ambiental. Se debe considerar que no todos los impactos ambientales son de consideración.

5.1 Identificación de impactos ambientales

La identificación de impactos ambientales es un proceso fundamental en la evaluación de proyectos, ya que permite valorar cómo este se integra su entorno y determina las posibles alteraciones que genera en el ambiente. En términos conceptuales, el impacto ambiental se define como una desviación entre las condiciones ambientales existentes y las condiciones que se prevén una vez implementado el proyecto. Esta desviación puede ser positiva, si el proyecto contribuye a la mejora del ambiente, o negativa, si genera afectaciones significativas.

El proceso de identificación de impactos consta de tres pasos clave:

1. **Caracterización del ambiente (línea base)**: La caracterización del ambiente consiste en describir las condiciones actuales del medio físico, biológico y social en el Sistema Ambiental (SA). Esto constituye la línea base, que sirve como punto de referencia para evaluar los cambios que el proyecto ha de generar. En el caso del proyecto de **Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ líquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)**, la línea base incluye:
    - ✓ **Medio físico**: Calidad del aire, disponibilidad y calidad del agua, características del suelo, y condiciones climáticas.
    - ✓ **Medio biológico**: Diversidad de flora y fauna, presencia de especies endémicas o en peligro de extinción, y estado de los ecosistemas.
    - ✓ **Medio social:** Características socioeconómicas de las comunidades locales, uso del suelo, infraestructura existente, y percepción del paisaje.

Versión Publica

2. **Evaluación de la integración del proyecto**: En esta etapa, se analiza cómo las actividades del proyecto interactúan con el ambiente durante sus diferentes fases: Preparación del sitio y construcción, operación y mantenimiento y cierre y abandono. Para el proyecto de **Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)**, se consideran actividades como:
   - ✓ **Preparación del sitio y construcción**: Excavación, instalación, y construcción de infraestructura asociada.
   - ✓ **Operación y mantenimiento**: Inspección y vigilancia de las instalaciones, mantenimiento preventivo y correctivo de equipos, y detección y control de fugas.
   - ✓ **Cierre y abandono**: Desmantelamiento de infraestructura y restauración del área.
3. **Determinación de las desviaciones:** Este paso consiste en cuantificar y cualificar los cambios que el proyecto ha generado en el ambiente, comparando las condiciones previas (línea base) con las posteriores a su implementación. Las desviaciones se evalúan en términos de:
   - ✓ **Magnitud**: Grado de afectación.
   - ✓ **Importancia**: Área geográfica afectada.

El análisis de impacto ambiental del proyecto de distribución de gas natural considera los distintos factores del entorno que podrían verse afectados, los cuales se agrupan en dos grandes subsistemas: físico-natural y socioeconómico. A continuación, se abordará cada uno de ellos.

5.1.1 Metodología para identificar y evaluar los Impactos Ambientales

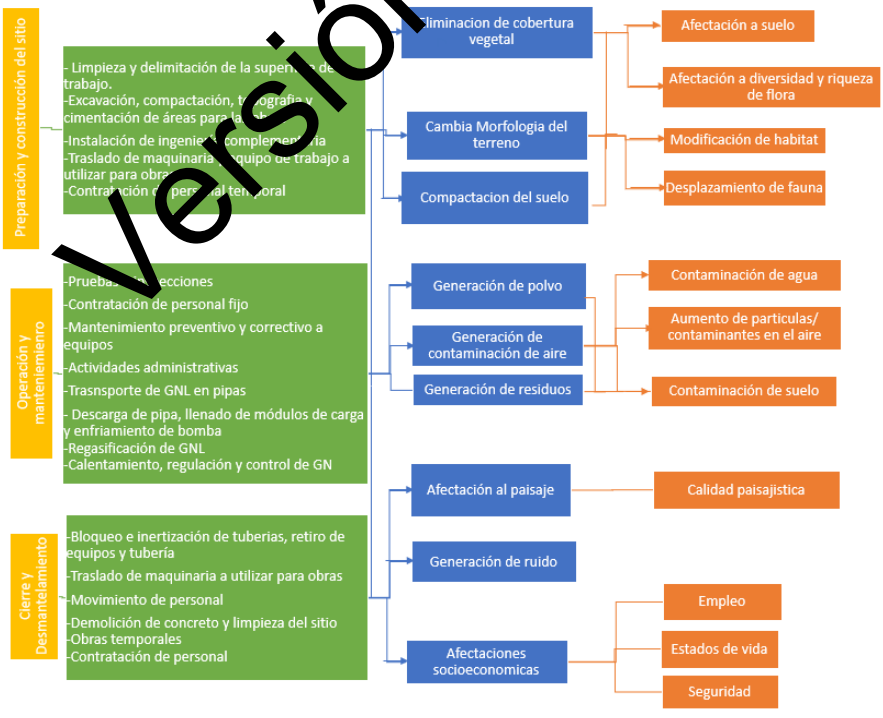


Figura 5.1 Esquema general de impactos ambientales en los subsistemas

Versión Publica

La metodología empleada para la identificación y evaluación de los impactos ambientales ocasionados por el desarrollo del presente Proyecto **"Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)"**, es la Metodología de Leopold.

La llamada matriz de Leopold fue el primer método que se estableció para las evaluaciones de impacto ambiental. Realmente es un sistema de información y se preparó para el Servicio Geológico del Ministerio del Interior de los Estados Unidos, como elemento de guía de los informes y de las evaluaciones de impacto ambiental.

La base del sistema es una matriz en que las entradas según columnas son acciones del hombre que pueden alterar el medio ambiente y las entradas según filas son características del medio (factores ambientales) que pueden ser alteradas. Con estas entradas en filas y columnas se pueden definir las interacciones existentes.

Un primer paso para la utilización de la matriz de Leopold consiste en la identificación de las interacciones existentes, para lo cual se considerarán primero todas las acciones (columnas) que pueden tener lugar dentro del proyecto en cuestión. Posteriormente y para cada acción, se consideran todos los factores ambientales (filas) que pueden quedar afectados significativamente, trazando una diagonal en la cuadrícula correspondiente a la columna (acción) y fila (factor) considerados. Una vez hecho esto para todas las acciones, tendremos marcadas las cuadrículas que representen interacciones (o efectos) a tener en cuenta.

Después de haberse marcado todas las cuadrículas que representan impactos posibles se procede a una evaluación individual de los más importantes. Cada cuadrícula admite dos valores:

- ✓ **Magnitud:** según un número de 1 a 10, en el que el 10 corresponde a la alteración máxima provocada en el factor ambiental considerado y 1 a la mínima.
- ✓ **Importancia (ponderación):** que da el peso relativo que el factor ambiental considerado tiene dentro del proyecto, o la posibilidad de que se presenten alteraciones.

Los valores de magnitud van precedidos con un signo (+) o con un signo (-), según se trate de efectos positivos o negativos sobre el medio ambiente.

Una vez llenas las cuadrículas, el próximo paso consiste en evaluar o interpretar los números en ellas colocados. En la siguiente figura se presenta una representación de lo anteriormente descrito.

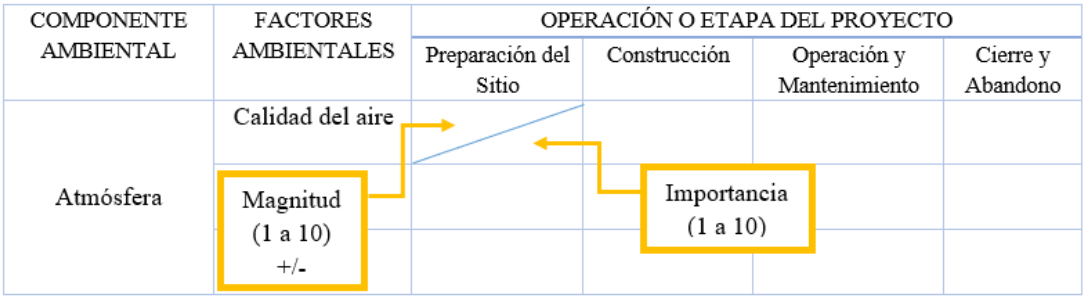


Figura 5.2 Esquema general de la Matriz de Leopold

5.2 Caracterización de los Impactos Ambientales

Versión Pública

La caracterización de los impactos ambientales es un proceso sistemático que permite identificar, describir y evaluar los efectos que las obras y actividades del proyecto pueden generar sobre el ambiente. Este proceso es fundamental para determinar cuáles impactos son significativos o relevantes, considerando su magnitud e importancia. En el caso del proyecto procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ líquido, la caracterización de impactos se realiza en las cuatro etapas principales del proyecto: preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento, y cierre, desmantelamiento y abandono.

La caracterización de impactos se basa en los siguientes pasos:

1. **Identificación de obras y actividades significativas:**
   - ✓ Se identifican las obras y actividades que, por su naturaleza, escala o ubicación, tienen el potencial de generar impactos significativos.
   - ✓ Estas actividades se clasifican según la etapa del proyecto en la que ocurren: preparación del sitio, construcción, u operación y mantenimiento.
2. **Uso de listados de verificación:**
   - ✓ Se emplean listados de verificación para identificar las interacciones entre las obras/actividades del proyecto y los factores ambientales (abióticos, bióticos y socioeconómicos).
   - ✓ Estos listados se basan en la información presentada en el Capítulo II de la MIA-P y en el análisis del entorno del Capítulo IV.
3. **Indicadores de impacto:**
   - ✓ Cada factor ambiental identificado en los listados de verificación se asocia con un indicador de impacto, que describe su situación actual (línea base) y cómo podría cambiar debido al proyecto.
   - ✓ Los indicadores permiten cuantificar y cualificar los impactos, facilitando su evaluación y comparación.

Conforme a los pasos descritos, lo primero es puntualizar las actividades del proyecto. Como se mencionó anteriormente, el proyecto de **Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)** se desarrolla en tres etapas principales, cada una con actividades específicas que pueden generar impactos ambientales.

Estas actividades se presentan en la siguiente tabla, junto con sus posibles implicaciones que corresponden al segundo paso.

Versión Publica

Tabla 5.1 Descripción de obras y/o actividades por etapa y sus posibles impactos

Etapa	Actividades	Impactos potenciales
Preparación del sitio	Delimitación física del área del proyecto	No se identifican impactos ambientales relevantes, al tratarse de una actividad de carácter administrativo y de señalización dentro de un sitio previamente intervenido.
	Limpieza y despalme del terreno (retiro de material superficial y residuos)	Generación de residuos sólidos (principalmente urbanos e inertes); emisión de partículas (polvo); posible dispersión de residuos ligeros; alteración superficial del suelo previamente impactado.
	Trazo y nivelación del terreno conforme a los planos de diseño	Modificación de la microtopografía; emisión de partículas por movimiento de suelo; incremento temporal de ruido y vibraciones por operación de maquinaria.
	Excavaciones, rellenos y compactaciones para conformación de plataformas	Alteración física del suelo; generación de material sobrante; emisiones de polvo; posible arrastre de sedimentos por escurrimientos.
	Preparación de bases y cimentaciones para la instalación de infraestructura	Impermeabilización parcial del suelo; generación de residuos de construcción; emisiones de ruido y polvo.
	Habilitación de accesos internos y áreas de maniobra	Incremento de superficies compactadas; alteración local de escurrimientos; emisiones de polvo y ruido por tránsito de maquinaria.
	Instalación de sistemas de drenaje y manejo de escurrimientos.	No se prevén impactos adversos significativos; la actividad tiene un efecto positivo al mejorar el control de escurrimientos y prevenir erosión y arrastre de sedimentos.
	Ejecución de obras auxiliares necesarias para el desarrollo del proyecto	Generación de residuos de construcción; emisiones atmosféricas (polvo y gases de combustión); incremento de ruido; consumo de materiales.
Construcción	Montaje de la planta de limpieza y separación del biogás	Emisión de ruido por maniobras de montaje; generación de residuos de embalaje (plásticos, madera, cartón); riesgo de derrames menores de aceites o lubricantes durante instalación.
	Instalación del sistema de compresión de Biometano	Emisiones de ruido y vibraciones; posibles fugas menores de gas durante pruebas; generación de residuos de instalación (metales, empaques).
	Instalación de la planta de licuefacción de $BioCO_2$	Emisiones de ruido por instalación de equipos; generación de residuos de construcción y embalaje; riesgo bajo de fugas de CO_2 en pruebas iniciales.
	Instalación de equipos auxiliares	Generación de residuos sólidos (embalajes, sobrantes de materiales); emisiones de ruido; consumo de insumos para instalación.
	Instalación de instrumentación, control y supervisión	No se identifican impactos ambientales significativos, al tratarse principalmente de actividades de baja intervención física y carácter técnico.

Versión Pública

Etapa	Actividades	Impactos potenciales
	Realización de ensayos y pruebas	Emisión de ruido; posibles emisiones controladas de biogás o CO_2 durante pruebas; consumo de energía; generación mínima de residuos.
	Limpieza de tuberías	Generación de residuos líquidos o lodos con posibles trazas de compuestos del biogás; manejo inadecuado podría generar contaminación puntual.
	Ejecución de pruebas hidrostáticas / Neumáticas	Consumo de agua (en pruebas hidrostáticas); generación de agua residual; riesgo mínimo de fugas o liberaciones de presión; emisiones de ruido.
	Actividades previas al inicio de operaciones	Generación de residuos menores; consumo de energía; emisiones de [illegible] por ajustes finales; posibles liberaciones controladas de gas durante calibraciones.
Operación y mantenimiento	Operación del sistema de Limpieza y Separación del Biogás	Reducción de emisiones de metano al ambiente (impacto positivo); posibles emisiones fugitivas de biogás (CH_4); generación de residuos (condensados, filtros); consumo de energía.
	Operación Sistema de compresión	Emisión de ruido y vibraciones; consumo de energía; riesgo de fugas de gas; generación de calor residual.
	Operación del sistema de Licuefacción de CO_2	Captura y aprovechamiento de CO_2 (impacto positivo); consumo elevado de energía; posibles fugas controladas de CO_2; generación de frío residual.
	Monitoreo continuo del proceso	No se identifican impactos ambientales significativos, al tratarse de actividades de supervisión.
	Control y Registro operativo mediante PLC y SCADA	No se identifican impactos ambientales, al ser procesos automatizados de control.
	Ejecución de programas de Mtto. Preventivo, Predictivo y Correctivo	Generación de residuos peligrosos (aceites usados, filtros, trapos contaminados); riesgo de derrames; emisiones menores durante actividades de mantenimiento.
	Mantenimiento de Equipos mecánicos, eléctricos, criogénicos, instrumentación y sistemas de seguridad	Generación de residuos peligrosos y de manejo especial; consumo de insumos; posibles emisiones fugitivas durante intervención de equipos.
	Calibración de sensores	No se identifican impactos ambientales significativos; generación mínima de residuos.
	Control y Gestión de refacciones	Generación de residuos sólidos (empaques, piezas); almacenamiento de materiales; sin impactos significativos directos.
	Integración de bitácoras operativas	No se identifican impactos ambientales, actividad administrativa.
	Atención a emergencias	Impactos potenciales asociados a escenarios de riesgo (fugas de gas, incendios o explosiones); liberación de contaminantes; afectación a aire y

Versión Pública

Etapa	Actividades	Impactos potenciales
		seguridad; eventos de baja probabilidad, pero alta consecuencia.
Cierre, desmantelamiento y abandono	Retiro de equipos, tuberías, accesorios e instalaciones eléctricas	Generación de residuos de manejo especial (metales, cableado, componentes); emisiones de ruido; riesgo de derrames menores de aceites o sustancias residuales.
	Desmantelamiento de sistemas de control e infraestructura asociada	Generación de residuos sólidos y electrónicos; emisiones de ruido; consumo de energía durante maniobras; riesgo bajo de liberación de sustancias residuales.
	Limpieza general del sitio	Generación de residuos sólidos; levantamiento de polvo; posible dispersión de partículas; impacto positivo al retirar materiales remanentes.
	Manejo y disposición de materiales y residuos generados	Generación de residuos peligrosos y de manejo especial; riesgo de contaminación de suelo en caso de manejo inadecuado; impacto positivo si se realiza correctamente segregación y disposición.
	Desconexión de servicios	No se identifican impactos ambientales significativos; actividad técnica de baja intervención
	Aseguramiento de las áreas intervenidas	No se identifican impactos negativos; contribuye a la seguridad del sitio y prevención de riesgos.
	Rehabilitación de superficies afectadas	Impacto positivo por recuperación del sitio; estabilización del suelo; posible mejora en condiciones físicas del área.

