



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.

DIRECCION GENERAL DE
IMPACTO Y RIESGO
AMBIENTAL

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

MODALIDAD REGIONAL

PROYECTO DE REHABILITACIÓN, SANEAMIENTO Y REMEDIACIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ANDOCUTÍN DEL LAGO DE CUITZEO

*Remoción controlada y tratamiento de materiales lacustres para la recuperación
funcional del sistema lacustre*

PROMOVENTE
TECNOLOGÍA DE FITORREMEDIACIÓN, S.A. DE C.V.

Área del Proyecto (199.1237 ha), Lago de Cuitzeo
Michoacán, México
Referencia geográfica: Andocutín, Acámbaro, Guanajuato
Septiembre de 2026



Tabla de contenido

RESUMEN EJECUTIVO	2
Justificación ambiental y social	3
Escala de población y beneficiarios potenciales	3
Síntesis técnica del proyecto	4
I. DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE Y DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	11
I.1 Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental	11
I.1.1 Nombre del proyecto	11
I.1.2 Promovente	11
I.1.3 Constitución y representación legal	11
I.1.4 Responsable del estudio de impacto ambiental	11
I.1.5 Ubicación general y superficie	11
I.1.6 Duración y alcance	12
I.2 Descripción de las obras o actividades	12
I.2.1 Naturaleza y objetivos del proyecto	12
I.2.2 Configuración espacial y secuencia por celdas	13
I.2.3 Método de remoción	13
I.2.4 Transporte de material	14
I.2.5 Recepción, almacenamiento transitorio y homogeneización	14
I.2.6 Tratamiento del material lacustre	14
I.2.7 Circuito de agua y tecnología de regeneración	14
I.2.8 Balance conceptual de masa	15
I.2.9 Balance conceptual de agua	16
I.2.10 Retorno distribuido de agua tratada	16
I.2.11 Condición final de las celdas	16
I.2.12 Planta externa y servicios auxiliares	16
I.2.13 Sustancias y seguridad	17
I.2.14 Emisiones, residuos y corrientes de salida	17
I.2.15 Inversión	18
I.2.16 Programa general de ejecución	18
II. VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN SOBRE USO DEL SUELO	19
II.1 Competencia federal y modalidad regional	19
II.2 Vinculación con política pública de rehabilitación de Cuitzeo	19
II.3 Marco hídrico	19
II.4 Calidad del agua y retorno al cuerpo receptor	19
II.5 Residuos y sustancias	19
II.6 Biodiversidad y especies en riesgo	20
II.7 Figuras territoriales y de conservación	20
II.8 Patrimonio cultural	20
II.9 Matriz de vinculación jurídica	20
III. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA	21

III.1 Delimitación espacial de análisis.....	21
III.2 Clima y estacionalidad	22
III.3 Hidrología y balance regional.....	22
III.4 Morfometría y vulnerabilidad a la desecación	22
III.5 Problemas derivados del lago seco	23
III.6 Calidad del agua	23
III.7 Sedimentación, resuspensión y materiales lacustres	24
III.8 Geología y geomorfología regional	24
III.9 Humedal y vegetación.....	24
III.10 Avifauna y valor hemisférico	25
III.11 Fauna acuática y pesca	26
III.12 Anfibios, reptiles y mamíferos	26
III.13 Medio socioeconómico y usos del lago.....	26
III.14 Pesca y seguridad alimentaria	26
III.15 Salud pública y calidad de vida.....	26
III.16 Patrimonio y paisaje cultural	26
III.17 Tendencias de deterioro y diagnóstico integrado.....	27
IV. IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN, COMPENSACIÓN Y RESTAURACIÓN	28
IV.1 Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales del sistema ambiental regional.....	28
IV.1.1 Enfoque de evaluación y escenario de referencia.....	28
IV.1.2 Metodología de identificación y valoración	28
IV.1.3 Cadenas causa–efecto de la rehabilitación	29
IV.1.4 Impactos adversos de ejecución y operación.....	29
IV.1.5 Impactos positivos directos de rehabilitación	30
IV.1.6 Impactos positivos condicionados y co-beneficios	30
IV.1.7 Impactos acumulativos y sinérgicos	31
IV.1.8 Impactos residuales adversos	31
IV.1.9 Resultados de rehabilitación y verificación.....	32
IV.1.10 Balance ambiental integrado	32
IV.2 Medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración.....	33
IV.2.1 Jerarquía de manejo ambiental	33
IV.2.2 Programa de Vigilancia Ambiental.....	33
IV.2.3 Control de alcance, profundidad y morfología	33
IV.2.4 Hidrología, turbidez y calidad de agua	34
IV.2.5 Biodiversidad y avifauna	34
IV.2.6 Recuperación pesquera y hábitat	34
IV.2.7 Sustancias, combustibles y contingencias	34
IV.2.8 Materiales y corrientes de salida	34
IV.2.9 Gestión social	34
IV.2.10 Patrimonio.....	35
IV.2.11 Manejo adaptativo	35
IV.2.12 Criterios de paro	35
IV.2.13 Indicadores de desempeño ambiental y de rehabilitación.....	35

IV.3 Pronósticos ambientales regionales y evaluación de alternativas.....	35
IV.3.1 Escenario sin proyecto	35
IV.3.2 Escenario con proyecto sin medidas	36
IV.3.3 Escenario con proyecto y manejo ambiental	36
IV.3.4 Alternativas	36
IV.3.5 Pronóstico a largo plazo	37
IV.3.6 Contribución esperada a personas y actividades productivas.....	37
IV.4 Instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan los resultados	37
IV.4.1 Sistema de información geográfica	37
IV.4.2 Fuentes de gabinete y jerarquía de evidencia.....	37
IV.4.3 Evaluación de impactos	38
IV.4.4 Balances	38
IV.4.5 Programa de Vigilancia Ambiental.....	38
IV.4.6 Limitaciones de interpretación	38
IV.4.7 Síntesis de suficiencia técnica.....	38
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES.....	39
ANEXO A. MATRIZ INTEGRAL DE IMPACTOS	41
ANEXO B. PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL — MEDIDAS OPERATIVAS	43
ANEXO C. BASE HIDROLÓGICA, DESECACIÓN, TOLVANERAS Y SALUD PÚBLICA	47
C.1 Parámetros hidrológicos regionales	47
C.2 Variabilidad reciente del espejo de agua.....	47
C.3 Problemas documentados asociados a la desecación.....	48
C.4 Salud pública y valoración económica de la degradación.....	48
C.5 Congruencia con acciones públicas de rehabilitación	49
ANEXO D. BIODIVERSIDAD, AVIFAUNA Y SENSIBILIDAD ECOLÓGICA.....	50
D.1 Importancia avifaunística	50
D.2 Especies clave y categorías de riesgo como base de precaución	50
D.3 Vegetación y hábitats	51
D.4 Fauna no aviar	51
D.5 Mecanismo de recuperación ecológica	52
ANEXO E. MEDIO SOCIOECONÓMICO, PESCA, PATRIMONIO Y POBLACIÓN RELACIONADA.....	53
E.1 Demografía de referencia	53
E.2 Usos productivos y culturales del lago.....	53
E.3 Mecanismos de beneficio social potencial.....	54
E.4 Riesgos sociales y sinergias.....	54
E.5 Patrimonio cultural	55
ANEXO F. VINCULACIÓN TERRITORIAL Y FIGURAS DE CONSERVACIÓN CONFIRMADAS.....	56
F.1 Criterios de vinculación	56
ANEXO G. CONSISTENCIA DE MASA, CAPACIDAD Y AGUA.....	57
G.1 Capacidad y volumen	57
G.2 Sensibilidad de densidad.....	57
G.3 Agua de proceso y retorno	57
G.4 Balance de control operativo	58
ANEXO H. CRITERIOS DE PARO, RESPUESTA ADAPTATIVA Y BITÁCORAS AMBIENTALES	59
H.1 Criterios de paro y respuesta.....	59

H.2 Bitácoras de cumplimiento.....	59
H.3 Indicadores de desempeño ambiental y de rehabilitación.....	60
ANEXO I. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y DOCUMENTAL DE	
SEDIMENTOS	61
I.1 Marco fisiográfico y evolución de la cuenca.....	61
I.2 Relleno sedimentario y variación vertical	62
I.3 Evidencia ambiental regional y antecedente técnico local de sedimentos	62
I.4 Implicaciones geomorfológicas de la intervención	63
I.5 Criterio ambiental para los materiales removidos	63
ANEXO J. MATRIZ AMPLIADA DE CUMPLIMIENTO NORMATIVO Y RUTA REGULATORIA	64
J.1 Procedimiento de evaluación de impacto ambiental	64
J.2 Agua, obras en vaso y retorno de agua tratada	64
J.3 Residuos, sustancias y seguridad	65
J.4 Biodiversidad, humedal y patrimonio.....	65
J.5 Secuencia regulatoria de implementación.....	65
ANEXO K. MEMORIA TÉCNICA DE ANTECEDENTES DE CAMPO Y CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR	
ANDOCUTÍN	67
K.1 Campañas técnicas incorporadas.....	67
K.2 Relación espacial con el polígono actual.....	67
K.3 Registro resumido de los 24 sondeos de Andocutín (2022).....	69
K.4 Perforación, registro y cadena de manejo de núcleos.....	69
K.5 Métodos analíticos y caracterización de materiales	69
K.6 Verificación, QA/QC y límites de interpretación.....	70
K.7 Uso operativo durante la rehabilitación.....	70
SÍNTESIS DE INTEGRACIÓN TÉCNICA	71

Correspondencia entre la estructura de presentación 2026 y el contenido del artículo 13 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental

La siguiente tabla presenta la correspondencia de navegación entre los cuatro capítulos requeridos por el numeral 15.2 del FF-SEMARNAT-141 y los ocho contenidos sustantivos establecidos para la modalidad regional en el artículo 13 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

Fracción art. 13	Contenido reglamentario	Ubicación en esta MIA
I	Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental.	Capítulo I, apartado I.1
II	Descripción de las obras o actividades y, en su caso, de los programas o planes parciales de desarrollo.	Capítulo I, apartado I.2
III	Vinculación con los instrumentos de planeación y ordenamientos jurídicos aplicables.	Capítulo II
IV	Descripción del sistema ambiental regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región.	Capítulo III
V	Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales del sistema ambiental regional.	Capítulo IV, apartado IV.1
VI	Estrategias para la prevención y mitigación de impactos ambientales, acumulativos y residuales del sistema ambiental regional.	Capítulo IV, apartado IV.2
VII	Pronósticos ambientales regionales y, en su caso, evaluación de alternativas.	Capítulo IV, apartado IV.3
VIII	Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan los resultados de la manifestación de impacto ambiental.	Capítulo IV, apartado IV.4

Fuente normativa: FF-SEMARNAT-141, numeral 15.2 (DOF, 1 de abril de 2026), y artículo 13 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

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

I.1 Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental

I.1.1 Nombre del proyecto

Proyecto de Rehabilitación, Saneamiento y Remediación Ambiental del Sector Andocutín del Lago de Cuitzeo. Subtítulo técnico: Remoción controlada y tratamiento de materiales lacustres para la recuperación funcional del sistema lacustre.

I.1.2 Promovente

Dato	Información
Razón social	Tecnología de Fitorremediación, S.A. de C.V.
[REDACTED]	[REDACTED]
Estatus fiscal	Activo; inicio de operaciones 23 de enero de 2020.
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

I.1.3 Constitución y representación legal

La sociedad fue constituida mediante Escritura Pública número 63,137, Tomo 246, Libro 4, de fecha 16 de enero de 2020, ante la fe del Lic. Felipe de Jesús Preciado Coronado, Notario Público número 43 de Guadalajara, Jalisco. La escritura establece un objeto social amplio en materia de saneamiento, tratamiento de agua, medio ambiente, desarrollo sustentable, ejecución de estudios y proyectos, así como la obtención de autorizaciones, concesiones, permisos o licencias necesarios para sus actividades.

El representante legal es José Ignacio Natera Ramírez, designado Administrador General Único con uso de la firma social y facultades de representación, administración y gestión ante autoridades federales, estatales y municipales, conforme al instrumento constitutivo.

I.1.4 Responsable del estudio de impacto ambiental

Concepto	Responsable
Responsable de la elaboración	Tecnología de Fitorremediación, S.A. de C.V.
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

I.1.5 Ubicación general y superficie

El Área del Proyecto se localiza en el sector oriental del Lago de Cuitzeo, dentro del estado de Michoacán. Andocutín, municipio de Acámbaro, Guanajuato, se utiliza únicamente como referencia geográfica cercana. La intervención acuática se circunscribe a un polígono de seis vértices con una superficie geométrica de 1,991,237.48 m², equivalente a 199.1237 ha, y un perímetro aproximado de 6.30

km.

Localización del Área del Proyecto y referencia geográfica de Andocutín

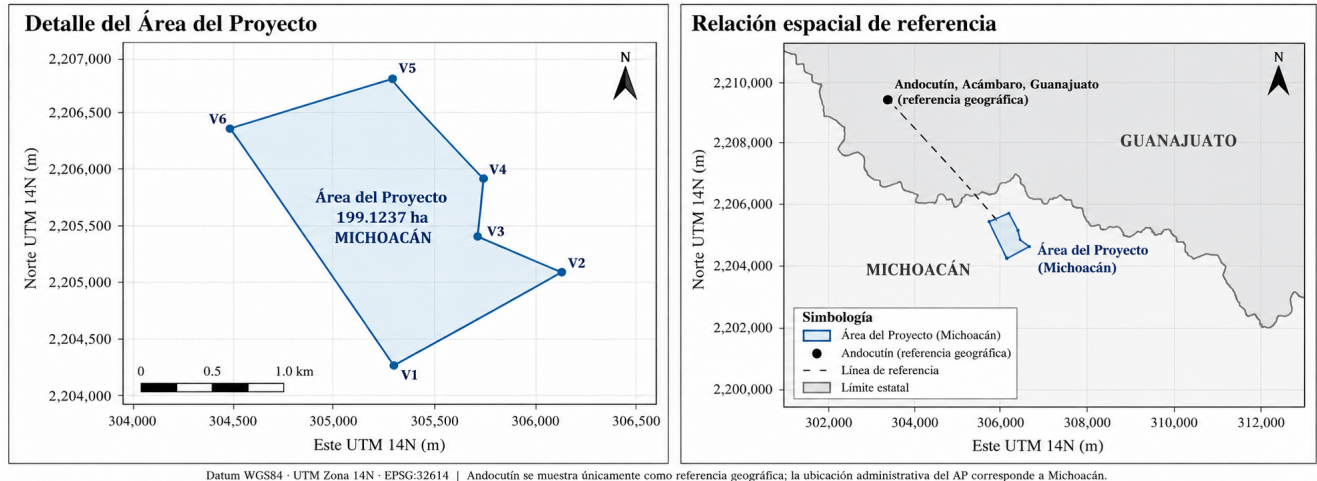


Figura I-1. Geometría del Área del Proyecto. Coordenadas WGS84; superficie aproximada de 199.12 ha.