Versión Pública

Una vez identificados los elementos anteriores, se realiza la selección de los indicadores de impacto. Para ello, se considera que los componentes ambientales se agrupan en tres categorías principales: abióticos, bióticos y socioeconómicos, de los cuales derivan los factores ambientales afectados. La identificación de estos componentes se ha realizado con base en la metodología de evaluación de impacto ambiental, tomando en cuenta las interacciones entre las actividades del proyecto y los factores ambientales susceptibles de alteración.

Cada componente ambiental se asocia con factores específicos que pueden experimentar modificaciones a lo largo de las diferentes etapas del proyecto. Esto se representa en la tabla 5.2 que se presenta a continuación:

Tabla 5.2 Descripción de los factores ambientales que serán afectados por el proyecto

Componente ambiental	Factor ambiental	Descripción
Atmósfera	Calidad del aire (generación de partículas)	Se refiere a la emisión de partículas suspendidas en el aire debido a actividades como excavaciones, tránsito de maquinaria y movimiento de materiales, lo que puede afectar la salud humana y la calidad del aire local.
	Calidad de aire (emisiones)	Considera la liberación de contaminantes atmosféricos (gases de combustión, compuestos volátiles, entre otros)

Componente ambiental	Factor ambiental	Descripción
		generados por la operación de maquinaria y vehículos utilizados en el proyecto.
	Ruido	Evalúa la generación de niveles sonoros derivados de actividades del proyecto, los cuales pueden afectar a la avifauna y las condiciones de trabajo del personal.
Suelo	Compactación	Se refiere al incremento de la densidad del suelo debido al tránsito de maquinaria pesada, lo que puede reducir su capacidad de infiltración y afectar el crecimiento de la vegetación.
	Morfología del terreno	Analiza los cambios en la configuración del relieve debido a cortes, rellenos y movimientos de tierra.
	Composición del suelo	Considera alteraciones en la estructura y características fisicoquímicas del suelo debido a actividades del proyecto.
	Generación de residuos	Considera las afectaciones causadas por los residuos sólidos generados, así como por su manejo y disposición final, tomando en cuenta si estos ingresan en un circuito de economía circular o no.
Fauna	Modificación de hábitat (espacio para especies invasoras)	Evalúa la pérdida o fragmentación de ecosistemas que puede favorecer la proliferación de especies exóticas o invasoras.
	Perturbación de ciclo de vida.	Analiza los impactos en la reproducción, alimentación y movilidad de la fauna local debido a la presencia y operación del proyecto.
	Importancia biológica y socioeconómica	Considera la relevancia de las especies presentes en la zona, tanto desde un punto de vista ecológico como en su relación con las actividades humanas.
Flora	Densidad.	Mide la cantidad de individuos de una especie en un área determinada y cómo esta puede verse afectada
	Cobertura	Evalúa la proporción de suelo cubierta por vegetación y cómo esta se modifica con el desarrollo del proyecto
	Diversidad, Riqueza, Abundancia	Analiza la variedad de especies presentes en la zona, la cantidad total de organismos y su distribución en el ecosistema.
Paisaje	Perturbación del paisaje natural	Considera los cambios en la estructura visual del entorno debido a la construcción de infraestructura.
	Visibilidad y calidad paisajística	Evalúa la percepción del paisaje por parte de la población y posibles afectaciones a su valor escénico
Socioeconómico	Fomento Económico.	Analiza los beneficios económicos derivados del proyecto, como la inversión en infraestructura y el desarrollo de proveedores locales.
	Empleo	Evalúa la generación de oportunidades laborales directas e indirectas en las distintas etapas del proyecto.
	Factores de riesgo (protección civil).	Considera los riesgos asociados a la operación del proyecto, incluyendo la seguridad de trabajadores y comunidades aledañas.

Versión Pública

Componente ambiental	Factor ambiental	Descripción
	Participación social	Examina los mecanismos de consulta y comunicación con la comunidad para garantizar su involucramiento en la toma de decisiones.
	Conflictos sociales	Identifica posibles tensiones derivadas de la percepción del proyecto por parte de la población, como disputas por el uso del territorio o preocupaciones ambientales.

5.3 Valorización de los impactos ambientales

Los criterios y métodos de evaluación del impacto ambiental pueden definirse como aquellos elementos que permiten valorar el impacto ambiental de un proyecto o actuación sobre el medio ambiente. En ese sentido estos criterios y métodos tienen una función similar a los de la valoración del inventario, puesto que los criterios permiten evaluar la importancia de los impactos producidos, mientras que los métodos de evaluación lo que tratan es de valorar conjuntamente el impacto global de la obra. A continuación, se incluyen unos cuantos que suelen estar entre los más utilizados en los estudios de impacto ambiental:

- ✓ **Dimensión:** se refiere al grado de afectación de un impacto concreto sobre un determinado factor. Esta magnitud se suele expresar cualitativamente, aunque puede intentar cuantificarse.
- ✓ **Signo:** muestra si el impacto es positivo (+), negativo (-) o neutro (o).
- ✓ **Desarrollo:** considera la superficie afectada por un determinado impacto.
- ✓ **Permanencia:** este criterio hace referencia a la escala temporal en que actúa un determinado impacto.
- ✓ **Certidumbre:** este criterio se refiere al grado de probabilidad de que se produzca el impacto bajo análisis.
- ✓ **Reversibilidad:** bajo este criterio se considera la posibilidad de que, una vez producido el impacto, el sistema afectado pueda volver a su estado inicial.
- ✓ **Sinergia:** el significado de la aplicación de este criterio considera la acción conjunta de dos o más impactos bajo la premisa de que el impacto total es superior a la suma de los impactos parciales.
- ✓ **Viabilidad de adoptar medidas de mitigación:** dentro de este criterio se resume la probabilidad de que un determinado impacto se pueda minimizar con la aplicación de medidas de mitigación.

Como se mencionó anteriormente, la identificación de impactos ambientales por medio de la utilización de una Matriz de Leopold permite una evaluación cualitativa del Proyecto, mediante la interpretación de cada interacción entre las actividades del proyecto y los factores del medio ambiente natural y social en los que se desarrolla, con el objetivo principal de implementar medidas de prevención y mitigación. Con la finalidad de caracterizar los impactos, se utilizó una escala de codificación del 1 al 10, la cual capta tanto la magnitud como la importancia. Indicando su sentido (benéfico o adverso) se empleará un signo positivo o negativo frente a los valores de la escala de magnitud. Lo anterior se ilustra en las tablas 5.3 y 5.4.

Versión Publica

Tabla5.3. Escala de Magnitud de los impactos.

ESCALA DE MAGNITUD		+	-
Puntual: dentro del área del proyecto	1-2		
Parcial: hasta 20m alrededor	3-4		
Intermedia: 20 a 50m (área influencia)	5-6		
Extensa: de 50 hasta 500m	7-8		
Total: más de 500m (todo el Municipio)	9-10		

ESCALA DE IMPORTANCIA		+	-
Muy Baja: No se afecta casi nada el factor	1-2		
Baja: hay una afectación leve del factor	3-4		
Moderada: hay afectación importante en las principales características del factor	5-6		
Alta: el factor cambia completamente sus principales características	7-8		
Total: todo el factor es severamente impactado	9-10		

Versión Publica

Tabla 5.4 Escala de importancia de los impactos

A continuación, se presenta las matrices de Leopold elaboradas para este proyecto. **Ver Anexo V. EIA para su apreciación con mayor detalle.**

Matriz de Leopold para la Evaluación de Impactos Ambientales

Fecha de emisión: 02/02/2022
Código / Versión: AA-BB-## / v.1.0

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL														
COMPONENTE AMBIENTAL		FACTOR AMBIENTAL	Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)". BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V.							TOTAL		
			PREPARACIÓN DEL SITIO									
			Limpieza y despalme del terreno (retiro de material superficial y malezas)	Trazo y nivelación del terreno conforme a los planos de diseño	Excavaciones, rellenos y compactaciones para conformación de plataformas	Preparación de bases y dimentaciones para la instalación de infraestructura	Habilitación de accesos [illegible]	[illegible] instalación de sistemas de drenaje y manejo de escurrimientos.	Ejecución de obras auxiliares necesarias para el desarrollo del proyecto	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos	Total Aritmético
Factor Abiótico	Atmósfera	Calidad del Aire (generación particulas)	-4 / 4	-3 / 2	-4 / 3	-3 / 2	-3 / 3	-1 / 2	-3 / 3	7	7	-63
		Calidad del Aire (emisiones de equipo)	0 / 0	-3 / 5	-3 / 5	-2 / 2	-3 / 5	-1 / 2	-2 / 4	6	6	-63
		Ruido.	-3 / 5	-3 / 5	-4 / 6	-4 / 3	-4 / 6	-1 / 2	-3 / 5	7	7	-107
	Agua	Calidad del agua	0 / 0	-2 / 4	-2 / 4	-2 / 4	-2 / 4	4 / 7	-1 / 3	7	5	-2
		Generación de aguas residuales	0 / 0	-2 / 3	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	1	1	-6
		Agotamiento del recurso hídrico	0 / 0	-2 / 2	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	1	1	-4
		Infiltración	-2 / 4	-2 / 4	-3 / 5	-3 / 2	-3 / 5	2 / 4	-1 / 3	8	6	-47
	Suelo	Compactación.	5 / 7	-4 / 6	-4 / 5	-4 / 4	-4 / 4	-1 / 2	-2 / 4	7	6	-61
		Vertimiento de residuos al suelo	-2 / 4	-2 / 4	-3 / 5	-2 / 4	-1 / 3	0 / 0	-2 / 4	6	6	-38
Factor Biótico	Fauna	Modificación de hábitat.	-1 / 3	-1 / 3	-3 / 3	0 / 0	-1 / 2	0 / 0	0 / 0	4	4	-31
		Movilidad (patrones de distribución, efecto barrera)	-1 / 1	-1 / 1	0 / 0	0 / 0	-1 / 2	0 / 0	0 / 0	3	3	-5
		Cobertura	-3 / 3	-1 / 0	-1 / 3	0 / 0	-1 / 2	0 / 0	0 / 0	3	3	-14
		Diversidad, Riqueza, Abundancia	-2 / 2	-1 / 0	-1 / 3	0 / 0	-1 / 2	0 / 0	0 / 0	3	3	-9
Factor socioeconómico y cultural	Paisaje	Perturbación del paisaje natural.	-3 / 3	-2 / 2	-3 / 2	-3 / 2	-3 / 2	-1 / 2	-2 / 2	7	7	-34
		Visibilidad	0 / 0	-1 / 1	-2 / 2	-2 / 2	-2 / 2	0 / 0	-1 / 3	5	5	-16
	Socioeconómico	Desarrollo Económico.	2 / 4	2 / 4	3 / 5	3 / 5	3 / 5	2 / 4	2 / 4	14	0	77
		Empleo.	2 / 4	2 / 4	2 / 5	2 / 4	2 / 4	1 / 2	2 / 4	14	0	52
		Factores de riesgo (protección civil).	1 / 1	-1 / 1	-2 / 4	-2 / 4	-2 / 4	4 / 7	-1 / 3	8	6	-1
		Conflictos sociales	0 / 0	-1 / 1	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	1	1	-1
TOTAL	Aspectos Positivos		15	19	17	14	18	15	14	112		
	Aspectos Negativos		10	15	13	10	14	5	10		77	
	Total Aritmético		-20	-90	-109	-57	-93	64	-48			-353

Versión Publica

Figura 5.3 Matriz de Lepold (Preparación del Sitio)

Matriz de Leopold para la Evaluación de Impactos Ambientales

Fecha de emisión: 02/02/2022
Código / Versión: AA-BB-## / v.1.0

MATRIZ DE EVALUACÓN DE IMPACTO AMBIENTAL																
COMPONENTE AMBIENTAL		FACTOR AMBIENTAL	Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)". BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V.								TOTAL		
			CONSTRUCCIÓN										
			Montaje de la planta de limpieza y separación del biogás	Instalación del sistema de compresión de Biometano	Instalación de la planta de licuefacción de BioCO2	Instalación de equipos auxiliares	Realización de ensayos y pruebas	Limpieza interior	Ejecución de pruebas hidrostáticas / Neumáticas	Actividades previas al inicio de operaciones	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos	Total Aritmético
Factor Abiótico	Atmósfera	Calidad del Aire (generación particulas)	-2 / 4	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 3	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	4	4	-17
		Calidad del Aire (emisiones de equipo)	-2 / 4	-2 / 4	-2 / 4	-2 / 4	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 3	8	8	-46
		Ruido.	-3 / 5	-3 / 6	-3 / 5	-2 / 5	-1 / 3	-1 / 3	-2 / 4	-2 / 4	8	8	-82
	Agua	Calidad del agua	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-2 / 4	-2 / 5	0 / 0	2	2	-8
		Generación de aguas residuales	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-2 / 5	-3 / 6	0 / 0	2	2	-10
		Agotamiento del recurso hídrico	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-1 / 3	-2 / 5	0 / 0	2	2	-3
		Infiltración	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-1 / 4	-1 / 4	0 / 0	2	2	-4
	Suelo	Compactación.	-1 / 3	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	1	1	-3
		Vertimiento de residuos al suelo	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 3	0 / 0	-2 / 5	-1 / 4	-1 / 3	7	7	-25
Factor Biótico	Fauna	Modificación de hábitat.	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0	0	0
		Movilidad (patrones de distribución, efecto barrera)	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0	0	0
		Cobertura	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0	0	0
		Diversidad, Riqueza, Abundancia	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0	0	0
Factor socioeconómico y cultural	Paisaje	Perturbación del paisaje natural.	-2 / 4	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 3	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	4	4	-17
		Visibilidad	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 2	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	4	4	-11
	Socioeconómico	Desarrollo Económico.	3 / 5	3 / 5	3 / 5	2 / 4	1 / 2	1 / 2	1 / 2	2 / 3	16	0	63
		Empleo.	2 / 4	2 / 4	2 / 4	2 / 4	1 / 2	1 / 2	1 / 2	1 / 2	16	0	38
		Factores de riesgo (protección civil).	-2 / 5	-3 / 5	-3 / 6	-2 / 4	-3 / 6	-2 / 5	-3 / 5	-2 / 5	8	8	-89
		Conflictos sociales	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 3	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-2 / 4	5	5	-20
TOTAL	Aspectos Positivos		13	12	12	12	7	12	12	9	77		
	Aspectos Negativos		9	8	8	8	3	8	8	5		49	
	Total Aritmético		-38	-33	-33	-22	-37	-47	-68	-24			-234

Versión Publica

Figura 5.4 Matriz de Leopold (Construcción)

Matriz de Leopold para la Evaluación de Impactos Ambientales

Fecha de emisión: 02/02/2022
Código / Versión: AA-BB-## / v.1.0

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL																
COMPONENTE AMBIENTAL		FACTOR AMBIENTAL	Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ). BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V.							TOTAL		
			OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO									
			Operación del sistema de Limpieza y Separación del Biogás	Operación Sistema de compresión	Operación del sistema de Licuefacción de CO2	Ejecución de programas de Mtto. Preventivo, Predictivo y Correctivo	Capacitación del personal en materia de seguridad, operación, mantenimiento, emergencias y sistemas de seguridad	Control y Gestión de relaciones	Atención a emergencias	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos	Total Aritmético
Factor Abiótico	Atmósfera	Calidad del Aire (generación particulas)	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0	0	0
		Calidad del Aire (emisiones de equipo)	-2 / 2	3 / 6	5 / 7	-1 / 2	-1 / 3	0 / 0	-2 / 4	8	4	35
		Ruido.	-2 / 1	-4 / 2	-3 / 3	-2 / 3	-2 / 4	0 / 0	-3 / 4	6	6	-47
	Agua	Calidad del agua	-1 / 3	0 / 0	0 / 0	-1 / 3	-1 / 3	0 / 0	-3 / 4	4	4	-21
		Generación de aguas residuales	0 / 0	0 / 0	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 3	0 / 0	-2 / 3	4	4	-15
		Agotamiento del recurso hídrico	-1 / 3	0 / 0	-1 / 3	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-2 / 3	3	3	-12
		Infiltración	-1 / 3	0 / 0	0 / 0	-1 / 3	-1 / 3	0 / 0	-2 / 3	4	4	-15
	Suelo	Compactación.	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0	0	0
		Vertimiento de residuos al suelo	-2 / 4	-1 / 2	0 / 0	-3 / 2	-3 / 2	-1 / 2	-3 / 3	6	6	-34
Factor Biótico	Fauna	Modificación de hábitat.	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-1 / 3	1	1	-3
		Movilidad (patrones de distribución, efecto barrera)	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-1 / 3	1	1	-3
		Cobertura	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-1 / 3	1	1	-3
		Diversidad, Riqueza, Abundancia	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-1 / 3	1	1	-3
Factor socioeconómico y cultural	Paisaje	Perturbación del paisaje natural.	-1 / 2	-1 / 2	-1 / 2	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-2 / 3	4	4	-12
		Visibilidad	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-1 / 2	1	1	-2
	Socioeconómico	Desarrollo Económico.	4 / 7	4 / 7	4 / 7	2 / 4	2 / 4	1 / 2	-2 / 5	13	1	92
		Empleo.	3 / 6	2 / 5	2 / 5	2 / 2	2 / 4	1 / 2	0 / 0	12	0	52
		Factores de riesgo (protección civil).	-3 / 3	-4 / 3	-3 / 6	3 / 7	4 / 8	2 / 4	5 / 10	11	3	72
		Conflictos sociales	-3 / 4	-2 / 4	-2 / 4	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-2 / 5	4	4	-38
TOTAL	Aspectos Positivos		13	11	12	12	12	7	17	84		
	Aspectos Negativos		9	5	6	6	6	1	15		48	
	Total Aritmético		0	23	33	10	25	10	-43			58

Versión Publica

Figura 5.5 Matriz de Leopold (Operación y mantenimiento)

Matriz de Leopold para la Evaluación de Impactos Ambientales

Fecha de emisión: 02/02/2022
Código / Versión: AA-BB-## / v.1.0

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL											
COMPONENTE AMBIENTAL		FACTOR AMBIENTAL	Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)". BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V.					TOTAL		
			CIERRE, DESMANTELAMIENTO Y ABANDO							
			Retiro de equipos, tuberías, accesorios e instalaciones eléctricas	Desmantelamiento de sistemas de control e infraestructura asociada	Limpieza general del sitio	Manejo y disposición de materiales y residuos generados	Rehabilitación de superficies afectadas	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos	Total Aritmético
Factor Abiótico	Atmósfera	Calidad del Aire (generación particulas)	-2 / 2	-2 / 4	2 / 4	-1 / 3	-1 / 2	6	4	-9
		Calidad del Aire (emisiones de equipo)	-2 / 2	-2 / 2	-1 / 3	-1 / 3	-1 / 2	5	5	-16
		Ruido.	-2 / 2	-3 / 5	-2 / 4	-1 / 3	-1 / 2	5	5	-32
	Agua	Calidad del agua	-1 / 3	-1 / 3	3 / 5	-3 / 2	4 / 8	7	3	30
		Generación de aguas residuales.	0 / 0	0 / 0	-1 / 3	-2 / 3	0 / 0	2	2	-9
		Agotamiento del recurso hídrico	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0	0	0
		Infiltración	-1 / 3	-1 / 3	2 / 5	-2 / 4	4 / 7	7	3	24
	Suelo	Compactación.	-1 / 3	-1 / 3	0 / 0	0 / 0	3 / 7	4	2	15
		Vertimiento de residuos al suelo	-3 / 6	-3 / 6	3 / 6	-3 / 5	4 / 8	7	3	-1
Factor Biótico	Fauna	Modificación de hábitat.	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	2 / 5	2	0	10
		Movilidad (patrones de distribución, efecto barrera)	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0	0	0
		Cobertura	0 / 0	0 / 0	1 / 3	0 / 0	3 / 7	4	0	24
		Diversidad, Riqueza, Abundancia	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	2 / 5	2	0	10
Factor socioeconómico y cultural	Paisaje	Perturbación del paisaje natural.	2 / 4	-2 / 4	2 / 5	-2 / 4	5 / 6	7	3	16
		Visibilidad	1 / 3	-1 / 3	2 / 5	-1 / 3	4 / 6	7	3	25
	Socioeconómico	Desarrollo Econ[illegible].	2 / 4	2 / 4	1 / 2	2 / 4	2 / 4	10	0	34
		Empleo.	2 / 4	2 / 4	1 / 2	2 / 4	2 / 4	10	0	34
		Factores de riesgo (protección civil).	-3 / 6	-3 / 5	3 / 7	-4 / 6	4 / 6	7	3	-12
		Conflictos sociales	0 / 0	0 / 0	0 / 0	-1 / 3	4 / 6	3	1	21
TOTAL	Aapectos Positivos		14	14	23	15	29	95		
	Aspectos Negativos		10	10	3	11	3		37	
	Total Aritmético		-52	-64	83	-60	266			173

Versión Publica

Figura 5.6 Matriz de Leopold (Cierre, desmantelamiento y abandono)

Para un análisis más detallado, se desarrolló una matriz individual para cada etapa del proyecto, cuyos resultados fueron sumados para obtener el impacto total. Asimismo, se identificaron las actividades con mayor impacto positivo y negativo, así como los factores ambientales más afectados en ambos sentidos. Estos resultados se representan en las figuras 5.3 a 5.6.

Interpretación de la matriz de Leopold

De acuerdo con la Matriz de Leopold, la etapa de Preparación del Sitio y la etapa de Construcción generan el mayor impacto negativo sobre el área del proyecto.

Tabla 5.5 Actividades y factores con mayor impacto positivo y/o negativo por etapa

Etapa	Actividad con mayor impacto negativo	Actividad con mayor impacto positivo	Factor con mayor impacto negativo	Factor con mayor impacto positivo	Total aritmético
Preparación del Sitio	Excavación, rellenos y compactaciones para conformación de plataformas	Instalación de sistemas de drenaje y manejo de los escurrimientos	Ruido	Desarrollo económico	-353
Construcción	Ejecución de pruebas hidrostáticas/ neumáticas	Instalación de equipos auxiliares	Factores de riesgo y protección civil	Desarrollo económico	-234
Operación y Mantenimiento	Atención a emergencias	Operación del sistema de licuefacción de CO_2	Ruido	Desarrollo económico	58
Cierre y Abandono	Desmantelamiento de sistemas de control e infraestructura asociada	Rehabilitación de superficies afectadas	Ruido	Desarrollo económico/Empleo	173
Total					**-356**

Versión Publica

El análisis integral de la matriz de Leopold evidencia que el proyecto presenta un comportamiento diferenciado por etapa, en el que predominan los impactos negativos durante las fases iniciales (preparación del sitio y construcción), asociados principalmente a actividades de movimiento de tierras, generación de ruido y ejecución de pruebas, mientras que en las etapas posteriores (operación y cierre) se observa una transición hacia impactos positivos, vinculados al aprovechamiento del biogás, la generación de beneficios socioeconómicos y la rehabilitación del sitio.

El balance global arroja un valor aritmético negativo (-356), lo cual es consistente con la naturaleza de los proyectos de infraestructura, donde las etapas constructivas concentran la mayor carga de impactos adversos, generalmente de carácter temporal, localizado y mitigable. En contraste, los impactos positivos, aunque menos intensos en términos numéricos, presentan una mayor permanencia, particularmente aquellos asociados a la valorización de residuos, reducción de emisiones y mejora de las condiciones del sitio al término de su vida útil.

En términos de factores ambientales, el ruido se identifica como el principal componente negativo a lo largo del proyecto, debido a la operación de maquinaria y equipos en distintas etapas, mientras que el desarrollo económico se posiciona como el factor positivo dominante, reflejando la generación de empleo, dinamización local y aprovechamiento energético de residuos.

Bajo este contexto, el proyecto se configura como ambientalmente viable, en tanto que los impactos negativos son en su mayoría controlables mediante medidas de mitigación, y los beneficios asociados a su operación contribuyen a la gestión sustentable de residuos y a la transición hacia esquemas de economía circular.

- **Etapa de Preparación del Sitio**

Durante esta etapa se concentra la mayor intensidad de impactos negativos (-353), derivados principalmente de actividades como excavaciones, rellenos y compactaciones, las cuales inciden directamente sobre el suelo y generan emisiones de polvo y ruido. El factor ambiental más afectado es el ruido, seguido de las alteraciones físicas del suelo, lo que es consistente con actividades de carácter constructivo inicial.

Sin embargo, también se identifican impactos positivos asociados a la instalación de sistemas de drenaje y manejo de escurrimientos, los cuales contribuyen a mejorar las condiciones hidrológicas del sitio y prevenir procesos de erosión.

En este sentido, la etapa de preparación del sitio presenta un predominio de impactos negativos de carácter temporal, propios de la transformación física del área, pero que se encuentran acotados por las condiciones previamente intervenidas del sitio, lo que limita su alcance ecológico.

- **Etapa de Construcción**

La etapa de construcción mantiene una tendencia negativa (-234), aunque con menor intensidad en comparación con la preparación del sitio. Los impactos se asocian principalmente a la ejecución de pruebas hidrostáticas y neumáticas, así como a la instalación de equipos, generando ruido, consumo de recursos y riesgos operativos.

El factor más relevante en esta etapa corresponde a los factores de riesgo (protección civil), debido a la naturaleza de los sistemas instalados (compresión y manejo de gases), lo que implica una mayor atención en materia de seguridad.

Por otro lado, la instalación de equipos auxiliares y la integración de infraestructura generan impactos positivos en términos de desarrollo económico y empleo.

Así, esta etapa se caracteriza por una disminución progresiva de la carga de impactos negativos, manteniendo un equilibrio entre afectaciones temporales y beneficios asociados al desarrollo del proyecto.

- **Etapa de Operación y Mantenimiento**

Durante la operación y mantenimiento se observa un cambio significativo en la tendencia de impactos, registrándose un balance positivo (58). Este comportamiento está directamente relacionado con el funcionamiento del sistema de limpieza, separación y aprovechamiento del biogás, así como con la licuefacción de CO_2, procesos que contribuyen a la reducción de emisiones contaminantes y al aprovechamiento de subproductos.

El principal impacto negativo identificado corresponde a escenarios de atención a emergencias, los cuales, aunque de baja probabilidad, presentan una alta importancia por sus posibles consecuencias.

Versión Publica

El factor positivo dominante continúa siendo el desarrollo económico, acompañado de beneficios ambientales asociados al control de emisiones.

En este contexto, la etapa de operación se consolida como la fase donde el proyecto aporta mayores beneficios ambientales y socioeconómicos, compensando en parte los impactos generados en etapas anteriores.

- **Etapa de Cierre, desmantelamiento y abandono**

La etapa de cierre presenta un balance positivo (173), derivado principalmente de las actividades de rehabilitación de superficies afectadas, las cuales contribuyen a la recuperación del sitio en términos de suelo, paisaje y condiciones ambientales generales.

Si bien se identifican impactos negativos asociados al desmantelamiento de infraestructura, estos son de carácter temporal y controlable, vinculados principalmente a la generación de residuos y ruido.

El desarrollo económico y el empleo continúan siendo factores positivos, aunque con menor intensidad que en la etapa operativa.

En consecuencia, esta etapa representa una fase de recuperación ambiental, donde los impactos positivos superan a los negativos, favoreciendo la restitución del sitio y la reducción de pasivos ambientales.

5.4 Impactos Ambientales Residuales (IAR)

Características de los Impactos Residuales:

- ✓ **Persistencia**: Pueden ser de corto, mediano o largo plazo.
- ✓ **Irreversibilidad**: Algunos impactos residuales pueden ser irreversibles, especialmente aquellos que afectan recursos no renovables o ecosistemas frágiles.
- ✓ **Localización**: Pueden manifestarse en áreas específicas o tener un alcance regional.

En este proyecto, se identificaron los siguientes IAR:

- ✓ **Atmósfera:** Persistirán impactos residuales asociados principalmente a la emisión de ruido durante las etapas de preparación del sitio, construcción y operación, derivados del uso de maquinaria y equipos como compresores. Asimismo, se mantendrán emisiones menores de gases de combustión provenientes de equipos auxiliares y vehículos.
  No obstante, estos impactos se consideran no significativos, ya que serán temporales o controlados mediante mantenimiento adecuado de equipos, y en el caso de la operación, se verán compensados por un impacto positivo relevante asociado a la captura, aprovechamiento y reducción de emisiones de metano y CO_2.
- ✓ **Agua**: Los impactos residuales sobre este componente estarán relacionados con la generación de aguas residuales durante actividades específicas como limpieza de tuberías, pruebas hidrostáticas y mantenimiento de equipos, así como posibles escurrimientos con arrastre de sedimentos en etapas constructivas.
  Sin embargo, mediante la implementación de sistemas de drenaje, manejo adecuado de residuos líquidos y control de descargas, estos impactos se consideran de baja magnitud y controlables, sin afectar de manera significativa la calidad del agua en el entorno.
- ✓ **Suelo:** Se prevé la permanencia de impactos residuales asociados a la compactación del suelo y a la impermeabilización parcial derivada de la instalación de infraestructura. Asimismo,

Versión Publica

existe un riesgo residual bajo relacionado con el vertimiento accidental de residuos o sustancias durante mantenimiento o manejo de materiales.

Dichos impactos se consideran no significativos, debido a que el sitio ya presenta condiciones previamente intervenidas (relleno sanitario), y a que se implementarán medidas de manejo y control que limitan su alcance y evitan la generación de contaminación adicional.

- ✓ **Fauna:** No se identifican impactos residuales significativos sobre la fauna, debido a la baja representatividad faunística del sitio y a la ausencia de especies sensibles o bajo estatus de protección.

  Las condiciones actuales del área, caracterizadas por su uso como relleno sanitario y su clasificación como zona desprovista de vegetación, limitan la presencia de fauna silvestre, por lo que cualquier afectación adicional es mínima o no relevante desde el punto de vista ecológico.
- ✓ **Flora:** Los impactos residuales sobre la flora son prácticamente inexistentes, dado que el área del proyecto se localiza en un sitio previamente intervenido, con ausencia de vegetación natural relevante.

  La remoción de cobertura vegetal en etapas iniciales no representa una pérdida significativa en términos ecológicos, por lo que no se prevén afectaciones residuales sobre este componente.
- ✓ **Paisaje:** Se mantendrán impactos residuales relacionados con la presencia de infraestructura industrial, lo que modifica de manera permanente la percepción visual del sitio.

  No obstante, este impacto se considera no significativo, debido a que el proyecto se ubica dentro de un relleno sanitario, un entorno previamente alterado, donde la calidad paisajística es baja. Además, las actividades de cierre y rehabilitación contribuirán a mejorar parcialmente las condiciones visuales del área.
- ✓ **Socioeconómico:** Se identifican impactos residuales positivos asociados al desarrollo económico local, generación de empleo y aprovechamiento energético de residuos, los cuales se mantienen durante la etapa operativa del proyecto.

  En contraste, los posibles impactos negativos (ruido, percepción social, riesgos) son de carácter localizado y controlable, por lo que el balance residual en este componente es positivo y significativo, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

Versión Publica

En términos generales, los impactos ambientales residuales del proyecto son de baja magnitud, localizados y controlables, predominando aquellos de carácter positivo asociados al aprovechamiento del biogás y la generación de beneficios socioeconómicos, lo que confirma la viabilidad ambiental del proyecto

5.5 Conclusiones

El análisis integral de los impactos ambientales asociados al proyecto permitió identificar que las afectaciones más relevantes se concentran en las etapas de preparación del sitio y construcción, derivadas principalmente de actividades de movimiento de tierras, generación de ruido y manejo de materiales; no obstante, dichas afectaciones son de carácter temporal, localizado y mitigable, y se encuentran acotadas por las condiciones previamente intervenidas del sitio, el cual corresponde a un relleno sanitario con baja calidad ambiental de referencia.

En contraste, durante la etapa de operación y mantenimiento se observa una transición hacia impactos predominantemente positivos, asociados al aprovechamiento del biogás, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la valorización de residuos, lo que representa una contribución relevante a la gestión sustentable y a esquemas de economía circular. De manera complementaria, la etapa de cierre incorpora efectos positivos adicionales derivados de la rehabilitación del sitio y la reducción de pasivos ambientales.