Vértice	Latitud	Longitud	Este UTM 14N (m)	Norte UTM 14N (m)
V1	19.92561471	-100.85910886	305409.91	2204326.03
V2	19.93269634	-100.85211444	306150.85	2205101.91
V3	19.93560578	-100.85576202	305772.53	2205428.21
V4	19.93998403	-100.85542009	305813.68	2205912.50
V5	19.94777376	-100.85937373	305409.34	2206779.44
V6	19.94390958	-100.86838158	304461.61	2206362.13

I.1.6 Duración y alcance

La vida útil evaluada es de hasta 30 años. La totalidad del polígono constituye la superficie máxima susceptible de intervención durante ese horizonte; la ejecución será progresiva, por celdas o frentes, y la huella activa simultánea se mantendrá limitada. La planta de tratamiento estará fuera del vaso lacustre, en un predio privado del entorno inmediato, y se destinará exclusivamente al material proveniente del Área del Proyecto evaluada en esta MIA.

I.2 Descripción de las obras o actividades

I.2.1 Naturaleza y objetivos del proyecto

El proyecto es una intervención de rehabilitación ambiental del vaso lacustre. Su propósito es modificar de manera controlada la configuración física de un sector degradado para aumentar la capacidad local de almacenamiento de agua, reducir la exposición recurrente del fondo dentro de la zona intervenida, tratar el agua asociada a la operación y restituir condiciones de hábitat y uso productivo compatibles con el sistema lacustre. La intervención se diseña como complementaria a las acciones de cuenca necesarias para atender descargas, erosión, extracción de agua, cambio de uso del suelo y otras presiones externas.

Objetivo	Acción de proyecto	Resultado ambiental esperado	Verificación
Recuperar profundidad y capacidad local de almacenamiento	Remoción progresiva y variable de materiales lacustres por celdas	Mayor volumen físico disponible para retener agua dentro del sector intervenido	Levantamiento geométrico por celda, trazabilidad de profundidad y volumen.
Mantener agua dentro del sistema	Tratamiento, recirculación y retorno continuo del excedente tratado	Reducción de pérdidas operativas y restitución de agua tratada al mismo sector	Medición de caudal, balance hídrico y calidad previa al retorno.

Objetivo	Acción de proyecto	Resultado ambiental esperado	Verificación
Reducir exposición de superficies degradadas en las celdas rehabilitadas	Configuración final conectada y sin relleno posterior	Mayor permanencia local de agua cuando el régimen hidrológico lo permita	Seguimiento de hidroperiodo, espejo de agua y conectividad.
Favorecer recuperación ecológica	Mosaico de profundidades, transiciones y control de perturbación	Condiciones para hábitat acuático, peces y recolonización natural de aves	Monitoreo de fauna, vegetación, calidad de agua y uso de hábitat.
Generar co-beneficios sociales	Apoyo a programas oficiales de repoblamiento y recuperación de zonas acuáticas	Mejora potencial de condiciones para pesca y servicios ecosistémicos	Convenios/acciones con autoridades y seguimiento de indicadores sociales.

Para efectos de evaluación ambiental, los resultados señalados en la tabla anterior se reconocen como efectos positivos cuando existe una relación causal identificable entre la acción del proyecto, la función ambiental que se busca recuperar y un indicador susceptible de verificación. De manera paralela, las perturbaciones necesarias para ejecutar la intervención se mantienen como impactos adversos y se someten a medidas específicas de prevención, minimización, control y seguimiento.

1.2.2 Configuración espacial y secuencia por celdas

El Área del Proyecto no será excavada de forma simultánea. El polígono se dividirá operativamente en celdas o frentes cuya dimensión responderá a condiciones de acceso, presencia de agua, comportamiento del material, seguridad y sensibilidad ambiental. Cada frente contará con delimitación digital y física, registro georreferenciado de avances y control de profundidad. La apertura de una nueva celda estará condicionada al cierre operativo y ambiental de la anterior o a la disponibilidad de capacidad de control equivalente.

La profundidad efectiva será variable y se determinará para cada celda de acuerdo con las condiciones físicas del paquete lacustre, la respuesta hidráulica y el objetivo de rehabilitación. El valor de 20 m constituye un máximo localizado de diseño y no una profundidad uniforme. La envolvente geométrica de ~39.824 Mm³ resulta de multiplicar la superficie completa por 20 m y funciona como límite físico superior para evaluación de escenarios. El volumen efectivo de intervención se determinará progresivamente con base en la profundidad real, densidad, humedad, comportamiento hidráulico y condiciones ambientales de cada celda.

Como antecedente técnico de soporte, el sector Andocutín fue investigado mediante 24 sondeos verticales ejecutados en noviembre de 2022, con profundidades de 21.0 a 21.6 m, además de un sondeo previo de 63 m (CZ04) en el entorno inmediato. Esta información confirma localmente la existencia de un paquete sedimentario con espesores comparables o superiores al máximo localizado de diseño; sin embargo, la malla histórica no coincide por completo con el polígono actual. Los datos históricos se emplean como antecedente de factibilidad física y heterogeneidad del material; la profundidad efectiva y la condición de cada celda se confirmarán antes de iniciar la remoción.

1.2.3 Método de remoción

La remoción combinará excavación mecánica y dragado hidráulico/anfibio. Los frentes con material accesible y consistencia suficiente podrán trabajarse con excavadoras hidráulicas y equipo auxiliar; los frentes inundados o con material susceptible de transporte en pulpa podrán operarse mediante draga y tubería de impulsión. No se utilizarán explosivos. La selección del método por frente se documentará en la bitácora de operación y estará subordinada a la minimización de turbidez, perturbación de fauna, seguridad y control geométrico.

- ☐ Excavadoras hidráulicas y/o anfibias para remoción mecánica y perfilado de transiciones.
- ☐ Dragas hidráulicas o equipos anfibios para remoción y transporte de pulpa cuando las condiciones lo requieran.
- ☐ Bombas, tuberías temporales, mangueras y accesorios de impulsión.
- ☐ Equipos auxiliares de carga, nivelación y mantenimiento en áreas habilitadas.
- ☐ Instrumentación GNSS/GIS para control de huella y profundidad.
- ☐ Equipos de monitoreo de calidad de agua, turbidez, caudal y parámetros de operación.

I.2.4 Transporte de material

El material podrá salir del frente por dos rutas funcionales: conducción hidráulica mediante tubería hacia la instalación externa de tratamiento, o carga mecánica en vehículos. La selección dependerá del estado físico del material y de la ubicación del frente. Los corredores definitivos de conducción y acceso serán definidos en la ingeniería ejecutiva, procurando minimizar longitud, ocupación, polvo, ruido y riesgos de derrame. El transporte hidráulico empleará conducciones cerradas con inspección de integridad y mecanismos de aislamiento.

I.2.5 Recepción, almacenamiento transitorio y homogeneización

La planta contará con un área de recepción y control de entrada, seguida de un pulmón operativo de almacenamiento transitorio exclusivamente para homogeneización y continuidad de proceso. El inventario en esta etapa será inferior a un día de alimentación nominal, es decir, menor a 5,000 t en base seca. No se plantea almacenamiento prolongado de grandes volúmenes de material sin tratar.

I.2.6 Tratamiento del material lacustre

El tren de tratamiento del material se estructura en etapas de preparación, oxidación con ozono, intercambio iónico y separación sólido-líquido. La oxidación busca modificar condiciones superficiales y facilitar la separación de constituyentes presentes en la matriz cuando éstos requieran retiro. El intercambio iónico se empleará como etapa de separación selectiva. La caracterización operativa determinará por lote la necesidad y alcance de la separación de constituyentes presentes en el material.

El ozono se generará preferentemente in situ para evitar almacenamiento significativo del oxidante. La dosificación se controlará en función de la respuesta del proceso y de parámetros de calidad, evitando fijar en la evaluación ambiental eficiencias que no hayan sido verificadas para las condiciones específicas de Cuitzeo. Después de la separación, la fracción sólida será acondicionada con nitrato de amonio como fuente nutrimental, bajo manejo controlado y con inventarios operativos limitados.

El material sólido tratado será retirado definitivamente del lago y destinado a aprovechamiento externo, incluyendo proyectos públicos o gubernamentales cuando cumpla las especificaciones técnicas y ambientales del destino correspondiente. Su destino externo quedará sujeto a caracterización y al cumplimiento de las especificaciones técnicas, ambientales y regulatorias aplicables. El proceso podrá generar una corriente secundaria de sales derivada de la separación de constituyentes presentes; dicha corriente será deshidratada, contenida y manejada para aprovechamiento externo conforme a su caracterización.

I.2.7 Circuito de agua y tecnología de regeneración

El agua asociada a los frentes de intervención, incluida la que aflore o ingrese a las celdas durante la remoción, se incorporará al circuito de proceso. No se plantea la perforación de pozos específicos para abastecer la planta. La estrategia hídrica prioriza el uso del agua recuperada, su tratamiento y la recirculación interna; el excedente tratado se retornará de manera continua y controlada a las mismas ~200 ha mediante varios puntos distribuidos.

El tren de regeneración de agua incluye separación física inicial, tratamiento mediante plasma frío/plasmalísis, membranas de pulido y una etapa de nanoburbujas. La configuración exacta se ajustará al caudal y a la calidad de entrada, pero el principio operativo es constante: ninguna corriente retorna al lago sin verificación de calidad. Si una corriente sale de especificación, el retorno se suspende y el agua se recircula para retratamiento.

Esquema funcional del proyecto de rehabilitación y del circuito de agua

El agua es tratada por un tren independiente; únicamente agua tratada que cumpla los parámetros aplicables retorna al lago.

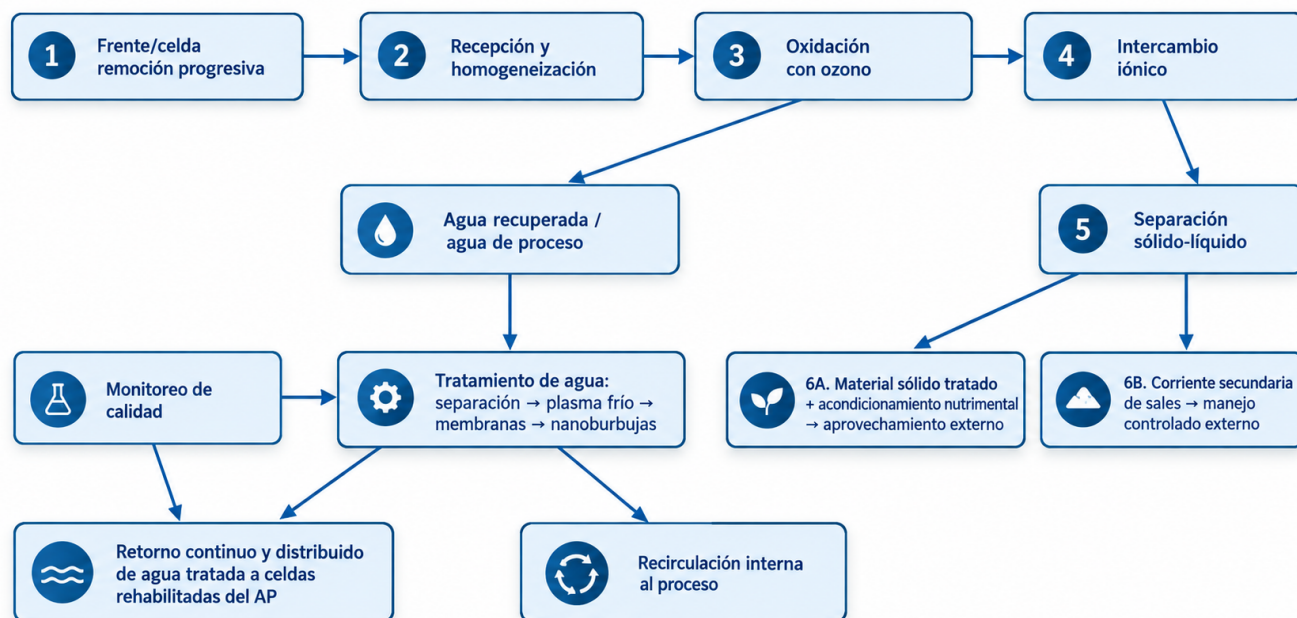
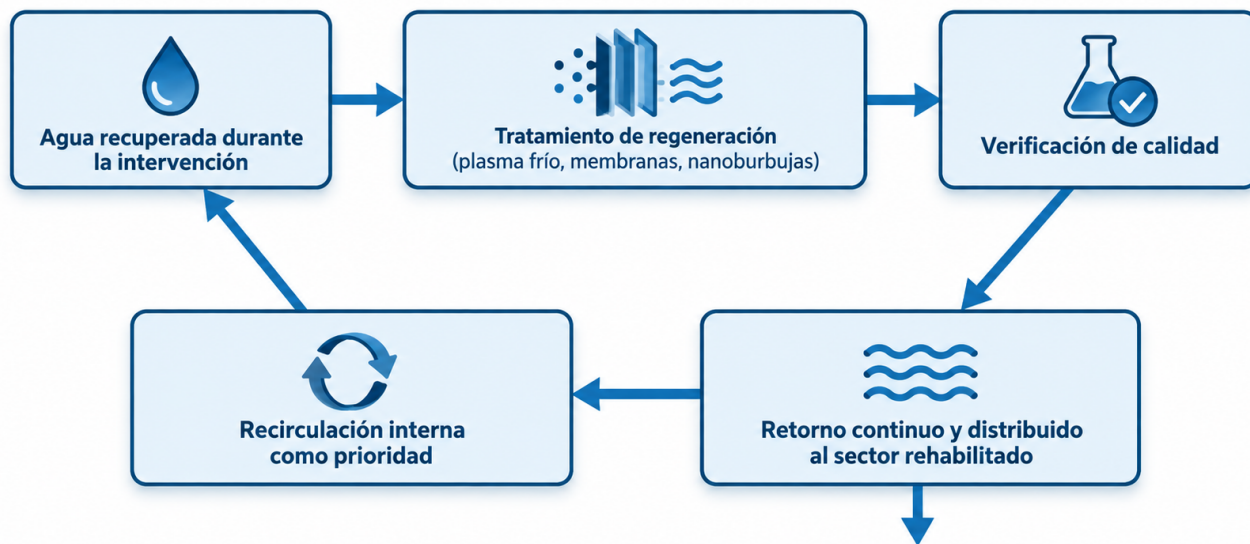


Figura I-2. Esquema funcional integrado de remoción, tratamiento del material y circuito de agua.