Los impactos residuales identificados son en su mayoría no significativos, en tanto que pueden ser prevenidos, mitigados o controlados mediante la implementación de medidas adecuadas de manejo ambiental, destacando que no se compromete la integridad de los componentes ambientales ni la funcionalidad del sistema ambiental.

En este contexto, el proyecto se considera ambientalmente viable, al presentar un balance favorable entre impactos negativos y beneficios ambientales y socioeconómicos, siendo compatible con el uso de suelo actual y contribuyendo al aprovechamiento eficiente de recursos, la reducción de emisiones y el desarrollo sostenible a nivel local y regional.

Versión Publica

6 Medidas preventivas y de mitigación de los impactos ambientales

6.1 Jerarquía de la mitigación

En el marco de la jerarquía de mitigación, se priorizan las acciones para gestionar los impactos ambientales del proyecto. En primer lugar, se busca **evitar** los impactos mediante la modificación del diseño o la selección de alternativas menos impactantes. Cuando no es posible evitarlos, se implementan medidas para **minimizar** su magnitud, como el uso de tecnologías limpias o prácticas operativas mejoradas. Para los impactos residuales, se proponen acciones de **reparación** o **restauración** de los ecosistemas afectados. Finalmente, en casos excepcionales, se establecen medidas de **compensación** para equilibrar los impactos inevitables. Estas estrategias se alinean con las características del sistema ambiental regional, garantizando la protección de los recursos naturales y la biodiversidad

En los últimos años, la jerarquía de mitigación se ha convertido en una buena práctica aceptada para gestionar los impactos a la biodiversidad, y los estudios de línea base de la biodiversidad desempeñan un papel vital para permitir la aplicación e implementación de la jerarquía de mitigación. La jerarquía de mitigación describe la secuencia en la que se aplican los diferentes tipos de acciones de manejo, comenzando con acciones para evitar impactos a la biodiversidad y terminando con compensaciones de biodiversidad.

En la guía para la presentación de las manifestaciones de impacto ambiental del sector hidrocarburos, se menciona que *la jerarquía de mitigación es:*

Según lo definido por la Iniciativa de Biodiversidad Intersectorial (CSBI por sus siglas en inglés) (CSBI, 2013a), la jerarquía de mitigación es: "La secuencia de acciones para anticipar y evitar impactos sobre la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas; y cuando no sea posible evitarlo, minimizar; y, cuando ocurran impactos, rehabilitar o restaurar; y donde permanezcan impactos residuales significativos, compensarlos. Dichas acciones a continuación se definen:

- ✓ **Evitar:** acciones tomadas para prevenir completamente los impactos a los valores de la biodiversidad, como cambiar el diseño espacial de un proyecto para prevenir impactos en ubicaciones específicas;
- ✓ **Minimizar:** acciones tomadas para reducir la duración, intensidad y/o extensión de los impactos que no se pueden evitar por completo;
- ✓ **Restaurar:** acciones tomadas para devolver áreas a un uso beneficioso y (si es posible) ayudar en la recuperación del ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido;
- ✓ **Compensaciones de biodiversidad:** inversiones en compensaciones de biodiversidad fuera del sitio para abordar los impactos residuales de un proyecto después de implementar los pasos anteriores de la jerarquía de mitigación;

Con esta jerarquía se refuerza el objetivo de tratar de evitar o minimizar los impactos potenciales desde el diseño del proyecto e implementación de este. La meta es identificar las mejores alternativas del proyecto que cumplan con un propósito y necesidad, pero hacerlo con el menor impacto ambiental posible.

Versión Publica

6.2 Descripción de la medida o programa o de medidas de mitigación o correctivas por componente ambiental

Se entiende por mitigación cualquier proceso, actividad o diseño para evitar, reducir o remediar cualquier impacto adverso al ambiente causado por el desarrollo de un proyecto. Asimismo, se entiende por estrategia como la técnica y conjunto de actividades destinadas a conseguir un objetivo.

En este sentido, de acuerdo con la y8imetodología aplicada para la evaluación de los impactos ambientales, éstos se agruparon según los factores ambientales en los que inciden, *(ver Matriz de Leopold)*. El resultado de los análisis de impactos indica que los impactos relacionados con el desarrollo del proyecto **"Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)"** en su mayoría son temporales (Preparación del sitio y Construcción) y únicamente afectarán las áreas donde se lleven a cabo las actividades en forma directa.

De acuerdo con los impactos ambientales identificados y evaluados en el Capítulo V, se presenta la siguiente tabla con las medidas de mitigación mostrando componente ambiental y factor.

Para las medidas de mitigación, prevención, compensación y restauración, se considera que las interacciones biogeoquímicas entre el suelo, el agua y el aire están interrelacionadas. Por lo tanto, cualquier alteración en uno de estos componentes puede afectar indirectamente a los demás. Por ejemplo, la compactación del suelo puede reducir la infiltración de agua, aumentando la escorrentía superficial y la erosión, lo que a su vez puede alterar la calidad del agua en cuerpos receptores. Asimismo, la degradación del suelo por contaminación o pérdida de materia orgánica puede afectar el ciclo del carbono, incrementando la emisión de CO_2 a la atmósfera y contribuyendo al cambio climático.

A continuación, se presenta una tabla con las medidas de mitigación (MIT), compensación (COM), prevención (PRE) y restauración (RES) del presente

Versión Publica

Tabla 6.1 Descripción de medidas de acuerdo con el tipo de impacto por el proyecto

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
Abiótico	Atmósfera	Calidad del aire (generación de partículas)	x				x	x		x	x	x			-Se realizará el riego periódico de las áreas de trabajo, particularmente en zonas de excavación, nivelación y tránsito de maquinaria, con el fin de evitar la dispersión de polvo. -Los vehículos que transporten materiales susceptibles de generar partículas serán cubiertos con lonas durante su traslado, a fin de prevenir la dispersión de material. -Se establecerán límites de velocidad para la circulación de vehículos dentro del área del proyecto, con el objetivo de minimizar la generación de polvo por tránsito. -Asimismo, se mantendrán en condiciones adecuadas de orden y limpieza las áreas de trabajo, equipos y maquinaria, reduciendo la presencia de material suelto susceptible de ser dispersado por el viento. -Finalmente, se realizará la supervisión continua de las actividades para asegurar el cumplimiento de las medidas establecidas.	Debido a que la generación de partículas es inherente a las actividades de preparación del sitio y construcción, no es posible su eliminación total; sin embargo, mediante la implementación de las medidas señaladas, se estima una reducción significativa en la emisión y dispersión de partículas, alcanzando niveles de control de hasta un **60–70%**, contribuyendo a mantener la calidad del aire dentro de condiciones aceptables en el área de influencia del proyecto.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
		Calidad del aire (emisiones)			x	x	x	x	x	x	x	x			-Durante las etapas de preparación del sitio y construcción, se verificará que la maquinaria y vehículos utilizados cuenten con programas de mantenimiento preventivo y correctivo vigentes, con el fin de asegurar su adecuado funcionamiento y reducir la emisión de gases contaminantes. -En la etapa de operación y mantenimiento, se emplearán equipos y sistemas diseñados para el control de emisiones, particularmente en los procesos de limpieza, compresión y licuefacción del biogás y CO_2, a fin de minimizar emisiones fugitivas y garantizar un funcionamiento eficiente del sistema. -Asimismo, se dará cumplimiento a la normatividad ambiental aplicable en materia de emisiones a la atmósfera, asegurando que los niveles generados no rebasen los límites máximos permisibles establecidos en las disposiciones correspondientes. -De manera	Considerando que las emisiones atmosféricas son inherentes a la operación de maquinaria y equipos, no es posible su eliminación total; sin embargo, mediante la implementación de programas de mantenimiento, control de emisiones y cumplimiento normativo, se estima una reducción significativa de las emisiones contaminantes, manteniéndolas dentro de los límites permisibles y disminuyendo su impacto en la calidad del aire en el área de influencia del proyecto.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															complementaria, se llevará un control y registro de las actividades operativas mediante bitácoras, así como la verificación periódica del estado de los equipos, con el objetivo de prevenir desviaciones en el desempeño ambiental del proyecto.	
		Niveles de ruido	x				x	x	x	x	x	x			-La maquinaria, vehículos y equipo contarán con un programa de mantenimiento preventivo, manteniendo los registros actualizados. -Dar cumplimiento a la NOM-011-STPS-2001, estableciendo los métodos de seguridad en ambientes laborales en donde se genere ruido, con la finalidad de garantizar la salud de los trabajadores. -Se concientizará y/o capacitará al personal en el uso de equipo de protección personal. -Los equipos de mayor emisión de ruido serán utilizados en horarios de actividad normal en las zonas pobladas. -Los niveles de ruido generados cumplirán con los Límites Máximos Permisibles (LMP's),	Debido a que este impacto es inherente al proyecto y que la etapa en las que será generado es por periodos relativamente cortos, se estima que con las presentes medidas de prevención y mitigación pueda verse reducido dicho impacto. Se estima que los efectos de dicho impacto sobre el personal sean mínimos al contar con el EPP correspondiente, mismo que será proporcionado a todo trabajador y externo que visite las instalaciones por parte de BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															establecidos en la NOM-081-SEMARNAT-1994.	
	Agua	Calidad del agua		x							x	x			-Durante las etapas de preparación del sitio y construcción, se establecerán sistemas de control de escurrimientos, tales como cunetas, pendientes controladas y obras de drenaje, con el fin de evitar el arrastre de sedimentos hacia zonas adyacentes. -Se evitará el almacenamiento inadecuado de materiales y residuos en áreas susceptibles a escurrimientos, manteniendo los insumos y sustancias potencialmente contaminantes en sitios controlados y delimitados. -En la etapa de operación y mantenimiento, los residuos líquidos generados (por ejemplo, derivados de limpieza de equipos o mantenimiento) serán recolectados y manejados conforme a la normatividad aplicable, evitando su descarga directa al suelo o cuerpos de agua. -Asimismo, se implementarán buenas	Considerando que las afectaciones a la calidad del agua están asociadas principalmente a escurrimientos y manejo de materiales, y no a descargas directas, se estima que mediante la implementación de medidas preventivas y de control, el impacto puede ser reducido de manera significativa, alcanzando niveles de control de hasta un 70–80%, evitando la contaminación del agua y manteniendo las condiciones ambientales del entorno.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															prácticas operativas para prevenir derrames accidentales, incluyendo el uso de contenedores adecuados, áreas de resguardo y procedimientos de atención inmediata en caso de incidentes. -Durante la etapa de cierre, se asegurará el retiro adecuado de materiales y la limpieza del sitio, evitando la presencia de residuos que puedan ser movilizados por escurrimientos.	
		Generación de aguas residuales	x				x	x	x	x	x	x			-Durante las etapas de preparación del sitio y construcción, los servicios sanitarios para el personal se realizarán mediante el uso de sanitarios portátiles, cuya operación y mantenimiento estarán a cargo de una empresa autorizada, encargada de la recolección y disposición final de los residuos generados. -En la etapa de operación y mantenimiento, las aguas residuales generadas, incluyendo condensados del biogás y líquidos derivados de la limpieza de equipos, serán	Debido a que la generación de aguas residuales es inherente a las actividades del proyecto, particularmente en operación y mantenimiento, no es posible su eliminación total; sin embargo, mediante la implementación de sistemas de recolección, manejo controlado y disposición adecuada, se estima una reducción significativa del impacto, alcanzando niveles de control de hasta un 50% evitando la contaminación del suelo y cuerpos de agua en el área de influencia.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															recolectadas y canalizadas hacia sistemas de almacenamiento o tratamiento adecuados, evitando su descarga directa al ambiente. -Se implementarán procedimientos de manejo y control para prevenir derrames, así como el uso de contenedores y áreas confinadas para el almacenamiento temporal de estos residuos. -Asimismo, se promoverán buenas prácticas operativas y de mantenimiento, con el fin de minimizar la generación de aguas residuales y asegurar su adecuado manejo conforme a la normatividad ambiental aplicable.	
		Agotamiento del recurso hídrico	x				x	x	x	x	x	x			-Se establecerá un programa de capacitaciones para concientizar al personal de la importancia del medio ambiente y de las obligaciones ambientales adquiridas por el desarrollo del proyecto con la finalidad del uso consciente del recurso hídrico. -Impartición de pláticas de	Se ha establecido que por el tipo de giro y las actividades contempladas para el desarrollo del proyecto el uso del recurso hídrico será moderado, aunado a lo anterior con las medidas de prevención y mitigación planeadas el impacto puede reducir en un 50%.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															inducción en materia de protección ambiental para todo el personal externo e interno que labore en cada una de las actividades del proyecto.	
		Infiltración	x				x	x							-Se solicitará a los contratistas que ofrecen servicios de prestación de maquinaria y vehículos que cuenten con mantenimientos calendarizados con la finalidad de reducir los derrames y eviten limpiar o filtrar estos con algún cuerpo de agua. -En cuanto a la actividad de generación de biometano, no se contempla la contaminación del agua con estos residuos.	Debido a que las etapas en las que pudiera presentarse dicho impacto son por periodos relativamente cortos, se estima que con las presentes medidas de prevención pueda verse reducido.
	Suelo	Vertimiento de residuos al suelo	x				x	x	x	x	x	x			-Los residuos generados serán clasificados desde su origen en residuos sólidos urbanos, de manejo especial y, en su caso, residuos peligrosos, conforme a la normatividad ambiental aplicable. -El promovente se registrará como microgenerador de residuos peligrosos, por lo que el manejo de estos se realizará conforme a lo	Debido a que el vertimiento de residuos al suelo es un impacto potencial asociado al manejo inadecuado de materiales y residuos, mediante la implementación de medidas de prevención, almacenamiento controlado, capacitación y disposición final adecuada a través de empresas autorizadas, se estima una reducción significativa del impacto, alcanzando niveles de control de hasta un 80–90%, evitando la contaminación del suelo en el área del proyecto.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															establecido en la legislación vigente, asegurando su almacenamiento temporal en contenedores adecuados, etiquetados y en áreas confinadas, previo a su entrega a prestadores de servicios autorizados para su recolección, transporte y disposición final. -Se designarán áreas específicas dentro del predio para el almacenamiento temporal de materiales, insumos y residuos, evitando su contacto directo con el suelo. -Durante la operación y mantenimiento, residuos tales como aceites usados, filtros, trapos contaminados y otros materiales derivados del mantenimiento de equipos serán manejados bajo condiciones controladas, evitando derrames y dispersión. -Asimismo, se implementarán programas de capacitación al personal en materia de manejo adecuado de residuos y prevención de derrames,	

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															así como la supervisión continua de las áreas de trabajo para asegurar el cumplimiento de las medidas establecidas. -Se llevará un control mediante bitácoras donde se registren los residuos generados, su manejo y su disposición final, contando con la documentación comprobatoria correspondiente. -Se contará con contenedores debidamente identificados para la segregación de residuos en sitio, así como áreas específicas para su almacenamiento temporal, evitando su contacto directo con el suelo. Asimismo, se llevará un registro mediante bitácoras de los residuos generados, su manejo y disposición final, garantizando su trazabilidad.	
		Compactación	x				x				x				-Solo se harán nivelaciones y rellenos en las áreas previamente delimitadas, por ningún motivo se realizarán fuera de las áreas delimitadas previamente. -Evitar compactaciones innecesarias que conlleven	Se ha establecido que dicho impacto es inherente al desarrollo del proyecto, por tal motivo las medidas contempladas van dirigidas a minimizar en la medida de lo posible dicho impacto, haciendo uso consciente de la actividad.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															a la pérdida de infiltración fuera del área del proyecto. -No existirá la apertura de nuevos caminos, se utilizarán los caminos existentes para mover al personal y maquinaria estrictamente necesaria para el proyecto.	
Biótico	Fauna	Modificación de hábitat	x				x				x				-Considerando que el sitio del proyecto corresponde a un área previamente intervenida, ubicada dentro de un relleno sanitario y clasificada como zona desprovista de vegetación, donde durante el levantamiento de campo no se registraron especies de fauna silvestre de relevancia ecológica, no se prevé la implementación de programas formales de ahuyentamiento o reubicación de fauna. -No obstante, como medida preventiva, se realizará la supervisión de las actividades de preparación del sitio y construcción, con el fin de identificar de manera oportuna la posible presencia ocasional de fauna. -En caso de detectarse ejemplares de fauna durante el desarrollo de las	Dado que el sitio presenta condiciones previamente alteradas y una baja o nula representatividad de fauna silvestre, el impacto sobre este componente es mínimo. Mediante la implementación de medidas preventivas y supervisión en sitio, se estima que el impacto puede ser reducido a niveles no significativos, sin afectar la dinámica ecológica del área.
		Movilidad (patrones de distribución, efecto barrera)	x					x		x	x	x				

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															actividades, se procederá a su desplazamiento de manera natural, evitando su manipulación directa, y se suspenderán temporalmente las actividades en el área inmediata hasta que el organismo se retire por sí mismo. -Asimismo, se evitará la generación de condiciones que pudieran atraer fauna al sitio, tales como la acumulación de residuos orgánicos o la disposición inadecuada de materiales. -Asimismo, la rehabilitación de áreas afectadas contribuirá de manera indirecta a la mejora de las condiciones del hábitat, favoreciendo la posible recolonización de fauna en el sitio a largo plazo.	
	Flora	Cobertura	x				x				x	x			-Considerando que el área del proyecto se ubica dentro de un sitio previamente intervenido, con cobertura vegetal limitada y dominada por especies características de ambientes perturbados, no se prevé una afectación significativa sobre la flora. -Las actividades de	Dado que la afectación a la flora se limita a áreas previamente intervenidas y con baja diversidad vegetal, el impacto se considera de baja magnitud. Mediante la delimitación de áreas de trabajo, el uso de accesos existentes y la promoción de la regeneración natural, se estima que el impacto puede
		Diversidad, riqueza y abundancia	x				x				x	x				

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															desmonte y despalme se restringirán estrictamente al área requerida para la instalación del proyecto, evitando la remoción innecesaria de vegetación en zonas adyacentes. -No se contempla la apertura de nuevos caminos, utilizando los accesos existentes para el tránsito de maquinaria y personal, con el fin de minimizar la afectación adicional a la cobertura vegetal. -Asimismo, se permitirá la regeneración natural de la vegetación en las áreas no intervenidas y, en su caso, en aquellas zonas que no formen parte de la infraestructura permanente, favoreciendo la recuperación parcial de la cobertura vegetal. -Se evitará la disposición inadecuada de residuos sobre áreas con presencia de vegetación, a fin de no afectar su desarrollo. -Adicionalmente, conforme a las actividades del proyecto, se contempla la rehabilitación de las áreas afectadas, promoviendo la regeneración natural de la	ser reducido a niveles no significativos, permitiendo la recuperación parcial de la cobertura vegetal en el entorno, mediante procesos de regeneración natural y rehabilitación de áreas intervenidas.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															vegetación y, en su caso, la incorporación de cobertura vegetal compatible con las condiciones del sitio, lo que contribuirá a la regeneración parcial de la cobertura vegetal.	
	Paisaje	Perturbación del paisaje natural	x				x				x	x			-La actividad de despalme se realizará únicamente en el área requerida para el desarrollo del proyecto. -No existirá la apertura de nuevos caminos, se utilizarán los caminos existentes para mover al personal y maquinaria estrictamente necesaria para el proyecto. -En caso de que se encontrara alguna especie listada en la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 en campo durante la vida útil del Proyecto se tomarán las medidas de protección correspondientes asegurando su conservación. -Se permitirá la regeneración natural de la vegetación. Está medida y la inclusión o reproducción de algunas especies originarias dentro del área del proyecto, contribuirá a restaurar parcialmente las	Dado que el proyecto se ubica en un entorno previamente alterado, la afectación paisajística adicional es limitada. Mediante la restricción de áreas de intervención, el uso de accesos existentes, el mantenimiento del orden en sitio y la regeneración natural de la vegetación, se estima que el impacto puede ser reducido a niveles bajos o no significativos, manteniendo la coherencia visual del área de influencia.
		Visibilidad	x				x				x	x				

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															áreas desmontadas y a disminuir la afectación al paisaje. -En la etapa de cierre, además de la limpieza del sitio, se llevará a cabo la rehabilitación de las áreas afectadas, lo que contribuirá a mejorar la calidad visual del entorno y favorecer su integración paisajística.	
Socioeconómico y cultural	Socioeconómico	Desarrollo económico	Impactos positivos				x	x	x	x	N/A				-El proyecto contribuirá al desarrollo económico local mediante la generación de empleos durante las etapas de construcción y operación. -Se priorizará la contratación de personal local, así como de prestadores de servicios de la región, con el fin de favorecer la economía de las comunidades cercanas. -Asimismo, se promoverá el uso de insumos, materiales y servicios disponibles en la zona, fortaleciendo las cadenas productivas locales. -Durante la operación del proyecto, se generarán empleos permanentes asociados a la operación, mantenimiento y supervisión de la	El impacto positivo asociado al desarrollo económico y la generación de empleo se considera significativo, ya que se mantendrá durante la vida útil del proyecto, particularmente en la etapa de operación, contribuyendo de manera directa al fortalecimiento de la economía local y regional.
		Empleo					x	x	x	x						

Versión Pública

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															infraestructura, contribuyendo a la estabilidad laboral en la región. -Adicionalmente, se proporcionarán condiciones laborales adecuadas para el personal, en cumplimiento con la normatividad aplicable en materia de seguridad y salud en el trabajo.	
		Factores de riesgo (protección civil)			x		x	x	x	x	x				-Se contará con un Programa para la Prevención de Accidentes (PPA), el cual incluirá procedimientos específicos para la identificación, evaluación y control de riesgos durante las distintas etapas del proyecto. -Asimismo, se dará cumplimiento a las medidas y recomendaciones derivadas del Estudio de Riesgo y demás instrumentos aplicables, integrando acciones de prevención, control y respuesta ante emergencias. -El personal será capacitado de manera continua en materia de seguridad industrial, manejo de	Debido a que el manejo de biogás y sistemas presurizados implica riesgos inherentes, no es posible su eliminación total; sin embargo, mediante la implementación de programas de prevención, capacitación del personal, control operativo y cumplimiento de las medidas derivadas de los estudios de riesgo, se estima una reducción significativa del nivel de riesgo, manteniéndolo dentro de rangos tolerables y controlables durante la vida útil del proyecto.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															sustancias y atención a emergencias, asegurando su adecuada actuación ante posibles incidentes. -Se implementarán procedimientos operativos seguros para el manejo de biogás, así como la verificación periódica del estado de los equipos, con el fin de prevenir fugas, sobrepresiones u otras condiciones de riesgo. -Adicionalmente, se contará con equipo de seguridad, señalización y protocolos de emergencia, a fin de minimizar las consecuencias en caso de presentarse algún evento no deseado.	
		Conflictos sociales						x	x						-Considerando que el proyecto se desarrolla dentro de un sitio previamente destinado a la disposición de residuos sólidos urbanos, no se prevé la generación de conflictos sociales significativos; sin embargo, se implementarán medidas preventivas orientadas a mantener una adecuada relación con el entorno social. -Se procurará que las	Dado que el proyecto se ubica en un sitio previamente destinado a actividades similares y que no se identificaron condiciones de conflicto social en el área, se estima que el impacto es mínimo. Mediante la implementación de medidas preventivas y el cumplimiento normativo, el impacto puede mantenerse en niveles no significativos, evitando la generación de conflictos en el entorno social.

Versión Publica

Factor ambiental	Subfactor	Impacto Ambiental	Tipo de impacto				Etapa de ocurrencia				Tipo de medida				Descripción de la medida	Dimensión de reducción del impacto
			*	**	***	****	+	++	+++	++++	°	°°	°°°	°+		
															actividades del proyecto se desarrollen conforme a la normatividad aplicable, minimizando molestias asociadas a ruido, tránsito de vehículos y operación de maquinaria. Asimismo, se priorizará la contratación de personal local y la utilización de servicios de la región, contribuyendo al desarrollo económico de las comunidades cercanas. -El proyecto contará con una Manifestación de Impacto Social del Sector Energético (MISSE), mediante la cual se identificarán, evaluarán y atenderán los posibles impactos sociales derivados de su desarrollo, incorporando mecanismos de vinculación, comunicación y atención a las comunidades del área de influencia. -Se mantendrá una comunicación adecuada con las autoridades locales y, en su caso, con la población, a fin de atender oportunamente cualquier inquietud relacionada con el desarrollo del proyecto.	

Versión Publica

***Impacto Ambiental Acumulativo:** 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.

****Impacto Ambiental Sinérgico:** Aquel que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varias acciones supone una incidencia ambiental mayor que la suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente.

*****Impacto Ambiental Significativo o Relevante:** Aquel que resulta de la acción del hombre o de la naturaleza, que provoca alteraciones en los ecosistemas y sus recursos naturales o en la salud, obstaculizando la existencia y desarrollo del hombre y de los demás seres vivos, así como la continuidad de los procesos naturales.

******Impacto Ambiental Residual:** El impacto que persiste después de la aplicación de medidas de mitigación

+ Preparación del sitio
+ Construcción
+++ Operación y mantenimiento
++++ Abandono
° Prevención
°° Mitigación
°°° Restauración
°+ Compensación

Versión Publica

6.3 Medidas en materia de cambio climático

Las medidas propuestas por BIOGE3, S. DE R.L. DE C.V. abarcan todas las etapas de desarrollo del proyecto, con especial énfasis en la etapa de operación y mantenimiento, debido a su mayor duración y a la continuidad prevista de las actividades. En este sentido, se implementarán equipos y sistemas orientados al control de emisiones a la atmósfera, asegurando que éstas se mantengan dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad ambiental aplicable, en cumplimiento con lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.

Durante la operación del proyecto, se llevará a cabo la evaluación periódica del desempeño ambiental mediante diagnósticos de emisiones, así como la implementación de un programa de detección y reparación de fugas (LDAR), con el fin de minimizar la liberación de contaminantes a la atmósfera. Estas acciones se alinean con los principios de prevención y control establecidos en la LGEEPA, así como con lo dispuesto en la Ley General de Cambio Climático (LGCC), contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), derivados del aprovechamiento del biogás.

De manera complementaria, el proyecto incorpora medidas de eficiencia operativa y control de procesos que favorecen el aprovechamiento del biogás, evitando su liberación directa a la atmósfera y contribuyendo a la mitigación del cambio climático mediante la valorización energética de residuos.

6.4 Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)

El Programa de Vigilancia Ambiental contempla las medidas o acciones de control, prevención, mitigación o compensación propuestas en el presente estudio de impacto ambiental, además se contemplarán las medidas dictadas por la autoridad SEMARNAT en la autorización de impacto ambiental correspondiente y aquellas que pudieran surgir durante el desarrollo del proyecto.

Para el seguimiento y control de las medidas de mitigación planteadas, se realizará una supervisión ambiental permanente durante todas las etapas del proyecto a fin de garantizar que estas medidas sean implementadas y llevadas a cabo de la manera correcta verificando en todo momento que estas sean efectivas previniendo, restaurando y mitigando los impactos identificados.

Lo anterior con el objetivo de detectar oportunamente cualquier área donde existiera riesgo de inestabilidad, de modo que, de presentarse, la duración del efecto se estima corta, debido a que las medidas correctivas pertinentes podrían aplicarse inmediatamente.

El cumplimiento de cada medida propuesta se registrará mediante el Programa de Vigilancia Ambiental (PVA), en el cual se reportará el avance en la consecución de las metas establecidas para cada subprograma, así como las evidencias asociadas y pertinentes (listas, bitácoras, facturas, fotografías, etc.).

El proyecto bajo estrategias de protección ambiental para los componentes aire, agua, suelo y paisaje, además de los trabajos previstos para la restauración ambiental en la etapa de cierre, desmantelamiento y abandono, es ambientalmente viable de llevarse a cabo, toda vez que los impactos generados por su realización son los esperados y completamente mitigables, sin ocasionar ningún desequilibrio ecológico.

Ver Anexo VI. Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)

Versión Pública

6.5 Información necesaria para la fijación de montos para fianzas

En su momento se realizará lo correspondiente al trámite de los seguros, tomando en cuenta lo que se indique en este Manifiesto de Impacto Ambiental y su correspondiente Estudio de Riesgo. En cuanto a los seguros por responsabilidad civil y responsabilidad a terceros será determinado conforme a los lineamientos aplicables.

Versión Publica

7 Pronósticos ambientales y en su caso, evaluación de alternativas

El presente capítulo tiene como objetivo establecer los pronósticos ambientales del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)", a partir del análisis integral de los impactos ambientales identificados y evaluados en los capítulos anteriores de la Manifestación de Impacto Ambiental. Para ello, se realiza una proyección del comportamiento de los componentes ambientales considerando el escenario sin proyecto, el escenario con proyecto y el escenario con la aplicación de las medidas preventivas, correctivas y de mitigación propuestas.

El análisis se desarrolla mediante la construcción y comparación de distintos escenarios ambientales, los cuales permiten evaluar la evolución del sistema ambiental bajo tres condiciones: escenario sin proyecto, escenario con proyecto, y escenario con proyecto incorporando la implementación de las medidas ambientales propuestas. Esta metodología permite identificar las diferencias entre cada escenario, estimar la magnitud de los impactos remanentes y valorar la viabilidad ambiental del proyecto en el tiempo.

De esta manera, el presente capítulo integra la información técnica generada en los apartados anteriores y constituye un elemento fundamental para sustentar que el proyecto puede desarrollarse bajo un esquema de gestión ambiental controlado y compatible con el entorno, bajo un esquema de gestión ambiental responsable.

7.1 Descripción y análisis del escenario sin Proyecto

El escenario sin proyecto representa la condición ambiental que prevalecería en el Sistema Ambiental en ausencia de la "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)", considerando únicamente las dinámicas naturales del medio y las actividades antrópicas existentes. Este escenario constituye la línea base prospectiva contra la cual se comparan los cambios ambientales derivados de la ejecución y operación del proyecto, permitiendo evaluar su influencia real sobre el sistema ambiental.

Sistema Ambiental (SA): En ausencia del proyecto, el Sistema Ambiental del área de estudio mantendría las condiciones actuales derivadas de la operación del relleno sanitario de Ezequiel Montes, configurando un entorno con un alto grado de intervención antrópica. Este sistema se caracteriza por la coexistencia de superficies alteradas, zonas agrícolas y remanentes de vegetación secundaria, lo que da lugar a un mosaico ambiental con distintos niveles de perturbación.

La dinámica ambiental está fuertemente influenciada por los procesos de descomposición de los residuos sólidos urbanos, los cuales generan subproductos como lixiviados y biogás. Sin la implementación del proyecto, estos procesos continuarían sin un esquema de aprovechamiento o mejora tecnológica, lo que implica la permanencia de presiones ambientales asociadas a emisiones gaseosas y riesgos potenciales al entorno. En este contexto, no se incorporarían medidas adicionales que contribuyan a la mejora ambiental del sitio, manteniéndose las condiciones actuales sin cambios sustanciales.

Versión Pública

Aire: Bajo el escenario sin proyecto, la calidad del aire se encuentra condicionada principalmente por la emisión de gases derivados de la descomposición anaerobia de los residuos, tales como metano, dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles. Estas emisiones, al no ser capturadas ni tratadas, se liberan de manera difusa hacia la atmósfera, contribuyendo tanto al deterioro de la calidad del aire a nivel local como al incremento de gases de efecto invernadero a escala global.

Adicionalmente, la operación del relleno sanitario genera material particulado asociado al tránsito de maquinaria, manejo de residuos y presencia de superficies expuestas. En conjunto, estos factores configuran un ambiente atmosférico con presiones constantes, que en ausencia del proyecto no presenta mejoras en términos de control o reducción de emisiones.

Agua: En el escenario sin proyecto, las condiciones del recurso hídrico se mantienen dentro de un contexto de estrés hídrico regional, dado que el área se localiza sobre el acuífero Valle de Tequisquiapan, el cual presenta un déficit en su balance hídrico, sin disponibilidad de volumen para nuevas concesiones. Esto implica que la extracción de agua subterránea supera su recarga natural, generando una condición de sobreexplotación que no se vería modificada en ausencia del proyecto.