Circuito conceptual de agua del proyecto



El retorno al lago se suspende cuando la corriente no cumple los parámetros de control y el agua se recircula para retratamiento.

Figura I-3. Circuito conceptual de regeneración, recirculación y retorno de agua tratada.

I.2.8 Balance conceptual de masa

La capacidad nominal de tratamiento es de 5,000 t/d en base seca. Para fines de planeación se adopta una disponibilidad del 90%, equivalente a 328.5 días efectivos por año, aproximadamente 1.6425 Mt/año y 49.275 Mt durante 30 años. Estos valores representan capacidad de proceso; el volumen efectivo de intervención dependerá de densidad, humedad, profundidad real de cada celda y secuencia operativa.

Indicador	Diario / base	Anual	30 años	Interpretación
Material seco procesado	5,000 t/d	1.6425 Mt/año	49.275 Mt	Capacidad nominal con 90% de disponibilidad para proyección anual.
Volumen equivalente a 1.35 t/m ³	~3,704 m ³ /d	~1.217 Mm ³ /año	~36.5 Mm ³	Sensibilidad de gabinete; la densidad real puede variar.
Envolverte geométrica máxima	—	—	~39.824 Mm ³	Máximo geométrico si toda el área alcanzara 20 m; no es volumen programado.

I.2.9 Balance conceptual de agua

Como referencia de diseño se conserva una circulación bruta de 0.85 m³ de agua por tonelada seca procesada y un objetivo conceptual de recirculación de 95%. Bajo la capacidad nominal, la circulación bruta de referencia sería de 4,250 m³/d y la recirculación teórica de 4,037.5 m³/d. La diferencia aritmética de 212.5 m³/d se utiliza únicamente como sensibilidad de agua no recirculada bajo ese supuesto y no como consumo neto garantizado. En el diseño actual, el agua que aflore o ingrese a los frentes se incorpora al sistema; el balance operativo distinguirá agua captada, recirculación, humedad, pérdidas, almacenamiento y retorno continuo del excedente tratado al mismo sector del lago.

Concepto	Valor de referencia	Estatus ambiental
Circulación bruta de proceso	4,250 m ³ /d a 5,000 t/d	Base conceptual para dimensionamiento.
Recirculación	4,037.5 m ³ /d a 95%	Objetivo de diseño; su desempeño se verificará operacionalmente.
Fracción no recirculada teórica	212.5 m ³ /d	Sensibilidad aritmética bajo 95% de recirculación; el balance real incorpora agua asociada a los frentes y retorno tratado.
Retorno al lago	Continuo, distribuido y condicionado a calidad	Únicamente agua tratada conforme a parámetros y autorización aplicable; sin retorno de sólidos, lodos ni otras corrientes.

I.2.10 Retorno distribuido de agua tratada

La conducción de retorno se realizará mediante tubería cerrada desde la planta hasta el Área del Proyecto. El agua tratada se distribuirá de manera controlada dentro del AP, evitando concentrar el caudal en un único punto y favoreciendo la recuperación hidráulica progresiva de las celdas. La configuración definitiva del sistema de distribución se establecerá durante la ingeniería ejecutiva, con base en la geometría de cada frente, condiciones hidráulicas y criterios de control de erosión, resuspensión y estabilidad. El caudal retornado será medido y sujeto a verificación de calidad antes de su restitución al lago.

I.2.11 Condición final de las celdas

Las celdas no serán rellenadas con el material removido. Una vez concluida la intervención quedarán integradas al vaso lacustre, hidráulicamente conectadas entre sí y con el resto del sistema, con transiciones geométricas diseñadas para evitar depresiones aisladas. La configuración buscará mantener un mosaico de profundidades y zonas de transición que combine capacidad de almacenamiento con hábitats someros útiles para fauna acuática y aves playeras.

I.2.12 Planta externa y servicios auxiliares

La planta de tratamiento constituye un componente integral del proyecto y se instalará fuera del vaso lacustre, en un predio privado del entorno del proyecto. Su implantación se ha previsto bajo criterios técnicos, ambientales y operativos definidos, incluyendo proximidad funcional al Área del Proyecto, accesibilidad, compatibilidad de uso de suelo, disponibilidad de servicios, seguridad, minimización de

recorridos de transporte y conducción, y ausencia de interferencia con elementos ambientales, sociales o culturales sensibles.

La instalación concentrará las áreas de recepción y control de material, almacenamiento operativo temporal, tratamiento del material lacustre, regeneración y recirculación de agua, manejo de corrientes de salida, servicios auxiliares, control ambiental y despacho de materiales. El diseño contempla separación funcional de áreas, superficies de contención, drenajes segregados para agua pluvial limpia, aguas de proceso y contingencias, así como medidas para evitar escurrimientos no controlados hacia el lago.

La planta se ubicará fuera del vaso lacustre, en un predio privado jurídicamente habilitado. Su implantación y distribución interna se desarrollarán conforme a los criterios técnicos, ambientales, de accesibilidad, seguridad, servicios, contención y minimización de recorridos establecidos en esta MIA y a las autorizaciones aplicables.

I.2.13 Sustancias y seguridad

Las sustancias de mayor relevancia operativa consideradas en el diseño son el ozono, generado in situ, y el nitrato de amonio utilizado para acondicionamiento nutrimental. Desde la etapa de diseño, el proyecto adopta como criterio de seguridad la minimización de inventarios y el control de las cantidades máximas simultáneamente presentes en la instalación, de manera que se mantengan por debajo de las cantidades de reporte y umbrales aplicables a Actividades Altamente Riesgosas. Complementariamente, se implementarán medidas de segregación de sustancias incompatibles, contención, control de acceso, ventilación, instrumentación de seguridad y respuesta a contingencias.

El ozono será generado in situ y conforme a la demanda inmediata del proceso, mediante sistemas cerrados, sin almacenamiento significativo. La capacidad del sistema y sus condiciones de operación se establecerán de forma que la cantidad máxima de ozono presente simultáneamente permanezca por debajo de la cantidad de reporte aplicable. Su operación incorporará monitoreo de concentración ambiental, ventilación, sistemas de interbloqueo, paro automático y destrucción controlada del gas residual cuando corresponda.

El nitrato de amonio se manejará bajo un esquema de inventario operativo limitado, almacenamiento seco y ventilado, segregación respecto de combustibles, fuentes de calor y materiales incompatibles, control de acceso y disponibilidad de hojas de datos de seguridad. La concentración, presentación y cantidad máxima almacenada o manejada se definirán y controlarán como límites de diseño y operación, manteniéndose por debajo de los umbrales aplicables a Actividades Altamente Riesgosas. Cualquier modificación futura que implique incrementar dichos inventarios deberá ser evaluada previamente respecto de las disposiciones regulatorias aplicables.

I.2.14 Emisiones, residuos y corrientes de salida

Las emisiones atmosféricas principales estarán asociadas a equipos móviles, tránsito y manejo de material seco; se controlarán mediante mantenimiento preventivo, velocidad reducida, rutas definidas y humectación o cubrimiento cuando sea necesario. El ruido provendrá de maquinaria, bombas y equipos de planta, por lo que se aplicará control en fuente, mantenimiento y programación de actividades de mayor intensidad.

Los residuos ordinarios, aceites, filtros, absorbentes contaminados y cualquier material que resulte peligroso se segregarán y gestionarán de acuerdo con su clasificación. El material sólido tratado y la corriente secundaria de sales se clasificarán y manejarán conforme a su caracterización y al destino autorizado correspondiente. Ambas corrientes permanecerán fuera del lago.

I.2.15 Inversión

La inversión conceptual del proyecto se estima en un rango de US\$40 a 60 millones e incluye infraestructura y sistemas directamente asociados a la rehabilitación y al control ambiental, entre ellos remoción y dragado, conducción de material, tratamiento y recirculación de agua, monitoreo, contención, seguridad y seguimiento ambiental.

I.2.16 Programa general de ejecución

Fase	Actividades principales	Criterio ambiental
Preparación	Habilitación de planta externa, accesos, líneas temporales, instrumentación y delimitación de celdas.	Evitar ocupación innecesaria del vaso y minimizar desmonte/compactación en predio terrestre.
Operación progresiva	Remoción, transporte, tratamiento, recirculación y retorno de agua tratada.	Huella activa limitada, monitoreo continuo y criterios de paro.
Cierre de celda	Perfilado, retiro de equipos temporales, verificación hidráulica y seguimiento.	Integración al vaso, conectividad, estabilidad y ausencia de pasivos.
Recuperación ecológica	Seguimiento de hábitat, apoyo a programas de peces y recolonización natural.	Manejo adaptativo basado en respuesta biológica e hidráulica.
Cierre final	Desmantelamiento de instalaciones temporales y gestión de remanentes.	Las ~200 ha permanecen como parte del vaso rehabilitado; sin relleno posterior.

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

II.1 Competencia federal y modalidad regional

La evaluación corresponde a la autoridad federal por tratarse de obras y actividades dentro de un cuerpo de agua nacional y por la naturaleza de la intervención sobre el vaso lacustre. La modalidad Regional se adopta por la necesidad de evaluar efectos sobre un sistema hidrológico amplio, impactos acumulativos y sinérgicos, y la interacción del proyecto con procesos regionales de desecación, déficit hídrico, calidad de agua, biodiversidad y usos sociales. La presente MIA se organiza en los cuatro capítulos previstos en el numeral 15.2 del FF-SEMARNAT-141 vigente, integrando en ellos la información sustantiva requerida por el artículo 13 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

El trámite vigente en 2026 es SEMARNAT-04-003, Recepción, evaluación y resolución de la manifestación de impacto ambiental en su modalidad regional, fusionado mediante acuerdo publicado el 1 de abril de 2026. Además de la autorización en materia de impacto ambiental, la ejecución de cada componente atenderá los permisos, títulos, concesiones y autorizaciones que correspondan a las competencias de otras autoridades.

II.2 Vinculación con política pública de rehabilitación de Cuitzeo

El proyecto guarda congruencia temática con el Plan Emergente para la Rehabilitación del Lago de Cuitzeo impulsado por el Gobierno Federal. Dicho plan reconoce dos problemas fundamentales —déficit y contaminación del agua— y plantea recuperar volumen hídrico, sanear el lago, conservar ecosistemas y prevenir o revertir procesos como erosión, azolve y proliferación de vegetación acuática. La propuesta Andocutín constituye una intervención complementaria y compatible con los objetivos generales de rehabilitación y saneamiento del Plan Emergente, sujeta a la evaluación específica de sus impactos.

II.3 Marco hídrico

El régimen hídrico se vincula con la Ley General de Aguas expedida en diciembre de 2025 y con la Ley de Aguas Nacionales vigente. La gestión de agua, las obras dentro del vaso, el aprovechamiento de aguas nacionales, el uso u ocupación de bienes nacionales inherentes y el retorno de agua tratada requieren los títulos y actos administrativos que determine la Comisión Nacional del Agua. El proyecto solicitará las autorizaciones hídricas aplicables una vez obtenida la resolución ambiental, sin iniciar obras dentro del vaso antes de contar con las habilitaciones correspondientes.

La Ley de Aguas Nacionales establece que las concesiones para explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales pueden otorgarse por un plazo de cinco a treinta años, considerando el uso, beneficio social, inversión y condiciones de la fuente. El horizonte de 30 años de esta MIA constituye la vida útil máxima evaluada y no presupone la duración de cada título que emita la autoridad del agua.

II.4 Calidad del agua y retorno al cuerpo receptor

El retorno de agua tratada al Lago de Cuitzeo se sujetará a la autorización hídrica aplicable y a los parámetros de calidad que correspondan al cuerpo receptor. La NOM-001-SEMARNAT-2021 constituye el marco técnico nacional para límites permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales a cuerpos receptores propiedad de la Nación. El proyecto adopta un criterio más amplio de control: no se autoriza operacionalmente el retorno si la corriente no cumple la especificación ambiental y regulatoria definida para el punto de retorno.

II.5 Residuos y sustancias

Los residuos y corrientes generadas serán identificados, caracterizados y manejados conforme a la LGPGIR y a las NOM-052-SEMARNAT-2005, NOM-053-SEMARNAT-1993 y NOM-054-SEMARNAT-1993, cuando resulten aplicables. Las corrientes que, después de su caracterización, sean clasificadas como

residuos peligrosos serán segregadas y entregadas a gestores autorizados para su tratamiento, aprovechamiento o disposición final en instalaciones autorizadas. Las sustancias de proceso se manejarán bajo control de inventarios, compatibilidad, almacenamiento y medidas de seguridad.