- **Cantidad:** No se prevén cambios en la disponibilidad del recurso, manteniéndose la presión existente sobre el acuífero. La disponibilidad de agua subterránea continuaría siendo limitada y condicionada por las extracciones existentes para uso urbano, agrícola y como abrevadero, sin que la no ejecución del proyecto implique una reducción significativa en la presión sobre el acuífero, ya que dicha presión responde a una demanda regional preexistente.
- **Calidad:** Esta continuaría influenciada por las actividades antrópicas existentes, tales como escurrimientos urbanos e industriales, aportes difusos de origen agropecuario y procesos naturales de arrastre de sedimentos, además el relleno sanitario representa una fuente potencial de riesgo debido a la generación de lixiviados, los cuales, en caso de infiltración, pueden alterar las características fisicoquímicas del agua subterránea. Sin la implementación del proyecto, no se introducen mejoras adicionales en el manejo del biogás ni en la reducción de posibles interacciones con el sistema hídrico, por lo que persisten las condiciones actuales de riesgo potencial, aunque controladas bajo la operación existente del sitio.

Suelo: Las condiciones del componente suelo en el área de estudio se mantendrían determinadas por la configuración geológica, fisiográfica y edafológica regional, así como por la presión antrópica histórica asociada al relleno sanitario y las actividades presentes en el entorno. .

- **Calidad:** La calidad del suelo se encuentra condicionada por la intervención antrópica asociada a la operación del relleno sanitario, así como por las actividades circundantes, tales como el uso agrícola y la presencia de infraestructura y asentamientos humanos. Estas condiciones han propiciado la alteración de las propiedades físicas del suelo, incluyendo compactación, pérdida de estructura natural y modificación de su capacidad de infiltración.
  Adicionalmente, el manejo de residuos implica la posibilidad de afectaciones puntuales en las características fisicoquímicas del suelo, particularmente en zonas donde se concentran materiales o escurrimientos asociados a la operación del sitio. En el escenario sin proyecto, estas condiciones se mantendrían sin cambios significativos, ya que no se contemplan acciones adicionales que favorezcan la recuperación o mejora del suelo, persistiendo el estado actual de alteración.

Versión Publica

- **Relieve:** El relieve del área responde a las características de la subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, presentando formas de terreno predominantemente planas a ligeramente onduladas, con pendientes suaves y limitada variación altimétrica. Estas condiciones han facilitado el establecimiento del relleno sanitario y han sido parcialmente modificadas por actividades de nivelación, conformación de celdas, terracerías y caminos internos. En el escenario sin proyecto, el relieve permanecería estable, sin modificaciones geomorfológicas adicionales, manteniéndose las condiciones actuales derivadas del uso del suelo y de las intervenciones previamente realizadas en el sitio.

Flora: La flora presente en el área de estudio se encuentra asociada a un mosaico de usos de suelo predominantemente transformados, donde destacan superficies desprovistas de vegetación particularmente en el área del proyecto, así como zonas de agricultura de riego anual y semipermanente, agricultura de temporal anual, asentamientos humanos y parches de vegetación secundaria arbustiva correspondientes a bosque de encino y matorral crasicaule. Estas condiciones reflejan un entorno con un alto grado de intervención antrópica, en el cual la cobertura vegetal natural ha sido modificada, fragmentada o sustituida por actividades productivas y de infraestructura.

Las especies registradas corresponden principalmente a vegetación secundaria y ruderal, compuesta por organismos adaptados a condiciones de perturbación, entre las que se encuentran Mirabilis multiflora, Eruca vesicaria, Barkleyanthus salicifolius, Physalis philadelphica, Reseda luteola, Salsola kali subsp. tragus, Argemone ochroleuca, Sphaeralcea angustifolia, Mirabilis laevis, Chloris virgata, Thymophylla pentachaeta, Brickellia californica, Neltuma laevigata, Schinus molle, Nicotiana glauca, Opuntia ficus-indica y Acacia farnesiana. Estas especies presentan alta tolerancia a ambientes alterados y desempeñan funciones ecológicas limitadas dentro del sistema.

En ausencia del proyecto, no se prevé una recuperación significativa de la vegetación original ni un incremento en la diversidad florística, debido a que las condiciones actuales del sitio, particularmente la operación del relleno sanitario continuará definiendo la estructura y composición vegetal. Asimismo, no se identificaron especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT, por lo que el escenario sin proyecto mantendría las condiciones actuales de la flora sin cambios relevantes.

Fauna: La fauna presente en el área de estudio se encuentra asociada a un entorno altamente modificado por actividades antrópicas, caracterizado por la operación del relleno sanitario, la presencia de zonas agrícolas, áreas sin vegetación, así como asentamientos humanos en el entorno. Estas condiciones limitan la disponibilidad de hábitat adecuado, por lo que las comunidades faunísticas están conformadas principalmente por especies generalistas, con alta capacidad de adaptación a ambientes perturbados.

Durante los recorridos de campo se identificó la presencia de especies como la tortolita cola larga y la garza blanca, así como fauna doméstica asociada a actividades productivas, incluyendo ganado vacuno y cabra doméstica. La presencia de estas especies indica un ecosistema con baja diversidad biológica y dominado por organismos oportunistas que utilizan el área de manera temporal para alimentación o tránsito.

La fragmentación del hábitat, la actividad humana constante y la alteración del entorno restringen el establecimiento de poblaciones silvestres más sensibles. En este contexto, no se registraron especies

Versión Pública

enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT, por lo que no se identifican elementos de alta relevancia para la conservación.

En consecuencia, en el escenario sin proyecto, la composición y dinámica de la fauna se mantendrían sin cambios significativos, al estar determinadas principalmente por las condiciones actuales del uso del suelo y la presión antrópica existente en el área.

Cambio Climático: En ausencia del proyecto, el relleno sanitario continuará funcionando como una fuente emisora de gases de efecto invernadero, particularmente metano, derivado de la descomposición de residuos orgánicos en condiciones anaerobias. Este gas posee un alto potencial de calentamiento global, por lo que su liberación directa a la atmósfera contribuye de manera significativa al cambio climático.

La falta de implementación de sistemas de captura y aprovechamiento del biogás implica que estas emisiones se mantendrán sin control, desaprovechando además su potencial energético. En consecuencia, el escenario sin proyecto no incorpora beneficios en términos de mitigación climática, manteniendo una contribución negativa al balance de emisiones.

7.2 Descripción y análisis del escenario con Proyecto

El escenario con proyecto describe las condiciones ambientales que prevalecerían en el Sistema Ambiental como resultado del proyecto "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO$_2$ liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)", el cual se construirá dentro de un entorno previamente intervenido principalmente por actividades del relleno sanitario, actividades urbanas y agropecuarias. Este escenario permite evaluar la interacción directa del proyecto con los componentes ambientales y analizar los cambios potenciales que se generarían respecto a las condiciones actuales del Sistema Ambiental.

Sistema Ambiental: Con la implementación del proyecto, el Sistema Ambiental del área de estudio mantendría su condición de entorno previamente impactado; sin embargo, incorporaría mejoras en la gestión de subproductos generados por la disposición de residuos sólidos urbanos. En particular, el aprovechamiento del biogás producido en la celda del relleno sanitario representa un cambio relevante en la dinámica ambiental del sitio, al pasar de un esquema pasivo de liberación de gases a un sistema controlado de captura, conducción, limpieza y valorización energética.

Este cambio implica una transición hacia un manejo más eficiente de los procesos asociados a la descomposición de residuos, reduciendo presiones ambientales existentes y generando beneficios en términos de control de emisiones y aprovechamiento de recursos. Si bien el entorno seguirá presentando condiciones de perturbación, el proyecto contribuye a mejorar la gestión ambiental del sitio sin modificar de manera significativa la estructura general del sistema.

Aire: En el escenario con proyecto, la calidad del aire presenta una mejora respecto a las condiciones actuales, debido a la implementación de un sistema de captación y tratamiento del biogás. La captura del metano y otros gases generados en el relleno sanitario reduce su liberación directa a la atmósfera, disminuyendo la concentración de gases de efecto invernadero y compuestos potencialmente nocivos.

El biogás será conducido a una planta de limpieza y purificación, donde se separarán sus componentes para obtener biometano comprimido y BioCO$_2$ líquido, lo que contribuye a un manejo controlado de

Versión Publica

emisiones. Aunque durante la operación podrían generarse emisiones menores asociadas a equipos, estas se consideran controladas y de baja magnitud en comparación con las emisiones evitadas. En este sentido, el proyecto representa una mejora en la calidad del aire y en la gestión de emisiones atmosféricas.

Agua: En el escenario con proyecto, las condiciones del recurso hídrico no presentan modificaciones significativas en términos de disponibilidad, ya que el proyecto no contempla la extracción intensiva de agua, manteniéndose el contexto regional de déficit asociado al acuífero Valle de Tequisquiapan.

En cuanto a la calidad del agua, el proyecto incorpora condiciones que favorecen un mejor control ambiental del sitio, al reducir la generación y dispersión de subproductos asociados al biogás. Si bien el proyecto no incide directamente en la generación de lixiviados, su implementación contribuye de manera indirecta a una gestión más integral del relleno sanitario. Asimismo, se prevé el manejo adecuado de líquidos residuales generados en los procesos, evitando su infiltración y posible afectación a los mantos freáticos. En este sentido, no se anticipan impactos negativos relevantes sobre la calidad del agua.

Suelo: El desarrollo del proyecto se realizará sobre superficies previamente intervenidas dentro del relleno sanitario, por lo que no implica la remoción de suelo natural ni la ocupación de nuevas áreas. En este sentido, las condiciones edafológicas del sitio, caracterizadas por la presencia de Vertisoles y Leptosoles, se mantendrán sin cambios significativos en su distribución. En términos de calidad, podrían presentarse alteraciones puntuales asociadas a la instalación de infraestructura y operación de equipos; sin embargo, estas se consideran de carácter localizado y controlado, sin modificar de manera sustancial las condiciones actuales del suelo, ya previamente impactado. Asimismo, el proyecto contempla medidas de manejo para evitar derrames o contaminación. Respecto al relieve, no se prevén modificaciones geomorfológicas relevantes, ya que las obras se adaptarán a la configuración existente del terreno, manteniendo las condiciones actuales de pendiente y estabilidad.

Flora: La implementación del proyecto no implica la remoción de vegetación natural, ya que el área específica se encuentra clasificada como "Desprovista de Vegetación". En este sentido, la flora presente en el Sistema Ambiental circundante no se verá afectada de manera directa. Las comunidades vegetales identificadas en el entorno, compuestas por agricultura, vegetación secundaria arbustiva y especies ruderales, se mantendrán sin cambios relevantes en su estructura y composición. Las actividades del proyecto no generan fragmentación adicional del hábitat ni alteraciones en la cobertura vegetal existente. En consecuencia, el escenario con proyecto mantiene las condiciones actuales de la flora, sin impactos significativos, y sin afectación a especies en alguna categoría de riesgo, ya que no se identificaron elementos protegidos conforme a la normatividad aplicable.

Fauna: La fauna presente en el área, caracterizada por especies generalistas y adaptadas a ambientes perturbados, no experimentará cambios significativos derivados de la implementación del proyecto. Las actividades se desarrollarán en un entorno ya modificado, por lo que no se generan nuevas presiones relevantes sobre el hábitat. Durante la fase de construcción podrían presentarse perturbaciones temporales asociadas al ruido y presencia de maquinaria; sin embargo, estas serán de carácter puntual y reversible. En la etapa de operación, el proyecto no genera condiciones que favorezcan la alteración de las comunidades faunísticas existentes. Asimismo, no se identificaron especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT, por lo que no se prevén afectaciones a fauna con

Versión Publica

estatus de protección. En este sentido, la composición y dinámica de la fauna se mantendrán similares a las condiciones actuales.

Cambio Climático: El escenario con proyecto representa un beneficio significativo en términos de mitigación del cambio climático, al incorporar un sistema de captura y aprovechamiento de biogás que evita la liberación directa de metano a la atmósfera. Este gas, al ser transformado en biometano para su uso como biocombustible, reduce su impacto como gas de efecto invernadero. Adicionalmente, la valorización del biogás contribuye a la sustitución de combustibles fósiles, lo que implica una reducción indirecta de emisiones. En este contexto, el proyecto favorece una mejora en el balance de emisiones del sitio, aportando beneficios ambientales a escala local y global.

7.3 Descripción y análisis del escenario considerando las medidas de prevención, mitigación, compensación y/o corrección

Este escenario integra el efecto de la aplicación oportuna y adecuada de las medidas de prevención, mitigación, compensación y corrección propuestas, así como aquellas dirigidas a controlar los impactos residuales que persistan tras la ejecución del proyecto. Se considera que estas medidas permitirán no solo la contención de los efectos negativos, sino también la generación de beneficios ambientales puntuales en el Sistema Ambiental (SA).

Sistema Ambiental: Con la implementación del proyecto, el Sistema Ambiental del área de estudio mantendrá su carácter de entorno previamente impactado; no obstante, incorporará mejoras sustanciales en la gestión de los subproductos derivados de la disposición de residuos sólidos urbanos. La captura, conducción y aprovechamiento del biogás permitirá transformar un proceso pasivo de emisión en un sistema controlado, reduciendo presiones ambientales existentes.

Adicionalmente, la aplicación de medidas de prevención y mitigación particularmente aquellas relacionadas con el control de emisiones, manejo de residuos, orden operativo y seguridad, permitirá minimizar los impactos asociados a las diferentes etapas del proyecto. Estas acciones favorecen una mejora integral del SA, sin modificar su estructura general, pero sí optimizando su funcionamiento y reduciendo riesgos.

Aire: En el escenario con proyecto, la calidad del aire presenta una mejora significativa respecto a la condición sin proyecto, derivado de la implementación del sistema de captación y tratamiento de biogás. La reducción de emisiones de metano constituye un beneficio ambiental directo, al evitar su liberación a la atmósfera.

Durante las etapas del proyecto, las emisiones de partículas y gases serán controladas mediante la aplicación de medidas específicas, tales como la limpieza rutinaria de áreas de tránsito, mantenimiento de superficies, humectación puntual para evitar la dispersión de polvo, así como la cobertura de materiales finos. Asimismo, se implementará el mantenimiento periódico de equipos y el seguimiento de programas de control de emisiones.

En cuanto al ruido, se dará cumplimiento a la normatividad aplicable mediante el uso de equipo de protección personal y la regulación de tiempos de exposición, reduciendo posibles afectaciones. En conjunto, estas medidas permiten que los impactos residuales sobre la calidad del aire sean de baja magnitud, localizados y controlados.

Versión Publica

Agua: En el escenario con proyecto, las condiciones del recurso hídrico no presentan cambios relevantes en términos de disponibilidad, manteniéndose el contexto de déficit del acuífero Valle de Tequisquiapan, dado que el proyecto no implica un uso intensivo de agua.

En cuanto a la calidad, se implementarán medidas para el manejo adecuado de aguas residuales, incluyendo su conducción a sistemas controlados como fosas sépticas con mantenimiento periódico. Asimismo, el manejo adecuado de residuos y la operación controlada del sistema contribuirán a reducir riesgos de contaminación indirecta al subsuelo.

Si bien el proyecto no incide directamente en la generación de lixiviados del relleno sanitario, la mejora en la gestión general del sitio y el control de procesos asociados contribuyen a disminuir riesgos potenciales. En este sentido, los impactos sobre el agua se consideran mínimos, controlados y sin afectaciones significativas.

Suelo: El proyecto se desarrollará sobre superficies previamente intervenidas, por lo que no implica la ocupación de suelo natural adicional. Las condiciones edafológicas dominadas por Vertisoles y Leptosoles, se mantendrán en términos generales, sin alteraciones significativas en su distribución. En cuanto a la calidad del suelo, se implementarán medidas orientadas al manejo adecuado de residuos, incluyendo su segregación, almacenamiento temporal en contenedores identificados y disposición final mediante prestadores autorizados. Estas acciones reducen el riesgo de contaminación y contribuyen a mantener las condiciones actuales del suelo. Respecto al relieve, no se prevén modificaciones geomorfológicas relevantes, ya que las actividades se adaptan a la configuración existente. En conjunto, las medidas aplicadas permiten que los impactos sobre el suelo sean puntuales, de baja magnitud y controlados.

Flora: La implementación del proyecto no implica la remoción de vegetación natural, debido a que el área específica se encuentra desprovista de cobertura vegetal. No obstante, se aplicarán medidas de manejo orientadas a evitar afectaciones indirectas sobre la vegetación circundante, tales como el control de áreas operativas y el mantenimiento de condiciones de orden y limpieza. Asimismo, se contempla el deshierbe mecánico puntual en zonas operativas, evitando la propagación de vegetación no deseada en áreas funcionales del proyecto. En este contexto, los impactos sobre la flora se consideran mínimos, localizados y sin efectos significativos sobre la estructura o composición de la vegetación del sistema ambiental.

Fauna: La fauna presente en el área, caracterizada por especies generalistas, no se verá afectada de manera significativa por la implementación del proyecto. No obstante, se aplicarán medidas preventivas orientadas a evitar interacciones negativas, tales como el mantenimiento de áreas limpias, el resguardo adecuado de residuos en contenedores cerrados y el control de accesos. Adicionalmente, se establece que cualquier avistamiento de fauna será reportado a las instancias correspondientes, evitando la manipulación directa por parte del personal. Estas medidas reducen la probabilidad de atracción de fauna al sitio y previenen alteraciones en su comportamiento. En consecuencia, los impactos sobre la fauna son considerados bajos, temporales y controlados, sin afectar la dinámica general de las especies presentes.

Cambio Climático: El proyecto genera un beneficio ambiental significativo en materia de cambio climático, al incorporar un sistema de captura y aprovechamiento de biogás que reduce la emisión de metano a la atmósfera. Este gas, al ser transformado en biometano, puede ser utilizado como

Versión Pública

biocombustible, contribuyendo a la sustitución de fuentes fósiles. La reducción de emisiones, aunada a la implementación de medidas de control y mantenimiento de equipos, permite mejorar el balance de gases de efecto invernadero del sitio. En este sentido, el proyecto contribuye de manera positiva a la mitigación del cambio climático, representando una mejora respecto al escenario sin proyecto.

7.4 Pronostico ambiental

A partir del análisis de los escenarios sin proyecto, con proyecto y con aplicación de medidas de gestión ambiental, se concluye que los impactos generados por el proyecto serán mayoritariamente moderados y temporales, con tendencia a reducirse conforme avanza la estabilización del sitio y la consolidación de las medidas de mitigación.

Sistema Ambiental

El Sistema Ambiental presenta condiciones de perturbación derivadas de la operación del relleno sanitario y de las actividades agropecuarias y de asentamientos humanos en el entorno. Bajo este contexto, el desarrollo del proyecto no modifica de manera sustancial la estructura del sistema, sino que introduce mejoras en la gestión ambiental al incorporar un esquema de aprovechamiento del biogás generado por la descomposición de residuos.

En el mediano y largo plazo, se prevé una disminución en las emisiones difusas de metano y otros gases asociados, lo que contribuye a una mejora en la calidad del aire y a la reducción de presiones ambientales existentes. Asimismo, la aplicación de medidas de prevención, mitigación y control permitirá mantener los impactos en niveles bajos y localizados, evitando su acumulación o expansión en el sistema. En este sentido, el SA tenderá a mantener sus condiciones generales de perturbación, pero con una mejora en su funcionamiento ambiental, particularmente en términos de control de emisiones y manejo de residuos, sin generar desequilibrios ecológicos ni afectaciones significativas a los componentes naturales.

Área de Influencia

En el área de influencia, el pronóstico ambiental indica que no se generarán cambios relevantes en la dinámica de los componentes naturales, ya que las actividades del proyecto se desarrollan en un sitio previamente intervenido y no implican la ocupación de nuevas superficies ni la modificación de ecosistemas conservados. Los posibles impactos asociados, como emisiones, ruido o manejo de residuos, serán de carácter puntual y controlado mediante la implementación de medidas específicas, lo que limita su alcance espacial y temporal. En consecuencia, no se prevén efectos acumulativos o sinérgicos que alteren la calidad ambiental del entorno.

Adicionalmente, el proyecto puede generar beneficios indirectos en el AI, particularmente en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mejora en la gestión del relleno sanitario y aportaciones al desarrollo socioeconómico local, como la generación de empleo y fortalecimiento de la percepción social del proyecto.

Área del Proyecto

En el Área del Proyecto, el pronóstico ambiental indica que las condiciones actuales se mantendrán en términos de uso de suelo y características físicas, al tratarse de un sitio previamente impactado y desprovisto de vegetación. No se prevén afectaciones a flora o fauna relevantes, ni modificaciones en

Versión Publica

el relieve o estructura del suelo más allá de impactos puntuales asociados a la instalación y operación de infraestructura.

Las medidas de manejo ambiental permitirán controlar adecuadamente los impactos derivados de las actividades del proyecto, particularmente en lo relacionado con emisiones, residuos y seguridad operativa. Asimismo, la implementación del sistema de captura y aprovechamiento de biogás representa una mejora significativa en la gestión del sitio, al reducir la liberación de gases y optimizar el manejo de subproductos. En este contexto, los impactos residuales en el AP serán de baja magnitud, localizados y reversibles en su mayoría, sin comprometer la funcionalidad del sistema ambiental.

Análisis integral

El análisis comparativo entre el escenario sin proyecto y el escenario con proyecto permite identificar diferencias relevantes en términos de desempeño ambiental. En el escenario sin proyecto, se mantiene la liberación no controlada de biogás, la continuidad de condiciones de impacto y la ausencia de beneficios ambientales adicionales, lo que implica la permanencia de presiones sobre el sistema ambiental.

Por el contrario, el escenario con proyecto incorpora un enfoque de aprovechamiento y control, transformando un pasivo ambiental en un recurso útil, lo que se traduce en una reducción significativa de emisiones de gases de efecto invernadero y en una mejora en la gestión del relleno sanitario. Asimismo, la implementación de medidas de prevención, mitigación y compensación permite controlar los impactos asociados al proyecto, manteniéndolos en niveles bajos y aceptables.

En términos generales, el escenario con proyecto resulta ambientalmente más favorable, ya que no solo evita impactos adicionales significativos, sino que contribuye a la mejora de condiciones existentes, sin afectar de manera negativa a los componentes del sistema ambiental ni a la dinámica del área de influencia.

7.5 Evaluación de alternativas

El análisis de alternativas para el desarrollo del proyecto se centró en la viabilidad técnica, ambiental y operativa del aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario de Ezequiel Montes. En este sentido, la selección del sitio no responde a una decisión arbitraria, sino a la necesidad inherente de ubicar la infraestructura en el punto donde se genera el insumo principal del proyecto, es decir, el biogás derivado de la descomposición anaerobia de los residuos sólidos urbanos.

Desde el punto de vista técnico, el biogás no es un recurso transportable a largas distancias sin incurrir en altos costos, pérdidas de eficiencia y riesgos operativos, por lo que su aprovechamiento requiere necesariamente su captación en el sitio de generación. Bajo esta premisa, la instalación de la planta en el relleno sanitario representa la alternativa más eficiente, al permitir la conducción directa del biogás desde las celdas de disposición hasta los sistemas de tratamiento, optimizando el proceso y reduciendo pérdidas.

En términos ambientales, la ubicación del proyecto dentro de un sitio previamente impactado evita la ocupación de nuevas áreas, la remoción de vegetación natural y la alteración de ecosistemas conservados. Asimismo, permite atender un pasivo ambiental existente (la emisión difusa de biogás) mediante su captura y aprovechamiento, generando beneficios en la reducción de gases de efecto

Versión Publica

invernadero. La evaluación de otras alternativas de localización implicaría la intervención de áreas con menor grado de perturbación, lo que resultaría en impactos ambientales mayores e innecesarios.

Desde la perspectiva operativa y económica, la implementación del proyecto en un sitio distinto al relleno sanitario implicaría la necesidad de infraestructura adicional para la conducción del biogás, incrementando costos, complejidad técnica y riesgos asociados a fugas o fallas en el sistema. Además, se reduciría la eficiencia del proceso al no aprovechar de manera directa el recurso en su punto de origen.

Por lo anterior, no se evaluaron alternativas de localización fuera del relleno sanitario, ya que estas no resultan viables ni desde el punto de vista técnico, ni ambiental, ni económico. En consecuencia, el sitio seleccionado se considera la opción más adecuada para el desarrollo del proyecto, al garantizar el aprovechamiento eficiente del biogás, minimizar impactos ambientales y optimizar la operación del sistema.

7.6 Conclusiones

El análisis integral del proyecto demuestra que su implementación es ambientalmente viable, al desarrollarse en un sitio previamente impactado y no generar afectaciones significativas a los componentes del sistema ambiental. A diferencia del escenario sin proyecto, donde persisten emisiones no controladas de biogás, la ejecución del proyecto permite su captura y aprovechamiento, reduciendo emisiones y mejorando la gestión ambiental del relleno sanitario.

El pronóstico ambiental indica que los impactos asociados serán de baja magnitud, localizados y controlables mediante la aplicación de medidas de prevención y mitigación. Asimismo, la evaluación de alternativas confirma que el sitio seleccionado es el más adecuado, al permitir el aprovechamiento directo del biogás en su punto de generación, evitando impactos adicionales y optimizando la eficiencia del sistema.

En conjunto, el proyecto contribuye a la reducción de emisiones, al uso eficiente de recursos y a una mejor gestión ambiental, sin comprometer el equilibrio del entorno, por lo que se considera compatible con los principios de sustentabilidad.

Versión Publica

8 Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan los resultados de la Manifestación de Impacto Ambiental

8.1 Formatos de presentación

Se presentará ante SEMARNAT DGIRA de forma física y digital los documentos que a continuación se enlistan.

- ✓ Manifiesto de Impacto Ambiental modalidad Particular (MIA-P) impreso por ambos lados y 4 memorias USB con toda la información que complementa el estudio, mismo que será incluido en formato PDF.
- ✓ Versión pública de la MIA-P en versión digital.
- ✓ Resumen de la MIA-P en formato PDF e impreso.
- ✓ Documentos de ingreso a trámite, enlistados en la carta de presentación

En lo que respecta a la documentación legal, en el ANEXO I se presenta la siguiente documentación legal:

- ✓ Acta Constitutiva de la Empresa
- ✓ Copia Certificada del Poder del Representante Legal
- ✓ Identificación del Representante Legal
- ✓ Registro Federal de Contribuyentes del Promovente

8.1.1 Cartografía

ANEXO VII. Cartografía, la cual se presentará tanto impresa como en una memoria USB.

8.1.2 Fotografía

ANEXO III. Reporte fotográfico, la cual se presentará tanto impresa como en una memoria USB.

8.1.3 Videos

No se incluyeron videos

8.1.4 Memorias

Se incluye Memoria técnico-descriptiva (MTD) en el ANEXO II. Información del Proyecto, la cual se presentará tanto impresa como en una memoria USB.

8.1.5 Programa de Manejo

Incluidos en el ANEXO VI. Programa de Vigilancia Ambiental, el cual se presentará tanto impresa como en una memoria USB.

Versión Publica

8.2 Bibliografía consultada en la elaboración de la MIA

Capitulo 3. Vinculación con los instrumentos de planeación y ordenamiento jurídicos aplicables

Diario Oficial de la Federación (18 de marzo de 2025). Ley De Biocombustibles. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LBio.pdf

Diario Oficial de la Federación (18 de marzo de 2025). Ley De Planeación Y Transición Energética. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPTE.pdf

Diario Oficial de la Federación (Ultima reforma publicada DOF 19-01-2026). Ley General Del Equilibrio Ecológico Y La Protección Al Ambiente. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf

Diario Oficial de la Federación (Última reforma publicada DOF 16-07-2025). Ley General De Vida Silvestre. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGVS.pdf

Diario Oficial de la Federación (Última reforma publicada DOF 19-01-2026). Ley General Para La Prevención Y Gestión Integral De Los Residuos. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf

Diario Oficial de la Federación (Viernes 3 de octubre de 2025). Reglamento de la Ley de Biocombustibles. https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/Leyes/(DOF%202025-10-03%20Presidencia)%20Reglamento%20de%20la%20Ley%20de%20Biocombustibles.pdf

Diario Oficial de la Federación (Viernes 3 de octubre de 2025). Reglamento de la Ley de Planeación y Transición Energética. https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/Leyes/(DOF%202025-10-03%20Presidencia)%20Reglamento%20de%20la%20Ley%20de%20Planeación%20y%20Transición%20Energética.pdf

Diario Oficial de la Federación (Última reforma publicada DOF 31-10-2014). Reglamento De La Ley General Para La Prevención Y Gestión Integral De Los Residuos. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGPGIR_311014.pdf

Gobierno de México (28 de febrero de 2025). Plan Nacional de Desarrollo 2025 – 2030. https://www.gob.mx/presidencia/documentos/plan-nacional-de-desarrollo-2025-2030-391771

Diario Oficial de la Federación (22/12/2025). PROGRAMA Sectorial de Energía 2025-2030. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1058017/302_PROGRAMA_SECTORIAL_DE_ENERG_A_2025-2030.pdf

Diario Oficial de la Federación (23 de junio de 2023). NORMA Oficial Mexicana. NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm

Diario Oficial de la Federación (Viernes 1 de febrero de 2013). NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y

Versión Publica

procedimientos para la formulación de los planes de manejo. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6633/1/nom-161-semarnat-2011.pdf

Diario Oficial de la Federación (09/12/2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010. Condiciones de seguridad- Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. https://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5170410&fecha=09/12/2010#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación (Martes 2 de febrero de 1999). NORMA Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. https://asinom.stps.gob.mx/upload/noms/Nom-005.pdf

Diario Oficial de la Federación (Martes 25 de noviembre de 2008). NORMA Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008. Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. https://asinom.stps.gob.mx/upload/noms/Nom-026.pdf

Diario Oficial de la Federación (Martes 30 de diciembre de 2008) NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. https://asinom.stps.gob.mx/upload/noms/Nom-025.pdf

Diario Oficial de la Federación (11/03/2022). NOM-001-SEMARNAT-2021: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación (20 de octubre del 2004). NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf

Diario Oficial de la Federación (23 de junio del 2006). NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1291/1/nom-052-semarnat-2005.pdf

Diario Oficial de la Federación (Viernes 1 de febrero de 2013). NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6633/1/nom-161-semarnat-2011.pdf

Diario Oficial de la Federación (17/02/2003). NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección ambiental – Salud ambiental – Residuos peligrosos biológico-infecciosos – Clasificación y especificaciones de manejo. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/680173/NOM-087-ECOL-SSA1-2002.pdf

Versión Pública

Diario Oficial de la Federación (23 de abril de 2003). Norma Oficial Mexicana Nom-081-Semarnat-1994 Que Establece Los Límites Máximos Permisibles De Emisión De Ruido De Las Fuentes Fijas Y Su Método De Medición. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/081.pdf

Diario Oficial de la Federación (Miércoles 17 de abril de 2002). NORMA Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. https://asinom.stps.gob.mx/upload/noms/Nom-011.pdf

Diario Oficial de la Federación (15/08/2003) NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0

Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Querétaro (5 de septiembre de 2022). Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Querétaro, (POEREQ). https://queretaro.gob.mx/web/sedesu/ordenamiento-ecologico

Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Querétaro (23 de febrero de 2018). Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Colón, Querétaro. https://www.colon.gob.mx/include/pdf/informacion%20publica/articulo%2067/VI/Program

Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Querétaro (23 de febrero de 2018). Periódico a%20de%20Ordenamiento%20Ecologico%20Local%20del%20Municipio%20de%20Colon %20Version%20Abrebiada.pdf

Oficial del Gobierno del Estado de Querétaro (3 de febrero de 2003). Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Colón. https://colon.gob.mx/inicio/planes-desarrollo-urbano/

Oficial del Gobierno del Estado de Querétaro (s.f.). Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Colón. Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Colón. https://colon.gob.mx/inicio/planes-desarrollo-urbano/

Capítulo 4. Descripción del Sistema Ambiental y señalamiento de la problemática ambiental detectada en el área de influencia del proyecto

Biodiversidad mexicana. (s.f.). Biodiversidad mexicana. Gobierno de México. https://www.biodiversidad.gob.mx/

Gobierno del Estado de Querétaro. (s.f.). Cultura y tradiciones municipales. Recuperado de https://www.queretaro.gob.mx

Gobierno Municipal de Colón. (s.f.). Colón, Tierra de Sarapes. Recuperado de https://colon360.mx

Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). (s.f.). Catálogo de zonas arqueológicas y monumentos históricos. Recuperado de https://www.inah.gob.mx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado de https://www.inegi.org.mx