II.6 Biodiversidad y especies en riesgo

La evaluación considera la NOM-059-SEMARNAT-2010 y su modificación de 2019 como referencia normativa vigente de trabajo a septiembre de 2026. El PROY-NOM-059-SEMARNAT-2025 se reconoce como proyecto normativo y no se aplica como norma definitiva. La proximidad de registros de especies sensibles, particularmente el chorlo nevado, obliga a aplicar medidas preventivas antes de abrir frentes, mantener zonas de exclusión cuando existan nidos o individuos reproductivos y adaptar el ritmo de operación a la respuesta biológica observada.

II.7 Figuras territoriales y de conservación

El Lago de Cuitzeo se encuentra reconocido por instrumentos de priorización y conservación que incrementan su sensibilidad ambiental: Humedal Lago de Cuitzeo de INEGI, Región Hidrológica Prioritaria 62, Área de Importancia para la Conservación de las Aves Cuitzeo, Región Terrestre Prioritaria Cerro Ancho–Lago de Cuitzeo y sitio de Importancia Regional de la WHSRN. Estas figuras constituyen criterios de sensibilidad ambiental que se incorporan al diseño, la prevención, el monitoreo y la evaluación acumulativa del proyecto, conforme a la naturaleza jurídica de cada instrumento.

II.8 Patrimonio cultural

La región conserva elementos de valor histórico y cultural asociados al paisaje lacustre, producción tradicional de sal y vías históricas. El catálogo de patrimonio identifica la Estación Andocutín, registro 110020040012. El proyecto aplicará un protocolo de hallazgos fortuitos: suspensión inmediata del frente, protección del sitio, prohibición de mover o limpiar materiales, notificación al INAH y reinicio únicamente conforme a las instrucciones de la autoridad competente.

II.9 Matriz de vinculación jurídica

Instrumento	Materia	Vinculación del proyecto
LGEEPA	Evaluación de impacto ambiental federal y prevención del daño.	Presentación de MIA Regional; aplicación de medidas y condicionantes.
Reglamento LGEEPA en materia de EIA	Contenido del artículo 13 y supuestos de modalidad regional.	Contenido del artículo 13 integrado en cuatro capítulos conforme al FF-SEMARNAT-141; evaluación acumulativa y residual.
Ley General de Aguas / Ley de Aguas Nacionales	Gestión sustentable, obras en vaso, uso de agua y bienes nacionales.	Tramitación ante CONAGUA posterior a resolución ambiental; control de extracción, obras y retorno.
NOM-001-SEMARNAT-2021	Límites permisibles en descargas a cuerpos receptores nacionales.	Monitoreo y cumplimiento en puntos de retorno de agua tratada conforme al permiso aplicable.
LGPGIR y NOM-052/053/054	Clasificación y gestión de residuos.	Caracterización por corriente, segregación, almacenamiento y gestores autorizados.
NOM-059-SEMARNAT-2010 + modificación 2019	Especies nativas en riesgo.	Prevención de afectación, verificación previa de frentes y manejo adaptativo.
Ley Federal sobre Monumentos y marco INAH	Protección de patrimonio arqueológico e histórico.	Protocolo de hallazgos fortuitos y coordinación institucional.

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

III.1 Delimitación espacial de análisis

El Sistema Ambiental Regional se delimita con base en la Cuenca Hidrológica Lago de Cuitzeo, unidad funcional endorreica cuyo receptor terminal es el propio lago. La superficie oficial utilizada es de 3,865.73 km². Como Área de Influencia Indirecta se adopta el Humedal Lago de Cuitzeo delimitado por INEGI, con 402.74 km². El AP cubre ~1.991 km², equivalente a aproximadamente 0.494% del humedal y 0.052% del SAR. La pequeña proporción superficial no se utiliza para minimizar impactos, ya que la intervención modifica directamente morfología y sedimentos del vaso.

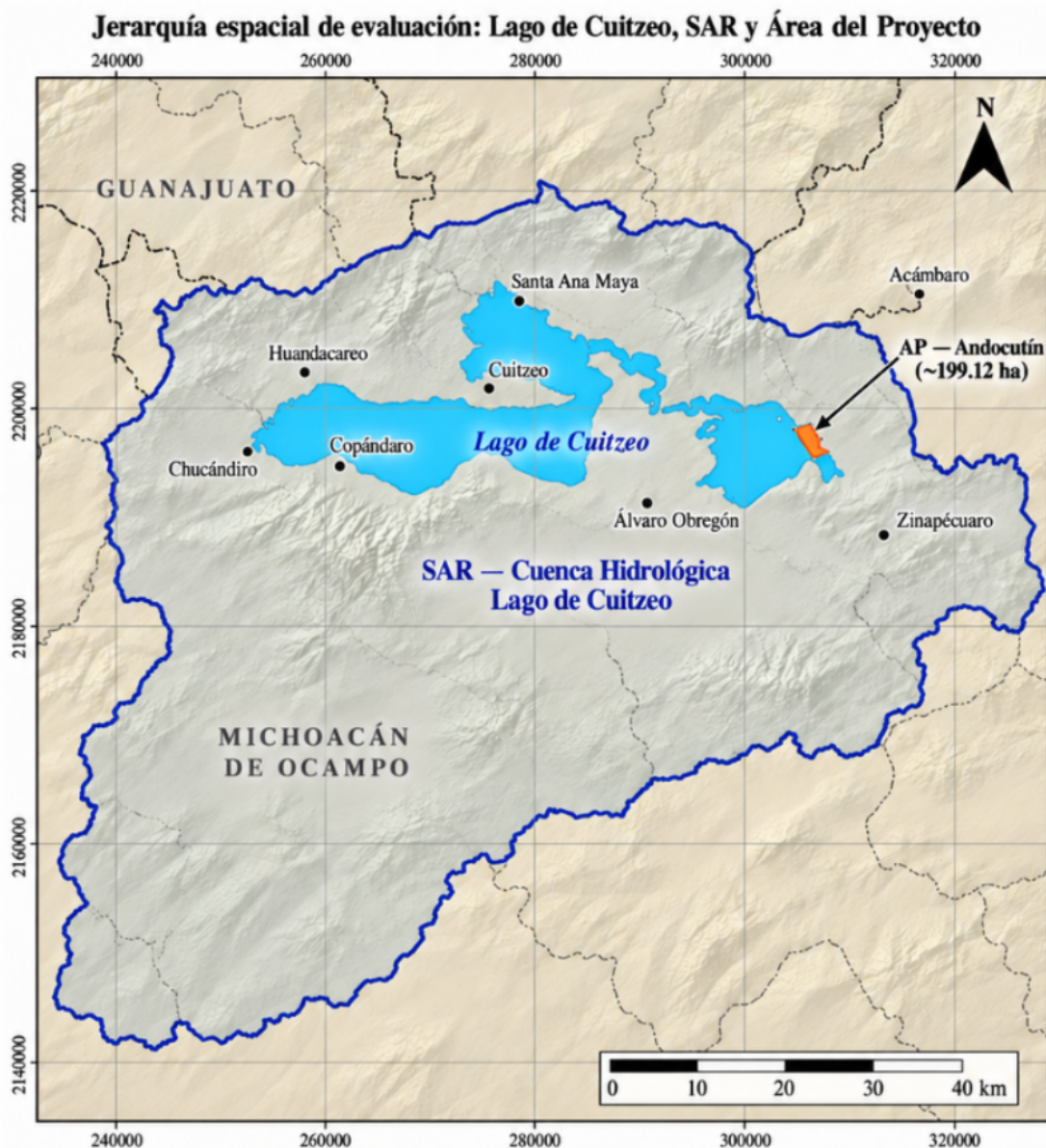


Figura III-1. Sistema Ambiental Regional y localización del Área del Proyecto dentro de la cuenca de Cuitzeo.

Unidad	Superficie	Función en la evaluación
SAR — Cuenca Hidrológica Lago de Cuitzeo	3,865.73 km ²	Procesos de cuenca, disponibilidad, usos, presiones acumulativas y tendencias regionales.
All — Humedal Lago de Cuitzeo	402.74 km ²	Dinámica del humedal, conectividad, biodiversidad acuática, pesca, aves y calidad ambiental.
AP — Andocutín	1.991 km ² / 199.12 ha	Huella física máxima de intervención dentro del vaso lacustre.

III.2 Clima y estacionalidad

La cuenca presenta temperatura media anual aproximada de 17.3 °C y precipitación media anual de 778.4 mm, con lluvias concentradas principalmente en julio, agosto y septiembre. En un lago somero, esta estacionalidad produce grandes variaciones de área inundada por cambios relativamente pequeños de nivel. La evaporación y la disponibilidad de agua condicionan la operación, la exposición del fondo y la distribución temporal del hábitat.

El análisis multitemporal 1994–2024 confirma una elevada variabilidad del espejo de agua, con episodios de contracción rápida de un año a otro. El sector occidental pierde agua con mayor rapidez durante sequías, mientras que el oriental presenta mayor persistencia relativa. Esta diferencia es relevante para Andocutín: la condición seca o húmeda observada en una fecha determinada no representa por sí sola el funcionamiento anual del sector.

III.3 Hidrología y balance regional

Cuitzeo es una cuenca cerrada. La información regulatoria utilizada en 2026 reporta, en Mm³/año, un escurrimiento natural medio anual de 488.540, retornos de 108.829, extracción superficial de 276.782, evaporación en embalses de 443.293 y variación de almacenamiento de -2.017. La disponibilidad media anual a la salida se reporta con déficit del orden de -120.702 Mm³. Estos valores son regionales y no equivalen a caudales medidos dentro del AP; sí muestran que cualquier proyecto debe priorizar recirculación, evitar consumos netos innecesarios y conservar agua en el sistema.

Parámetro regional	Valor	Interpretación
Precipitación media anual	778.4 mm/año	Régimen estacional con concentración de lluvias en verano.
Temperatura media anual	17.3 °C	Condiciona evaporación y balance energético del lago.
Escurrecimiento natural medio anual	488.540 Mm ³ /año	Entrada regional de referencia.
Retornos	108.829 Mm ³ /año	Componente regulatorio regional.
Extracción superficial	276.782 Mm ³ /año	Presión de uso sobre el sistema.
Evaporación en embalses	443.293 Mm ³ /año	Salida hidrológica de gran magnitud.
Variación de almacenamiento	-2.017 Mm ³ /año	Señal de presión en el balance de referencia.
Disponibilidad a la salida	~-120.702 Mm ³ /año	Condición oficial de déficit en la actualización consultada.

III.4 Morfometría y vulnerabilidad a la desecación

El diagnóstico científico de 2026 caracteriza Cuitzeo como un lago muy somero, con profundidad media aproximada de 1.6 m. Reconstrucciones históricas identifican profundidades del orden de 2.5 m en sectores del este y centro y fluctuaciones de nivel del orden de 2.2 m. Por su morfología, variaciones verticales reducidas pueden traducirse en cambios extensos del espejo de agua.

Torres et al. (2026) reportan que en temporadas áridas puede desecarse hasta aproximadamente 70% de la superficie del lago. La desecación expone sedimentos a erosión eólica, transforma hábitats acuáticos en superficies secas y agrava los efectos de temperatura, evaporación y pérdida de conectividad. El proyecto interviene precisamente un sector oriental donde la permanencia de agua tiende a ser mayor que en el oeste, por lo que su diseño debe conservar esa función y evitar crear barreras hidráulicas.

III.5 Problemas derivados del lago seco

La exposición recurrente del fondo produce una cadena de efectos ambientales, sanitarios y socioeconómicos. El Plan Emergente federal identifica la dispersión de contaminantes presentes en sedimentos mediante tolveneras durante la época de sequía. La Secretaría de Salud de Michoacán realiza operativos preventivos por exposición prolongada al polvo y reconoce riesgos como infecciones gastrointestinales, dermatitis, conjuntivitis y cefaleas. El problema no se limita a la molestia por polvo: representa una interacción entre pérdida de agua, exposición del sustrato, viento, calidad ambiental y salud de comunidades ribereñas.

El estudio de Trueba-Regalado et al. (2025) analiza el costo social y sanitario de la degradación del humedal. En la región de estudio se documentaron 97,026 infecciones respiratorias agudas y 11,288 infecciones intestinales durante el periodo analizado; estas cifras corresponden a registros sanitarios regionales y no pueden atribuirse de manera exclusiva a tolveneras. El estudio encontró que más de 90% de las personas encuestadas estaban preocupadas por la desaparición del humedal y su transformación en fuente de infección, y estimó una disposición a aceptar compensación promedio de US\$47.86 por hogar al mes por daños de salud asociados con la degradación, así como disposición a pagar por medidas de manejo ambiental.

Problema documentado	Efecto regional	Relación con la intervención
Desecación y pérdida de espejo de agua	Exposición de fondo, pérdida de hábitat, mayor vulnerabilidad térmica y eólica.	Aumento localizado de capacidad de almacenamiento y retorno de agua tratada a celdas rehabilitadas.
Tolveneras	Transporte de polvo; riesgos de salud reconocidos por autoridad sanitaria.	La mayor permanencia de agua en el sector intervenido puede reducir la superficie seca expuesta localmente cuando exista disponibilidad hídrica.
Azolvamiento	Pérdida de profundidad funcional y modificación de zonas acuáticas.	Remoción física progresiva con control de turbidez, morfología y conectividad.
Eutrofización y alta turbidez	Deterioro de calidad, oxigenación y hábitat.	Tratamiento de agua, manejo de sedimentos y retorno condicionado a calidad, de manera complementaria al control regional de cargas externas.
Declive pesquero	Pérdida de productividad, especies y medios de vida.	Recuperación de hábitat y apoyo a programas oficiales de repoblamiento, condicionados a calidad y autoridad competente.
Pérdida de biodiversidad	Reducción/fragmentación de hábitats acuáticos y playeros.	Mosaico de profundidades, zonas de transición, protección de fauna y manejo adaptativo.