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). (s.f.). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México: Colón, Querétaro. Recuperado de https://www.inafed.gob.mx

Versión Publica

Secretaría de Economía. (s. f.). *Querétaro: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública*. Data México. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/queretaro-qt

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (s. f.). Subsistema de información para el ordenamiento ecológico (SIORE).

https://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/uga_oe2/

Secretaría de Turismo del Estado de Querétaro. (s.f.). Entre hilos y tradición: talleres artesanales de lana en Colón. Recuperado de https://queretaro.travel

Secretaría de Turismo del Estado de Querétaro. (s.f.). Gastronomía queretana. Recuperado de https://queretaro.travel

Secretaría de Turismo del Estado de Querétaro. (s.f.). Fiestas y tradiciones. Recuperado de https://queretaro.travel

Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. (s.f.). SNIB–CONABIO. https://geoportal.conabio.gob.mx/

Versión Publica

8.3 Glosario de términos

- **Alcance:** (Scoping): fase siguiente al Sondeo (screening) en la que se determina la proyección y contenido del análisis de evaluación ambiental a partir de las características de la actividad, la información relevante del medio receptor, consultas a expertos e implicados y la identificación preliminar de los efectos previsibles.
- **Anaerobio:** La palabra anaerobio significa "sin oxígeno". Las bacterias anaerobias son microorganismos que son capaces de sobrevivir y multiplicarse en ambientes que no tienen oxígeno. Además de las bacterias, algunos protozoarios y gusanos también son anaerobios. Anaerobio (anaeróbico) es lo contrario de aerobio. Aprovechamiento de residuos: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materia secundados o de energía.
- **Área de influencia:** espacio físico asociado al alcance máximo de los impactos directos e indirectos ocasionados por el proyecto en el sistema ambiental original y que alterará algún elemento ambiental.
- **Bacterias**: Las bacterias microorganismos unicelulares procariontes; es decir, que carece de núcleo y organelos rodeados por membrana. Su material genético, conformado por ADN, ARN se dispone en forma de cromosoma circular y bicatenario. Bajo un microscopio, se ven como pelotas, varas o espirales.
  Son vitales para los ecosistemas del planeta. Se encuentran en todos los hábitats terrestres y acuáticos. Algunas especies pueden vivir en condiciones realmente extremas de temperatura y presión. El cuerpo humano está lleno de bacterias, de hecho, se estima que contiene más bacterias que células humanas. La mayoría de las bacterias que se encuentran en el organismo no producen ningún daño, al contrario, algunas son beneficiosas. Una cantidad relativamente pequeña de especies son las que causan enfermedades. Las bacterias también son muy importantes para la biotecnología.
  Las bacterias son imprescindibles para el reciclaje de los elementos, pues muchos pasos importantes de los ciclos biogeoquímicos dependen de estas. En la industria, las bacterias son importantes en procesos tales como el tratamiento de aguas residuales, en la producción de mantequilla, queso, vinagre, yogur, etc., y en la fabricación de medicamentos y de otros productos químicos.
- **Biogás:** Es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás contiene metano superior al 45% es inflamable. El biogás tiene propiedades específicas como se indican en la siguiente imagen:
- **Biomasa:** La materia renovable de origen orgánico cuyo contenido energético es susceptible de ser aprovechado como Biocombustible. Se excluye a la materia de origen orgánico contenida en yacimientos y formaciones geológicas fosilizadas conocida como hidrocarburos
- **Biometano:** Es un gas combustible renovable y sostenible que se obtiene mediante la purificación del biogás, elevando su contenido de metano a concentraciones superiores al 90%, y a menudo superando el 95% o incluso el 99%.
- **BioCO$_2$:** es el dióxido de carbono de origen biogénico que se separa del biogás durante el proceso de upgrading. Es la fracción de CO_2 que fue eliminada para purificar el metano.
- **Celda de Operación:** Una celda en un relleno sanitario es un espacio unitario compartimento dentro del sitio de disposición final donde se depositan y confinan los residuos sólidos. Funciona como una unidad de almacenamiento sellada y controlada, diseñada para contener

Versión Publica

la basura de manera segura y minimizar su impacto ambiental, dentro de la cual ocurrirá un proceso de descomposición que generará biogás entre otros.

- **Digestión aeróbica:** Consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular.
- **Digestión anaeróbica:** Es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g. H2 O2). En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico.
- **Entorno:** es el área de influencia de un proyecto, plan o programa.
- **Emisión:** Sustancia en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo y subsuelo:
- **Escenario:** descripción integral de una situación en el futuro como consecuencia del pasado y el presente, usualmente como varias alternativas: posibles o probables; es un insumo a la planeación a largo plazo para el diseño de estrategias viables. Su propósito es anticipar el cambio antes de que éste se vuelva abrumador e inmanejable.
- **Evaluación ambiental:** predicción, identificación, caracterización y valoración de los impactos ambientales aunado con el diseño de medidas de prevención, mitigación y compensación.
- **Evaluación ambiental estratégica:** es el proceso sistemático mediante el cual se consideran los impactos ambientales de políticas, planes y programas y cuyos resultados apoyan la toma de decisiones en los niveles iniciales con el objeto de alcanzar un desarrollo sustentable.
- **Fermentación:** Es un proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, cuyo producto final es un compuesto orgánico. Es propio del metabolismo de muchos microrganismos y según los productos finales, existen diversos tipos de fermentación.
- **Indicador**: la palabra indicador viene del verbo latín indicare, que significa mostrar, anunciar, estimar o asignar un precio. Los indicadores son parámetros (por ejemplo, una medida o propiedad observada), o algunos valores derivados de los parámetros (por ejemplo, modelos), que proporcionan información sobre el estado actual de los ecosistemas, así 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.
- **Indicador de impacto ambiental**: expresión cuantificable 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, evaluado 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.
- **Lixiviados:** Los lixiviados son líquidos que se forman cuando el agua, proveniente de la lluvia o de la humedad inherente de los residuos, se filtra a través de la masa de basura depositada en un relleno sanitario, disolviendo y arrastrando contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Versión Pública

- **Medidas correctivas:** el conjunto de medidas ya sean de prevención, control, mitigación, compensación o restauración.
- **Medidas de mitigación:** conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para atenuar los impactos y restablecer o compensar las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación que se causare con la realización de un proyecto en cualquiera de sus etapas.
- **Medidas de compensación:** conjunto de acciones para contrarrestar el daño causado por un impacto al ecosistema. Por lo general los 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.
- **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:** sinónimo de ecosistema y compuesto por elementos (estructura) y su funcionamiento (interacciones).
- **Metano**: Es un hidrocarburo saturado de cadena más corta que existe. Su fórmula química es CH4, en la que los átomos de hidrogeno están unidos a un átomo de carbono a través de enlaces covalentes. Es una sustancia incolora y no polar, que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias, y se caracteriza por su baja solubilidad en fase liquida y elevada persistencia en la atmosfera.
- **Módulo de Almacenamiento Transportable (MAT):** Conjunto de recipientes cilíndricos sujetos a presión para contener Gas Natural o Biometano Comprimido, soportados en posición horizontal o vertical por una estructura y que están interconectados para que funcionen como unidad, la cual puede ser estacionaria, es decir, mantenerse fija al semirremolque durante la carga o descarga de Gas Comprimido, o desmontable para trasladarse del semirremolque a una plataforma fija para su carga o descarga.
- **MRU:** Sistema (fijo o portátil) para análisis de la composición del biogás, con mediciones de; CH4, CO_2, H_2S, O_2 y N_2. Permitiéndonos dar seguimiento a la pureza del gas en diversos puntos del proceso.
- **Oxidación:** reacción química donde un elemento pierde electrones, y por lo tanto aumenta su estado de oxidación.
- **Pozo:** Se refiere a una estructura vertical perforada dentro de las celdas de residuos, diseñada específicamente para capturar y extraer el biogás generado por la descomposición de la materia orgánica.
- **Proceso de Absorción:** Es un método para eliminar el sulfuro de hidrógeno (H_2S) del biogás crudo, con el fin de proteger equipos, reducir la corrosión y mejorar la calidad del gas. El H_2S es un gas corrosivo y tóxico que debe ser eliminado antes de que el biogás se utilice en motores de cogeneración, calderas o se purifique a biometano
- **Proceso de Adsorción:** El proceso de Adsorción para la separación del Biometano y el BioCO2 utiliza la diferencia en la afinidad y el tamaño molecular entre el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2) para purificar el biogás crudo. El objetivo principal es producir biometano de alta pureza apto para su inyección en la red de gas natural o para su uso como combustible vehicular.
- **Proceso de Desorción:** La desorción es un fenómeno físico o químico en el cual una sustancia (molécula, átomo o ion) se libera de una superficie o de una fase líquida. Es el proceso inverso de la adsorción o la absorción. Es la liberación de una sustancia que previamente se había adherido o disuelto en otro medio.

Versión Publica

- **PH:** Concentración de iones Hidrógeno expresada como logaritmo negativo que representa la acidez o alcalinidad del agua
- **Programa de vigilancia ambiental:** consiste en la programación de las medidas, acciones y políticas a seguir para: prevenir, eliminar, reducir y/o compensar los impactos adversos que el proyecto o el conjunto de proyectos pueden provocar en cada fase de su desarrollo.
- **Siloxanos:** Los siloxanos son un grupo de compuestos organosilícicos (que contienen silicio, oxígeno y grupos orgánicos, típicamente metilo o etilo) que se presentan en diversas formas, tanto lineales (designadas como "Ln") como cíclicas (designadas como "Dn"), donde "n" indica el número de átomos de silicio.
- **Sistema ambiental:** Espacio finito definido con base en las interacciones entre los medios abiótico, biótico y socioeconómico de la región donde se pretende establecer el proyecto, generalmente formado por un conjunto de ecosistemas y dentro del cual se aplicará un análisis de los problemas, restricciones y potencialidades ambientales y de aprovechamiento.
- **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 el ambiente. La sustentabilidad es una visión de futuro y el Desarrollo Sustentable la estrategia para alcanzarla; implica comprender los límites y características de la naturaleza, leyes naturales que los gobiernan; la sustentabilidad se basa en las condiciones ecológicas de sustentabilidad natural de los ecosistemas.
- **Zeolita:** Es un mineral aluminosilicato microporoso. Su característica distintiva es su estructura cristalina tridimensional de "jaula" o "panal", que forma cavidades y canales interconectados de tamaño molecular. Esta estructura única le confiere propiedades físicas y químicas excepcionales que la hacen muy valiosa en diversas aplicaciones industriales y ambientales. El tamaño uniforme de sus poros actúa como un tamiz molecular, por lo que solo permite el paso de moléculas más pequeñas que sus poros, mientras que retiene las más grandes. Esta propiedad permite separar y purificar mezclas de gases y líquidos.

Versión Publica



1. Acceso a la estación "Procesamiento de biogás para producción de biometano comprimido y BioCO2 liquido en el Relleno Sanitario Ezequiel Montes (CEMIRQ)"



2. Área del Proyecto



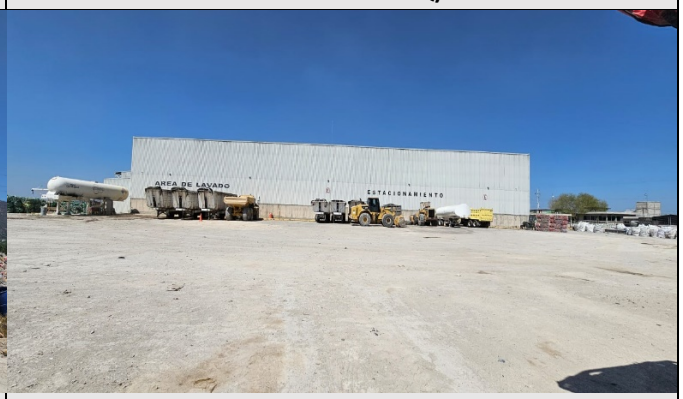
3. Colindancia en la zona sur (Instalaciones del CEMIRQ)



4. Colindancia en la zona este (Instalaciones del CEMIRQ)



5. Colindancia zona norte (Instalaciones del CEMIRQ)



6. Colindancia zona oeste (Instalaciones del CEMIRQ)

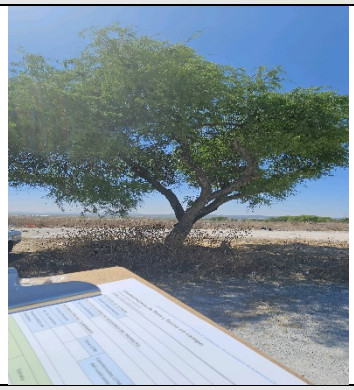
Información propiedad de G2H, su contenido es confidencial y de uso exclusivo de la persona y/o grupo a quien va dirigido. Su copia, uso y/o distribución sin la autorización por escrito de G2H, está prohibida. COPIA CONTROLADA. Una vez impreso, se convierte en COPIA NO CONTROLADA.

	
7. Lengua de gallo (*Mirabilis multiflora*) Cuadrante de muestreo 1	**8. Arúgula del Mediterráneo (*Eruca vesicaria)* Cuadrante de muestreo 1**
	
9. Azomiate (*Barkleyanthus salicifolius*) Cuadrante de muestreo 1	**10. Tomate de cáscara (*Physalis philadelphica*) Cuadrante de muestreo 1**
	
11. Acelguilla euroasiática (*Reseda luteola*) Cuadrante de muestreo 1	**12. Cardo ruso (*Salsola kali subsp. Tragus*) Cuadrante de muestreo 1**

Información propiedad de G2H, su contenido es confidencial y de uso exclusivo de la persona y/o grupo a quien va dirigido. Su copia, uso y/o distribución sin la autorización por escrito de G2H, está prohibida. COPIA CONTROLADA. Una vez impreso, se convierte en COPIA NO CONTROLADA.

	
13. Cardo santo (*Argemone ochroleuca)* Cuadrante de muestreo 1	**14. Azomiate (Barkleyanthus salicifolius) Cuadrante de muestreo 2**
	
15. Arúgula del Mediterráneo (*Eruca vesicaria)* Cuadrante de muestreo 2	***16.* Arúgula del Mediterráneo *(Eruca vesicaria)* Cuadrante de muestreo 2**
	
17. Hierba del negro (*Sphaeralcea angustifolia)* Cuadrante de muestreo 3	**18. Lengua de gallo (*Mirabilis laevis*) Cuadrante de muestreo 3**

Información propiedad de G2H, su contenido es confidencial y de uso exclusivo de la persona y/o grupo a quien va dirigido. Su copia, uso y/o distribución sin la autorización por escrito de G2H, está prohibida. COPIA CONTROLADA. Una vez impreso, se convierte en COPIA NO CONTROLADA.

	
19. Cardo ruso (*Salsola kali subsp. Tragus)* Cuadrante de muestreo 3	**20. Barbas de indio (*Chloris virgata) Cuadrante de muestreo 3***
	
21. Limoncillo (*Thymophylla pentachaeta)* Cuadrante de muestreo 3	**22. Hierba de la vaca (*Brickellia califórnica) Cuadrante de muestreo 3***
	
23. Huizache (*Neltuma laevigata*) Muestreo Lineal 1	**24. Nopal de castilla (*Opuntia ficus-indica*) Muestreo Lineal 2**

Información propiedad de G2H, su contenido es confidencial y de uso exclusivo de la persona y/o grupo a quien va dirigido. Su copia, uso y/o distribución sin la autorización por escrito de G2H, está prohibida. COPIA CONTROLADA. Una vez impreso, se convierte en COPIA NO CONTROLADA.



25. Acacia (*Acacia farnesiana*) Muestreo Lineal 2



26. Pirul (*Schinus molle*) Muestreo Lineal 3



27. Tabaquillo sudamericano (*Nicotina glauca*) Muestreo Lineal 3



28. Azomiate (*Barkleyanthus salicifolius*) Muestreo Lineal 3



29. Huizache (*Neltuma laevigata*) Punto de Muestreo 1

Información propiedad de G2H, su contenido es confidencial y de uso exclusivo de la persona y/o grupo a quien va dirigido. Su copia, uso y/o distribución sin la autorización por escrito de G2H, está prohibida. COPIA CONTROLADA. Una vez impreso, se convierte en COPIA NO CONTROLADA.