III.6 Calidad del agua

La literatura reciente caracteriza a Cuitzeo como un sistema hipereutrófico, altamente turbio y con condiciones sapróbicas crecientes. La conductividad varía de manera importante entre sectores, evidenciando que el lago no funciona como una masa homogénea. Esta heterogeneidad obliga a interpretar la calidad de agua por condiciones de entrada y ubicación; no se extrapolan valores del oeste o centro directamente al AP.

La planta de regeneración de agua se plantea como una medida de control dentro de un sistema ya deteriorado. Su función es asegurar que el agua manipulada por el proyecto sea tratada y verificada antes de su retorno al sistema. El desempeño se medirá con indicadores de calidad y caudal, evitando utilizar porcentajes de remoción no demostrados para agua específica de Cuitzeo.

III.7 Sedimentación, resuspensión y materiales lacustres

El azolvamiento es un problema regional reconocido por la política pública y por estudios técnicos. Un antecedente de ingeniería estimó transporte de sedimentos de aproximadamente 1.296 Mt/año a escala de cuenca; se utiliza únicamente como orden de magnitud histórico y no como tasa actual de sedimentación en Andocutín. La condición somera y exposición al viento favorecen resuspensión frecuente, por lo que la remoción debe evaluarse no sólo como cambio de fondo, sino como fuente potencial de turbidez y redistribución de constituyentes.

La evidencia científica regional muestra un relleno sedimentario heterogéneo compuesto por arcillas, limos, lodos diatomáceos y materiales volcanoclásticos. Estudios de sedimentos superficiales en distintos sectores del lago muestran variabilidad espacial y la coexistencia de señales naturales y antropogénicas. Estos antecedentes confirman la variabilidad espacial de los sedimentos y la coexistencia de señales naturales y antropogénicas, sustentando un enfoque precautorio de manejo, segregación y seguimiento de calidad durante la intervención.

A esta evidencia regional se suma una caracterización técnica preexistente del sector Andocutín y su entorno inmediato. La campaña de noviembre de 2022 recuperó núcleo continuo en 24 sondeos verticales de aproximadamente 21 m, con muestreo sistemático del núcleo, registro geológico y análisis multielemento en laboratorio. La perforación acumuló 512.2 m y generó 255 muestras. Un sondeo previo de 2021 (CZ04), localizado en el mismo entorno, alcanzó 63 m y aporta referencia adicional sobre la continuidad del relleno a mayor profundidad.

La comparación espacial entre esos collares y el polígono vigente de 199.12 ha es relevante para interpretar correctamente su alcance: AN-01 se localiza dentro del AP actual; los demás sondeos de 2022 se ubican en el entorno inmediato, a distancias de hasta aproximadamente 0.81 km del límite, y CZ04 se ubica a ~0.12 km. En consecuencia, la MIA utiliza esta base para reforzar el modelo físico local y orientar el muestreo por celdas, sin extrapolar concentraciones ni condiciones ambientales de manera uniforme al AP.

III.8 Geología y geomorfología regional

La cuenca de Cuitzeo forma parte de la Faja Volcánica Transmexicana y se desarrolla en un contexto tectónico-extensional con relleno lacustre y aluvial. La estratigrafía regional incluye rocas volcánicas, depósitos volcanoclásticos, cenizas, arcillas, limos y materiales diatomáceos. Un núcleo científico de aproximadamente 27 m recuperado en otro sector del lago documenta heterogeneidad vertical a escala regional. En el entorno inmediato de Andocutín, los 24 sondeos de 2022 alcanzaron 21.0–21.6 m y el sondeo CZ04 alcanzó 63 m, aportando evidencia directa de un paquete sedimentario de espesor suficiente para evaluar el máximo localizado de intervención. La distribución de los collares respecto del AP actual sustenta la verificación por celda y la caracterización progresiva del material a lo largo del perfil de intervención.

III.9 Humedal y vegetación

El Humedal Lago de Cuitzeo delimitado por INEGI cubre aproximadamente 402.74 km² y constituye la unidad ecosistémica directa de influencia. La vegetación incluye comunidades acuáticas, subacuáticas, halófitas y ribereñas. Inventarios clásicos reportan 92 especies de flora acuática y subacuática y más de un centenar de especies en ambientes salinos ribereños. La alternancia entre agua, lodo, playas expuestas y vegetación forma parte de la heterogeneidad natural y degradada del sistema.

La recuperación del AP no busca convertir toda la superficie en una depresión profunda homogénea. El diseño progresivo deberá conservar transiciones de profundidad y evitar afectar innecesariamente márgenes y microhábitats que funcionen como zonas de alimentación, descanso o reproducción. La vegetación invasiva o excesiva se manejará únicamente cuando interfiera con la función hidráulica o con programas de recuperación, privilegiando decisiones basadas en monitoreo.

III.10 Avifauna y valor hemisférico

Cuitzeo es un sitio de Importancia Regional de la WHSRN, con una superficie reconocida de 44,000 ha. El sitio sostiene más de 20,000 aves playeras al año y hasta aproximadamente 135,000 aves acuáticas en periodos pico. La red señala 20 especies de aves bajo alguna categoría de riesgo de la NOM-059-2010 y destaca la relevancia de Cuitzeo para especies migratorias y reproductivas.

La importancia avifaunística obliga a evaluar playas y fondos temporalmente secos como hábitat potencial, no como superficies sin valor biológico. Existe un registro documental de chorlo nevado en Andocutín de mayo de 2006 ubicado aproximadamente a 302 m del límite del AP. Además, se documentaron 110 registros reproductivos de al menos 28 individuos en Cuitzeo durante 2013 y 2017. En consecuencia, la apertura de frentes estará precedida por inspección de fauna y nidos, y cualquier evidencia reproductiva detonará exclusión y ajuste temporal de actividades.

Figura III-2. Registros documentales georreferenciados cercanos al Área del Proyecto (Andocutín) - base de gabinete

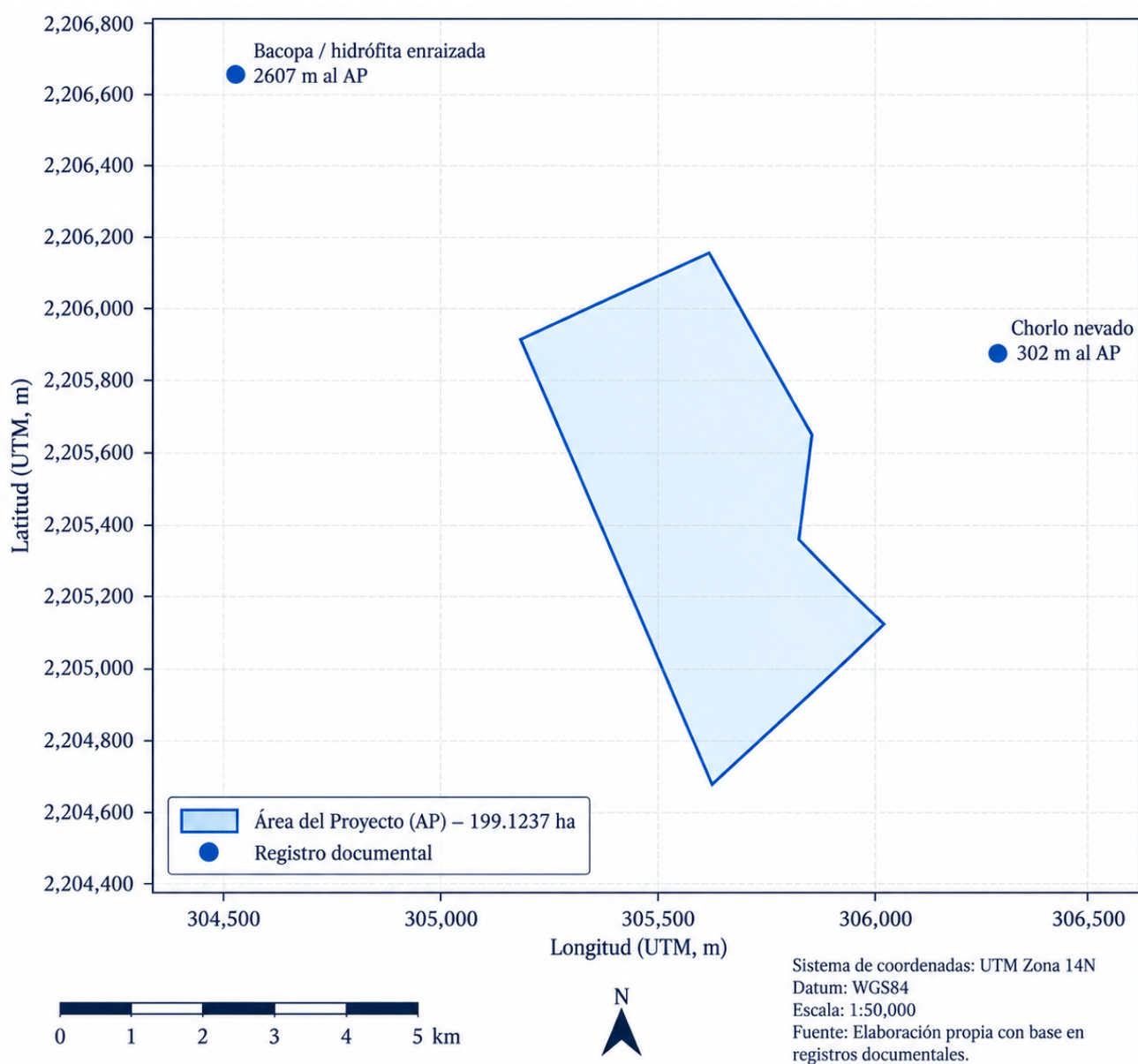


Figura III-2. Registros documentales georreferenciados cercanos al AP; destaca el registro histórico de chorlo nevado en Andocutín.

III.11 Fauna acuática y pesca

El deterioro de la ictiofauna es uno de los indicadores sociales y ecológicos más claros. El diagnóstico científico reciente reporta una disminución histórica de 18 especies registradas a seis, junto con el fuerte descenso de capturas. La pesca continúa siendo un componente productivo y cultural del lago, como lo demuestran los programas públicos de rehabilitación de zonas pesqueras y repoblamiento.

La recuperación de peces dentro del proyecto se implementará mediante restauración de hábitat y apoyo a programas oficiales de repoblamiento, no mediante liberaciones autónomas. La selección de especies, cantidades, épocas y sitios corresponderá a las autoridades pesqueras y ambientales competentes. El proyecto aportará condiciones físicas y de calidad de agua, así como seguimiento, para favorecer el éxito de acciones autorizadas.

III.12 Anfibios, reptiles y mamíferos

La cuenca alberga fauna terrestre y semiacuática de relevancia, incluyendo especies endémicas y sujetas a protección. La WHSRN destaca especies como *Ambystoma amblycephalum* y *Ambystoma ordinarium*, mientras estudios de mastofauna reportan decenas de especies en la cuenca. Dado que la planta se situará fuera del lago en predio privado, su implantación deberá minimizar pérdida de cobertura, iluminación nocturna y atropellamiento, mientras que los frentes lacustres privilegiarán velocidades reducidas y rescate únicamente cuando sea necesario y autorizado.

III.13 Medio socioeconómico y usos del lago

El sistema de Cuitzeo sostiene actividades pesqueras, agropecuarias, de servicios, turismo, usos tradicionales y una relación cultural estrecha con las comunidades ribereñas. Acámbaro registró 108,697 habitantes en 2020 y Zinapécuaro 49,005. En el entorno inmediato, Andocutín, Irámucó y Araró suman aproximadamente 8,476 habitantes según compilaciones basadas en el Censo 2020. Estas poblaciones constituyen receptores sociales de cambios en navegación, pesca, polvo, tránsito y calidad ambiental.

La escala regional es mayor: WHSRN señala que el lago beneficia a más de un millón de personas en 26 municipios a través de servicios ecosistémicos y actividades económicas. Esta cifra dimensiona la importancia regional del humedal y de sus servicios ecosistémicos; la relación directa del proyecto se concentra en las comunidades y usuarios del entorno del sector intervenido.

III.14 Pesca y seguridad alimentaria

En 2026, el Gobierno de Michoacán vinculó de manera explícita la rehabilitación física de 60 ha de zonas acuáticas con el beneficio directo de 1,200 familias de pescadores. En Guanajuato, la siembra de 250,000 crías de tilapia en Cuitzeo durante 2024 benefició a familias de diez comunidades, entre ellas Irámucó. Estas acciones demuestran que la recuperación de profundidad, oxigenación, navegación y hábitat tiene una relación reconocida por la política pública con la pesca y el bienestar comunitario.

III.15 Salud pública y calidad de vida

Las tolvaneras constituyen un problema de salud pública documentado. La SSM implementa brigadas, recomendaciones de uso de cubrebocas, sellado de viviendas, restricción de actividad al aire libre y monitoreo de fuentes de abastecimiento. La contribución del proyecto se concentra en reducir localmente la superficie susceptible de erosión eólica mediante una mayor permanencia de agua dentro de las celdas rehabilitadas, cuando exista disponibilidad hídrica, generando un co-beneficio potencial de menor exposición en el entorno inmediato.

III.16 Patrimonio y paisaje cultural

El paisaje lacustre incluye patrimonio ferroviario, salinero, agrícola y comunitario. La Estación Andocutín se encuentra catalogada oficialmente; Araró mantiene una tradición histórica de producción de sal y presencia de manantiales termales. Las obras no se diseñan para intervenir estos elementos, pero el

movimiento de materiales y obras terrestres exige mantener rutas y áreas de exclusión, así como el protocolo de hallazgos fortuitos.

III.17 Tendencias de deterioro y diagnóstico integrado

El diagnóstico regional muestra un sistema sometido a presiones superpuestas: déficit de agua, alta evaporación, variabilidad climática, extracción, descargas, erosión de cuenca, azolvamiento, eutrofización, especies invasoras, pérdida de hábitat y debilitamiento de actividades productivas. La recuperación durable del Lago de Cuitzeo requiere una estrategia de cuenca y lago que combine control de fuentes externas, saneamiento, conservación de suelos, gestión del agua y actuaciones directas sobre áreas degradadas.

Dentro de ese marco, la intervención propuesta presenta una lógica ambiental específica: actúa sobre la morfología y el agua del sector Andocutín, mantiene el material tratado fuera del lago, devuelve únicamente agua tratada, conserva la conectividad del vaso y vincula la recuperación física con seguimiento de hábitat y usos pesqueros. El éxito se medirá por indicadores hidráulicos, de calidad, biológicos y sociales; no por el volumen removido en sí mismo.

La condición de referencia que sustenta la evaluación del Capítulo IV se resume a continuación. La comparación no supone que el proyecto pueda corregir por sí solo las presiones de cuenca; identifica únicamente las funciones sobre las que la intervención tiene un mecanismo directo o razonablemente condicionado de contribución.

Condición de deterioro	Tendencia / función afectada	Respuesta funcional del proyecto	Indicador de verificación
Azolvamiento y pérdida de profundidad funcional	Menor volumen disponible y mayor sensibilidad a variaciones de nivel.	Remoción progresiva y configuración de celdas con profundidad variable.	Profundidad final y capacidad física adicional por celda.
Desecación recurrente y exposición del lecho	Contracción del hábitat acuático y superficies susceptibles a erosión eólica.	Mayor capacidad local y configuración conectada para retener agua cuando exista disponibilidad.	Hidroperiodo, superficie húmeda/seca y conectividad.
Eutrofización, turbidez y heterogeneidad de calidad	Presión sobre oxigenación, fauna acuática y usos del lago.	Captura, tratamiento y retorno condicionado del agua manipulada por el proyecto.	Calidad de entrada/salida, caudal recirculado y retornado.
Pérdida y fragmentación de hábitat	Reducción de ambientes acuáticos funcionales; importancia de conservar también zonas someras.	Mosaico de profundidades, transiciones y cierre progresivo de celdas.	Uso de hábitat, recolonización y condición de ecotonos.
Declive de ictiofauna y pesca	Menor productividad y debilitamiento de una actividad social y cultural.	Recuperación de hábitat y apoyo a programas oficiales de repoblamiento.	Calidad de hábitat, coordinación oficial y evolución del uso pesquero.
Tolvaneras y exposición comunitaria	Dispersión de sedimentos finos en periodos secos y afectación de calidad de vida.	Reducción potencial de lecho seco dentro de celdas que logren mayor permanencia de agua.	Superficie seca, eventos de polvo y registros comunitarios cuando aplique.

IV. IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN, COMPENSACIÓN Y RESTAURACIÓN

IV.1 Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales del sistema ambiental regional

IV.1.1 Enfoque de evaluación y escenario de referencia

La evaluación distingue entre la perturbación necesaria para ejecutar una intervención física y el resultado ambiental que dicha intervención pretende producir. El escenario de referencia corresponde a la condición actual y a la trayectoria razonablemente previsible del sector Andocutín sin proyecto, caracterizada en el Capítulo III por déficit hídrico regional, alta evaporación, azolvamiento, pérdida de profundidad funcional, exposición recurrente del lecho, deterioro de calidad, fragmentación de hábitat y debilitamiento de la pesca. Cada cambio físico permanente se valora a partir de su mecanismo, receptor, función afectada y resultado verificable.

La intervención se considera ambientalmente favorable únicamente cuando el cambio resultante mejora una función previamente deteriorada y ese resultado puede ser comprobado mediante indicadores. De manera paralela, toda perturbación adversa atribuible a la preparación, remoción, transporte, tratamiento, retorno, cierre o presencia humana se mantiene en la evaluación aun cuando sea temporal. Este enfoque reconoce todas las perturbaciones adversas atribuibles a la ejecución y, al mismo tiempo, separa los impactos ambientales de los aspectos estrictamente regulatorios, documentales o duplicados dentro de una misma cadena causal.

Para los componentes físicos del sustrato, la evaluación incorpora tanto evidencia regional como antecedentes técnicos de campo del sector Andocutín. La información histórica de perforación se utiliza para reconocer espesores, variación vertical y trazabilidad de materiales; la caracterización ambiental actual de agua, sedimentos y biota dentro del AP se verificará mediante el PVA y la evaluación previa a cada frente.

Comparación	Condición considerada	Uso en la evaluación
Sin proyecto	Continuidad razonable de las presiones y tendencias documentadas.	Referencia para valorar la contribución ambiental del proyecto.
Con proyecto sin medidas	Perturbación física sin controles, tratamiento ni cierre adaptativo.	Escenario de contraste para dimensionar la importancia de las medidas.
Con proyecto + diseño ambiental	Intervención progresiva, tratamiento, recirculación, retorno condicionado, cierre y monitoreo.	Escenario seleccionado y base de la significancia residual/esperada.

IV.1.2 Metodología de identificación y valoración

La matriz se reconstruye por vías de efecto ambiental y no por el simple número de actividades. Cada registro corresponde a una relación causal diferenciada entre fase o actividad, mecanismo, receptor y consecuencia. Cuando varias actividades producen el mismo mecanismo sobre el mismo receptor se consolidan en una sola vía de efecto; los riesgos de cumplimiento, la eventual clasificación de sustancias o la suficiencia documental se administran en las matrices regulatorias y de riesgo, pero no se contabilizan como impactos ambientales por sí mismos.

Para cada vía se determina carácter adverso o positivo; relación directa o indirecta; escala espacial; intensidad; duración o persistencia; probabilidad; sensibilidad de la función receptora; componente acumulativo o sinérgico; incertidumbre; y, según el carácter, recuperabilidad/efectividad de medidas o condición necesaria para materializar el beneficio. La significancia residual de los efectos adversos se valora después de medidas; la significancia de los efectos positivos se expresa como resultado esperado y se condiciona a su verificación. Los criterios ordinales de 1 a 5 se conservan como soporte de

valoración preliminar, pero el balance final se realiza por función ambiental y no por suma aritmética de categorías.

Atributo	Criterio resumido
Intensidad / magnitud	1 muy baja – 5 muy alta; considera el cambio sobre la función receptora.
Extensión	1 puntual – 5 regional/SAR.
Duración / persistencia	1 días-semanas – 5 >10 años o permanente.
Probabilidad	1 rara – 5 muy probable/casi cierta.
Sensibilidad / relevancia	1 baja – 5 muy alta, considerando humedal, especies, pesca y función hídrica.
Acumulación / sinergia	Se identifica cuando el efecto se suma a presiones existentes o a celdas sucesivas.
Residualidad / condición	Adversos: efecto remanente después de medidas. Positivos: resultado esperado sujeto a indicador y condición de materialización.

IV.1.3 Cadenas causa–efecto de la rehabilitación

La lógica ambiental se expresa mediante cadenas que separan el problema preexistente, la perturbación de ejecución y la función que se pretende recuperar. La siguiente síntesis muestra los mecanismos principales y evita interpretar la remoción como un fin en sí mismo.

Problema / presión existente	Intervención y perturbación controlada	Resultado funcional esperado	Indicador
Azolamiento y pérdida de profundidad	Remoción por celdas; turbidez temporal y cambio de sustrato.	Mayor profundidad funcional y capacidad física de almacenamiento.	Batimetría, superficie y volumen por celda.
Dsecación y lecho expuesto	Cambio de geometría y retorno de agua tratada.	Mayor posibilidad de permanencia local de agua cuando exista disponibilidad hídrica.	Hidroperiodo y superficie húmeda/seca.
Calidad deteriorada / agua manipulada	Captura y tratamiento del agua asociada al proceso.	Retorno únicamente después de verificación; conservación del agua dentro del sistema.	Caudal, calidad, recirculación y retorno.
Pérdida de hábitat acuático	Perturbación temporal del frente y pérdida de bentos local.	Mosaico de profundidades y recuperación progresiva de hábitat.	Conectividad, uso de hábitat y recolonización.
Declive pesquero	Interferencia temporal con usos y fauna acuática.	Mejores condiciones físicas para peces y apoyo a repoblamiento oficial.	Indicadores de hábitat y seguimiento pesquero.
Tolvaneras / erosión eólica	Intervención física localizada.	Menor exposición potencial del lecho dentro de celdas con mayor permanencia de agua.	Superficie seca y registros de polvo cuando aplique.

IV.1.4 Impactos adversos de ejecución y operación

La evaluación por vías causales identifica once impactos adversos diferenciados, consolidando duplicidades y separando los aspectos regulatorios y documentales de los impactos ambientales. Después de aplicar las medidas previstas, permanece un impacto residual alto asociado al reemplazo permanente del sustrato y de la morfología existente dentro del AP, seis impactos moderados y cuatro impactos bajos. La matriz completa y trazable se presenta en el Anexo A.

Receptor / vía adversa	Efecto residual	Nivel residual	Control principal
Sustrato y morfología	Reemplazo permanente de la configuración y del paquete sedimentario intervenido dentro del AP.	Alto	Profundidad por celda, transiciones, huella progresiva, estabilidad y seguimiento batimétrico.
Hidrodinámica / interacción subsuperficial	Cambio local no deseado de rutas de flujo, tiempos de residencia o interacción superficial-subsuperficial.	Moderado	Diseño conectado, observación hidráulica, ajuste de geometría y puntos de retorno.

Receptor / vía adversa	Efecto residual	Nivel residual	Control principal
Agua y sedimentos	Turbidez, resuspensión y cambios fisicoquímicos durante la remoción.	Moderado	Frentes reducidos, control de pluma, tratamiento, verificación y criterios de paro.
Geoquímica	Movilización temporal de sales, nutrientes u otros constituyentes presentes en horizontes perturbados.	Moderado	Caracterización por lote, control de proceso, segregación y seguimiento de calidad.
Bentos y fauna acuática	Pérdida local de bentos y perturbación/desplazamiento de fauna en el frente activo.	Moderado	Secuencia por celdas, huella limitada, rescate cuando proceda y seguimiento de recolonización.
Fauna terrestre y lacustre	Perturbación, desplazamiento o riesgo de mortalidad evitable por presencia de maquinaria y personal	Moderado	Inspección previa, delimitación de frentes, velocidad reducida, rescate cuando proceda y ajuste temporal.
Aves y zonas someras	Perturbación temporal o pérdida localizada de áreas de alimentación/descanso/reproducción.	Moderado	Inspección previa, exclusiones, conservación de ecotonos y ajuste temporal.
Predio externo / suelo	Transformación y compactación localizada por planta y accesos.	Bajo	Predio privado, drenaje controlado, minimización de huella y cierre de temporales.
Aire, ruido y tránsito	Polvo, ruido, emisiones y molestias por maquinaria y transporte.	Bajo	Mantenimiento, rutas, velocidad, humectación/cubrimiento y programación.
Patrimonio	Afectación accidental de vestigios por obras terrestres o tránsito.	Bajo	Protocolo de hallazgos fortuitos y coordinación con INAH.
Agua / suelo / usuarios	Fugas, derrames, manejo fuera de especificación o interferencia temporal con pesca, navegación, accesos o movilidad.	Bajo	Contención, inventario limitado, bloqueo de retorno fuera de especificación, programación de frentes, comunicación y trazabilidad.

IV.1.5 Impactos positivos directos de rehabilitación

Los efectos positivos directos corresponden a resultados cuya relación causal depende principalmente de características incorporadas al diseño y cuya materialización puede verificarse físicamente durante o al cierre de cada celda mediante los indicadores establecidos.

Efecto positivo directo	Mecanismo	Significancia esperada	Verificación
Incremento de capacidad física de almacenamiento	Remoción permanente de volumen sólido y ausencia de relleno posterior.	Positivo alto	Capacidad adicional calculada con geometría final.
Recuperación de profundidad funcional	Perfil variable por celda con transiciones y control de cota.	Positivo alto	Batimetría/profundidad final por celda.
Conservación del agua dentro del sistema	Captura de agua asociada a frentes, recirculación prioritaria y retorno del excedente tratado.	Positivo alto	Balance hídrico medido y trazabilidad de caudales.
Retiro definitivo de material intervenido del vaso	Separación sólido-líquido y salida controlada del material tratado y corrientes secundarias.	Positivo alto	Tonelaje/volumen retirado y destino documentado.
Mosaico de profundidades y transiciones	Diseño no uniforme de celdas y conservación de ecotonos.	Positivo alto	Plano final, conectividad y proporción de zonas someras/profundas.
Control de calidad del agua retornada	Tren independiente de regeneración y bloqueo de retorno fuera de especificación.	Positivo moderado	Resultados de monitoreo y eventos de paro/retratamiento.

IV.1.6 Impactos positivos condicionados y co-beneficios

Otros resultados dependen además de variables externas o de la respuesta ecológica y, por ello, se califican como positivos condicionados o co-beneficios. Su materialización se verificará mediante los indicadores correspondientes y el manejo se ajustará conforme a la respuesta ambiental observada.

Resultado positivo condicionado / co-beneficio	Condición principal	Significancia esperada
Mayor permanencia local de agua / hidroperiodo	Disponibilidad hídrica suficiente y geometría funcional conectada.	Positivo alto condicionado

Resultado positivo condicionado / co-beneficio	Condición principal	Significancia esperada
Menor exposición recurrente del lecho en celdas rehabilitadas	Disponibilidad de agua y persistencia suficiente para mantener superficie húmeda.	Positivo moderado condicionado
Reducción potencial de erosión eólica y tolvaneras dentro del sector rehabilitado	Menor superficie seca expuesta y condiciones meteorológicas comparables.	Positivo moderado condicionado
Recuperación progresiva de hábitat acuático	Calidad adecuada, conectividad, estabilidad y tiempo de recolonización.	Positivo alto condicionado
Recolonización bentónica	Sustrato estable y ausencia de perturbación continua después del cierre.	Positivo moderado condicionado
Mejores condiciones para peces y repoblamiento oficial	Calidad, conectividad y participación de autoridades pesqueras.	Positivo alto condicionado
Condiciones para recolonización natural de aves acuáticas y playeras	Disponibilidad de mosaico de agua, zonas someras y baja perturbación post-cierre.	Positivo moderado condicionado
Mejores condiciones para pesca y navegación compatibles	Recuperación hidráulica/ecológica y coordinación con usuarios.	Positivo moderado condicionado
Recuperación local de servicios ecosistémicos, calidad de vida, empleo y proveeduría local.	Materialización conjunta de resultados hidráulicos, ecológicos y de menor exposición, junto con contratación y compras asociadas a preparación, operación y monitoreo.	Positivo moderado condicionado.

IV.1.7 Impactos acumulativos y sinérgicos

El carácter acumulativo se analiza en ambas direcciones. En sentido adverso, la operación prolongada puede coincidir con sequías, eutrofización, presión hídrica y otros procesos regionales que el proyecto no controla; por ello, el ritmo de apertura de celdas se ajustará a la condición real del sistema. En sentido positivo, la rehabilitación es acumulativa por diseño: una celda cerrada y funcional se incorpora al mosaico recuperado mientras la siguiente entra en intervención, de modo que la superficie con capacidad, conectividad y seguimiento ambiental puede crecer progresivamente sin requerir que las ~200 ha estén abiertas de manera simultánea.

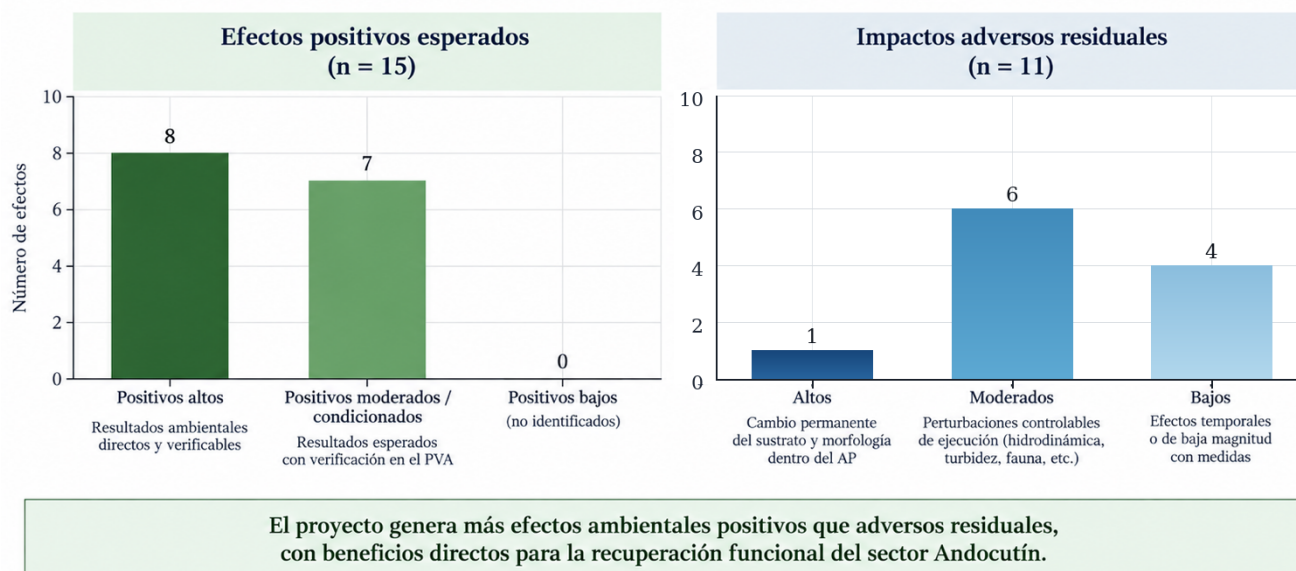
Componente acumulativo	Dirección	Criterio de evaluación
Proyecto + sequía/déficit hídrico	Adversa potencial	Reducir ritmo o posponer apertura cuando la condición regional incremente sensibilidad.
Celdas sucesivas y cambio morfológico	Mixta	Controlar el cambio físico acumulado y comprobar estabilidad/conectividad antes de ampliar.
Celdas cerradas con capacidad recuperada	Positiva	Acumulación progresiva de volumen físico disponible y superficie rehabilitada.
Retorno tratado y recirculación durante la vida útil	Positiva	Conservación acumulativa del agua manipulada dentro del sistema sujeto a balance real.
Recuperación de hábitat por celdas	Positiva condicionada	Seguimiento temporal de recolonización y conectividad para evitar que el beneficio quede fragmentado.

IV.1.8 Impactos residuales adversos

Después del diseño y de las medidas, el perfil residual adverso se concentra en un cambio permanente alto y en perturbaciones moderadas o bajas. La irreversibilidad de la modificación del sustrato actual dentro del AP se mantiene explícita; sin embargo, su extensión está delimitada al polígono, su ejecución es progresiva y su propósito funcional es generar capacidad y profundidad. Los impactos moderados restantes se someten a control por celda y criterios de paro. La significancia residual se determina considerando la magnitud, extensión, permanencia, sensibilidad del receptor, controles aplicados y función ambiental resultante.

Síntesis de efectos ambientales después del diseño y las medidas

Los efectos positivos se expresan como resultados esperados; los condicionados requieren verificación mediante el PVA.



Nota: El balance ambiental se determina por función, magnitud, permanencia, extensión y verificabilidad; no por el simple conteo de efectos.
Fuente: Capítulo IV.1. Identificación, descripción y evaluación de impactos ambientales.

Figura IV-1. Síntesis de efectos ambientales después del diseño y las medidas. La figura separa impactos adversos residuales de efectos positivos esperados; los efectos condicionados requieren verificación.

IV.1.9 Resultados de rehabilitación y verificación

La condición positiva del proyecto se demostrará mediante indicadores de desempeño por celda y evidencia posterior de capacidad, calidad, conectividad y respuesta ambiental. Los resultados de rehabilitación se integrarán al PVA y a las bitácoras de cierre, de modo que la evolución real pueda compararse con el escenario esperado y que el diseño de celdas posteriores incorpore el aprendizaje obtenido.

Resultado a demostrar	Indicador mínimo	Criterio de interpretación
Capacidad / profundidad recuperada	Geometría inicial y final; m³ adicionales; profundidad por celda.	Beneficio directo si la capacidad física aumenta dentro de límites autorizados.
Permanencia de agua	Hidroperiodo y superficie húmeda/seca por celda.	Beneficio condicionado; se interpreta considerando lluvia y nivel regional.
Conservación y calidad del agua	Caudal tratado/recirculado/retornado y parámetros de calidad.	Beneficio directo sobre la corriente manipulada, con alcance dentro del circuito y sector evaluados.
Conectividad y hábitat	Conexiones hidráulicas, zonas someras/profundas y uso por fauna.	Beneficio condicionado a respuesta ecológica y ausencia de barreras.
Pesca / usos	Registros de uso, coordinación oficial y acceso compatible.	Co-beneficio condicionado a evidencia de uso, coordinación oficial y acceso compatible.
Superficie seca / tolveneras	Superficie expuesta y observaciones de polvo en condiciones comparables.	Co-beneficio condicionado a disponibilidad hídrica y meteorología.

IV.1.10 Balance ambiental integrado

El balance ambiental integrado es favorable al comparar el proyecto con medidas frente a la trayectoria razonablemente esperada sin proyecto. La intervención introduce perturbaciones localizadas y temporales y un cambio permanente del sustrato en el AP, efectos que se reconocen expresamente. A la vez, ese cambio físico busca producir resultados funcionales de mayor duración: mayor profundidad y capacidad de almacenamiento, conservación del agua manipulada mediante recirculación y retorno tratado, retiro

definitivo del material intervenido y formación de un mosaico hidráulico susceptible de sostener recuperación de hábitat.

La contribución ambiental neta positiva se considera condicional y verificable: requiere que la ejecución permanezca dentro de la huella autorizada, el agua retornada cumpla los parámetros aplicables y los indicadores confirmen capacidad, conectividad y recuperación funcional. Cualquier desviación relevante activará manejo adaptativo antes de ampliar nuevos frentes.

IV.2 Medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración

IV.2.1 Jerarquía de manejo ambiental

La estrategia se estructura en cuatro niveles: evitar impactos innecesarios; minimizar los inevitables; restaurar funcionalidad al cerrar cada celda; y compensar únicamente cuando exista un impacto residual que lo requiera y la medida sea técnica y jurídicamente procedente. El proyecto incorpora la restauración como parte de la operación y no únicamente al final de 30 años.

IV.2.2 Programa de Vigilancia Ambiental

Código	Programa	Objetivo	Frecuencia marco	Prioridad
PVA-01	Control de alcance, excavación y morfología	Asegurar que la intervención se mantenga dentro del polígono, volumen, profundidad y secuencia autorizados, evitando expansión no evaluada.	Diaria / por frente	Crítica
PVA-02	Hidrología, sedimentos y calidad del agua	Prevenir pérdida de control hidráulico, resuspensión excesiva y cambios fisicoquímicos no previstos durante la remoción.	Continua / diaria / por evento	Crítica
PVA-03	Biodiversidad y avifauna	Evitar mortalidad, perturbación reproductiva y afectación innecesaria de hábitats sensibles, con énfasis en aves playeras y especies en riesgo.	Antes de cada frente / diaria	Crítica
PVA-04	Agua de proceso, reactivos y riesgo químico	Controlar captación, recirculación, sustancias químicas, derrames, efluentes y riesgos regulatorios del proceso.	Continua / diaria / mensual	Crítica
PVA-05	Materiales, residuos y corrientes de salida	Asegurar caracterización, contención, trazabilidad y destino legal de sales, material tratado, residuos y remanentes.	Por lote / mensual	Alta
PVA-06	Aire, ruido, tránsito y seguridad vial	Reducir polvo, ruido, emisiones, riesgos viales y deterioro de caminos durante preparación, transporte y operación.	Diaria / semanal / mensual	Alta
PVA-07	Gestión social, usos tradicionales y patrimonio	Prevenir conflictos, mantener accesos y proteger actividades tradicionales y patrimonio cultural.	Antes de frentes / mensual / por incidente	Alta
PVA-08	Restauración y cierre progresivo	Evitar pasivos físicos y ambientales, cerrar frentes progresivamente y asegurar retiro y manejo final de infraestructura y materiales.	Por frente / anual / cierre	Crítica
PVA-09	Contingencias y respuesta a emergencias	Establecer respuestas inmediatas para eventos hidrometeorológicos, derrames, fauna, fallas de contención y hallazgos culturales.	Continua / por evento	Crítica
PVA-10	Seguimiento acumulativo y manejo adaptativo	Revisar anualmente el desempeño acumulado del proyecto y ajustar ritmo, frentes y medidas cuando existan señales de deterioro o desviación.	Mensual / trimestral / anual	Crítica
PVA-11	Verificación del desempeño de la rehabilitación	Comprobar que las celdas cerradas generan capacidad, conectividad, conservación de agua y respuesta ecológica conforme a los resultados evaluados.	Por celda / trimestral / anual	Crítica

IV.2.3 Control de alcance, profundidad y morfología

Cada celda contará con geocercado digital, coordenadas de referencia y registro de trazas de maquinaria. La profundidad máxima localizada de 20 m se controlará mediante medición GNSS/batimétrica o método equivalente. Ningún frente podrá ampliar el polígono sin evaluación previa. El cierre de celda incluirá verificación de geometría, estabilidad, conexión hidráulica y retiro de infraestructura temporal.

Los collares técnicos 2021–2022 se incorporarán al GIS del proyecto como capa de referencia para planificación y control. Su función será comparar la respuesta observada durante la intervención con

antecedentes locales de estratigrafía y material; no reemplazan el levantamiento topobatimétrico de preapertura, la caracterización ambiental por celda ni la verificación de estabilidad requerida antes de avanzar.

IV.2.4 Hidrología, turbidez y calidad de agua

El frente activo se mantendrá reducido y se operará con una combinación de velocidad de remoción, confinamiento hidráulico operacional y ajuste de equipo para evitar plumas extensas. Se registrarán parámetros de calidad del agua aguas arriba/afuera del frente y en puntos de control de influencia. Ante una respuesta sostenida fuera del comportamiento operativo aceptable se reducirá el ritmo, se cambiará el método o se suspenderá temporalmente el frente.

El circuito de retorno estará instrumentado. El agua tratada se verificará antes de entrar al sistema de distribución; cualquier desviación suspende el retorno y dirige la corriente a recirculación/retratamiento. La trazabilidad incluirá caudal, hora, punto de retorno, parámetros de calidad y eventos de paro.

IV.2.5 Biodiversidad y avifauna

Antes de abrir cada frente se realizará una inspección visual de fauna, nidos, pollos y concentraciones de aves. La presencia de reproducción activa genera una zona de exclusión y ajuste temporal. Se limitará el tránsito fuera de rutas, se reducirá iluminación nocturna dirigida al lago y se evitarán actividades simultáneas innecesarias en amplias superficies. El seguimiento no busca forzar una composición biológica específica, sino detectar respuestas adversas y favorecer recolonización natural de celdas cerradas.

IV.2.6 Recuperación pesquera y hábitat

La recuperación de hábitat se coordinará con autoridades pesqueras. El proyecto podrá apoyar programas oficiales de repoblamiento con infraestructura, logística, monitoreo o aportaciones, pero la selección de especies y liberaciones se realizará únicamente bajo el programa y autorizaciones competentes. Se priorizarán especies y estrategias compatibles con la condición ecológica del lago y con objetivos de pesca sostenible.

IV.2.7 Sustancias, combustibles y contingencias

El combustible se suministrará mediante unidades móviles, sin almacenamiento significativo dentro del AP. Toda operación de abastecimiento se realizará con contención secundaria portátil, materiales absorbentes y personal capacitado. El nitrato de amonio se almacenará fuera del lago, en un área controlada, seca y ventilada, segregada de combustibles, fuentes de calor y materiales incompatibles. El ozono se generará in situ y conforme a la demanda inmediata del proceso, mediante sistemas equipados con detección, ventilación y dispositivos de seguridad. Los inventarios máximos simultáneos de las sustancias de proceso se establecerán y controlarán como límites de diseño y operación, manteniéndose por debajo de las cantidades de reporte y umbrales aplicables a Actividades Altamente Riesgosas. Los procedimientos de emergencia contemplarán derrames, fallas de tubería, pérdida de contención, exposición química, incendio, lluvia intensa, inundación y fallas del sistema de retorno.

IV.2.8 Materiales y corrientes de salida

El material tratado se manejará por lote con identificación, fecha, origen de celda y destino. La corriente secundaria de sales permanecerá en almacenamiento contenido y cubierto, con control de humedad y despacho a destino autorizado. Los materiales fuera de especificación se segregarán hasta definir su clasificación y ruta legal. Ninguna corriente sólida regresa al vaso.

IV.2.9 Gestión social

La gestión social se orientará a mantener acceso, informar sobre frentes activos, evitar interferencias con pesca y movilidad, recibir quejas y documentar respuestas. El proyecto no presume apoyo social existente; la relación con comunidades se construirá mediante información verificable y coordinación con autoridades. Los beneficios pesqueros se comunicarán como objetivos potenciales sujetos a recuperación ambiental, no como resultados garantizados.

IV.2.10 Patrimonio

Todo hallazgo fortuito de material arqueológico, paleontológico o histórico detendrá el trabajo en el área inmediata. Se delimitará y protegerá el punto, no se moverán piezas, se registrará la ubicación y se notificará al INAH. Las actividades se reanudarán sólo conforme a la instrucción de la autoridad.

IV.2.11 Manejo adaptativo

La dirección ambiental revisará mensualmente tendencias operativas y trimestralmente indicadores consolidados. Una revisión anual integrará geometría intervenida, balance hídrico, calidad de agua, biodiversidad, incidentes, uso pesquero y eficacia de medidas. El ritmo de remoción, tamaño de celdas, puntos de retorno y métodos podrán ajustarse dentro de los límites autorizados cuando la evidencia muestre que una configuración alternativa reduce el impacto o mejora la recuperación.

IV.2.12 Criterios de paro

- ☐ Salida de maquinaria o excavación fuera de la huella autorizada.
- ☐ Profundidad o geometría que exceda el diseño de celda o el máximo autorizado.
- ☐ Falla de tubería, derrame o pérdida de contención no controlada.
- ☐ Retorno de agua fuera de especificación o falla de instrumentación crítica.
- ☐ Pluma de turbidez o respuesta fisicoquímica persistente que no se corrige mediante ajuste inmediato.
- ☐ Presencia de nidos, pollos o fauna sensible directamente expuesta al frente.
- ☐ Evento hidrometeorológico que comprometa seguridad, estabilidad o control hidráulico.
- ☐ Hallazgo cultural o arqueológico.

IV.2.13 Indicadores de desempeño ambiental y de rehabilitación

Componente	Indicador	Objetivo de gestión
Morfología	Superficie y profundidad intervenidas por celda	100% dentro de huella y límites autorizados.
Agua	Caudal tratado/recirculado/retornado; parámetros de calidad	Retorno sólo con cumplimiento; trazabilidad continua.
Turbidez	Respuesta respecto de puntos de referencia	Evitar plumas persistentes y extensas.
Fauna	Eventos reproductivos, desplazamiento, incidentes	Cero mortalidad evitable; exclusiones cuando corresponda.
Residuos/materiales	Lotes caracterizados y destinos documentados	100% con trazabilidad y manejo conforme a clasificación.
Social	Quejas, interferencias, coordinación pesquera	Atención documentada y reducción de conflictos.
Cierre	Celdas estabilizadas e hidráulicamente conectadas	Cierre progresivo sin pasivos físicos o materiales.
Capacidad recuperada	Capacidad física adicional y profundidad final por celda	Cuantificar el resultado directo de rehabilitación.
Hidroperiodo	Duración/frecuencia de inundación y superficie húmeda/seca	Demostrar permanencia local de agua sin atribuir cambios climáticos al proyecto.
Conectividad	Celdas cerradas conectadas hidráulicamente y sin depresiones aisladas	Mantener integración funcional al vaso.
Hábitat	Uso de celdas cerradas por fauna, recolonización y mantenimiento de zonas someras	Verificar respuesta ecológica progresiva.
Pesca / navegación	Indicadores de uso compatible y coordinación con autoridades/usuarios	Documentar co-beneficios sin presumirlos automáticamente.

IV.3 Pronósticos ambientales regionales y evaluación de alternativas

IV.3.1 Escenario sin proyecto

El escenario sin proyecto conserva las presiones actuales del sistema: déficit hídrico, alta evaporación, desecación recurrente, exposición de sedimentos, azolvamiento, eutrofización, pérdida de hábitat y deterioro pesquero. La ausencia de la intervención evita las perturbaciones directas de obra y mantiene la trayectoria documentada de pérdida de profundidad funcional, capacidad física y hábitat, dentro de un sistema que requiere acciones concurrentes de cuenca y vaso.

IV.3.2 Escenario con proyecto sin medidas

Una remoción profunda sin control generaría una alteración severa: plumas de turbidez, cambios de flujo, pérdida extensa de bentos, riesgo para aves y fauna acuática, erosión de superficies, derrames, retorno de agua de calidad inadecuada y transformación morfológica sin integración ecológica. Además, abrir grandes superficies simultáneamente impediría aprovechar el aprendizaje entre celdas y aumentaría la exposición acumulativa del humedal. Este escenario se descarta porque produciría el cambio físico sin asegurar la función de rehabilitación que lo justifica.

IV.3.3 Escenario con proyecto y manejo ambiental

El escenario seleccionado combina intervención por celdas, profundidad variable, métodos adaptados a la condición hídrica, tratamiento de agua, retorno condicionado a calidad, retiro de sólidos del vaso, conectividad hidráulica, protección de fauna y cierre progresivo. Su diferencia fundamental frente al escenario sin proyecto es que actúa directamente sobre la pérdida de profundidad y capacidad dentro del AP y transforma ese cambio físico en resultados verificables: capacidad adicional, conservación del agua manipulada, menor exposición potencial del lecho, mosaico de hábitats y mejores condiciones para peces y usos lacustres. La trayectoria positiva se comprobará celda por celda mediante el PVA y se ajustará cuando la respuesta real se aparte del pronóstico.

Función / presión	Sin proyecto	Proyecto sin medidas	Proyecto + medidas y rehabilitación
Profundidad y capacidad	No existe mecanismo del proyecto para recuperar volumen físico.	Cambio morfológico sin control funcional.	Aumento medido de capacidad y profundidad por celda.
Agua	Continúa dependencia de entradas, evaporación y presiones regionales.	Riesgo de pérdidas y retorno inadecuado.	Recirculación prioritaria y retorno tratado/medido.
Sedimentos / calidad	Persisten exposición y resuspensión asociadas a dinámica existente.	Plumas y movilización sin control.	Remoción localizada, tratamiento y criterios de paro.
Hábitat	Continúa la variabilidad y pérdida funcional documentada.	Perturbación extensa y simultánea.	Perturbación temporal + recuperación progresiva y mosaico de hábitats.
Pesca / usos	No se genera capacidad adicional ni acción física sobre el AP.	Interferencia mayor y menor control.	Mejores condiciones potenciales y coordinación oficial/usuarios.

IV.3.4 Alternativas

Alternativa	Evaluación ambiental	Decisión
No intervención	Evita impactos directos de obra, pero mantiene tendencias de deterioro ya documentadas.	No seleccionada como estrategia de recuperación del sector.
Intervención simultánea de 200 ha	Menor duración de obra, pero mayor huella activa, turbidez, perturbación y dificultad de control.	Descartada.
Intervención progresiva por celdas	Permite control, aprendizaje, cierre progresivo y manejo adaptativo.	Seleccionada.
Sólo excavación mecánica	Útil en material accesible; puede aumentar transporte terrestre.	Método parcial.
Sólo dragado hidráulico	Reduce carga terrestre en ciertos frentes; depende de condición del material y agua.	Método parcial.
Método combinado	Selecciona la técnica de menor impacto por frente.	Seleccionada.
Descarga concentrada en un punto	Puede generar erosión y cambios locales de calidad/flujo.	Descartada.
Retorno distribuido de agua tratada	Reduce concentración hidráulica y apoya celdas rehabilitadas.	Seleccionada.
Relleno de celdas con material tratado	Anula parte del aumento de capacidad y reintroduce material al lago.	Descartada.
Retiro definitivo del material tratado	Mantiene la nueva capacidad física y permite aprovechamiento externo.	Seleccionada.

IV.3.5 Pronóstico a largo plazo

A largo plazo, las celdas cerradas conservarán una configuración distinta de la inicial. El proyecto considera ese cambio un componente de la rehabilitación siempre que se mantengan estabilidad, conexión hidráulica y función ecológica. La permanencia de agua dependerá también de factores regionales como lluvia, evaporación, extracciones y entradas de cuenca. Por ello, el pronóstico se expresa en términos de aumento de capacidad y mejora de condiciones potenciales, sujeto a la evolución de esas variables.

La recuperación biológica será gradual y heterogénea. El bentos deberá recolonizar superficies nuevas; las aves responderán a la distribución de agua y zonas someras; los peces dependerán de calidad, conectividad y programas de manejo. El objetivo de seguimiento es comprobar si la trayectoria real se aproxima al escenario de recuperación y corregir el diseño cuando no ocurra.

IV.3.6 Contribución esperada a personas y actividades productivas

La contribución social se materializa a través de mecanismos ambientales: más capacidad local para retener agua; menor exposición de fondo en las celdas rehabilitadas cuando exista agua; mejor calidad de la corriente manipulada por el proyecto; recuperación de hábitat; apoyo a programas de peces; y reducción de interferencias con navegación y pesca. Los receptores más próximos son las comunidades del sector oriental y las familias que dependen de usos del lago. A escala regional, un lago funcional sostiene servicios ecosistémicos para una población superior al millón de personas. El proyecto constituye una intervención localizada dentro de este sistema regional y concentra su contribución en el sector evaluado.

IV.4 Instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan los resultados

IV.4.1 Sistema de información geográfica

La delimitación del AP utiliza seis vértices WGS84 y conversión a UTM zona 14N para cálculo métrico. La superficie se determinó en proyección métrica y se verificó con cierre de polígono. El SAR se construyó con la delimitación oficial de la Cuenca Hidrológica Lago de Cuitzeo publicada por CONAGUA/DOF; el AIJ utiliza la delimitación del Humedal Lago de Cuitzeo de INEGI.

IV.4.2 Fuentes de gabinete y jerarquía de evidencia

La base técnica se integra por niveles de evidencia: información oficial y normativa; literatura científica revisada por pares; registros biológicos y redes de conservación; campañas técnicas preexistentes de campo y laboratorio del sector Andocutín y su entorno; documentación de diseño del promovente; y cálculos derivados. Esta estructura distingue entre línea base ambiental contemporánea y antecedentes de caracterización física/geológica. Los datos directos 2021–2022 fortalecen la comprensión del espesor, variación vertical y trazabilidad del paquete sedimentario; su uso ambiental se concentra en esos atributos y se complementa con la caracterización contemporánea prevista en el PVA.

Jerarquía	Tipo de fuente	Uso
1	DOF, SEMARNAT, CONAGUA, INEGI, gobiernos estatales	Marco legal, hidrología oficial, delimitaciones y acciones públicas.
2	Artículos científicos revisados por pares	Diagnóstico del lago, dinámica hídrica, biodiversidad, salud y técnicas de restauración.
3	Bases de biodiversidad y redes de conservación	Registros de especies, importancia regional y sensibilidad.
4	Campañas técnicas 2021–2022 de campo y laboratorio en Andocutín y entorno inmediato	Espesor y variabilidad del paquete sedimentario, trazabilidad de núcleos, collares y métodos analíticos; antecedente local, no línea base ambiental actual.
5	Documentación técnica del promovente	Parámetros de diseño, proceso, capacidad, agua y operación.
6	Cálculos de gabinete	Superficies, distancias, porcentajes, balances y escenarios derivados de parámetros identificados.

Antecedentes directos integrados. La campaña regional de 2021 comprendió siete sondeos y 510.5 m de perforación; el sondeo CZ04, de 63 m, se encuentra en el entorno inmediato del AP. En noviembre de

2022 se ejecutaron 24 sondeos adicionales en Andocutín, con 512.2 m acumulados, 255 muestras y recuperación promedio de núcleo de 94.55%. Del 15 al 18 de diciembre de 2022 se verificaron en campo los 24 collares de esa campaña y dos collares regionales mediante posicionamiento GPS. El Anexo K documenta la relación espacial, la metodología de muestreo, los métodos analíticos y las limitaciones de uso ambiental de esta información.

IV.4.3 Evaluación de impactos

La matriz de impactos conserva la trazabilidad entre fase/actividad, mecanismo, receptor, consecuencia, carácter, atributos, medidas e indicadores. La evaluación se estructura por vías causales para evitar contar varias veces un mismo efecto y separa los impactos ambientales de los riesgos regulatorios o documentales. Los efectos adversos y positivos se someten a criterios comunes de magnitud, extensión, duración, probabilidad, sensibilidad y acumulación. Para los adversos se determina residualidad después de medidas; para los positivos se establece una significancia esperada y la condición que debe verificarse para reconocer el beneficio. El cambio permanente del sustrato y la morfología dentro del AP se mantiene como impacto adverso alto, mientras que el aumento de capacidad y profundidad se evalúa separadamente como resultado positivo directo.

IV.4.4 Balances

Los balances de masa y agua separan capacidad nominal, supuestos de disponibilidad, sensibilidades de densidad y objetivos de recirculación. La envolvente geométrica máxima se mantiene separada del throughput. El desempeño real de recirculación y retorno se verificará operacionalmente mediante mediciones de caudal, balance hídrico y calidad.

IV.4.5 Programa de Vigilancia Ambiental

El PVA integra once programas, 70 medidas y criterios de paro vinculados a las vías de efecto de la matriz. Además del control de impactos adversos, incorpora un programa específico de verificación del desempeño de la rehabilitación. La frecuencia va desde control continuo y diario hasta verificaciones por celda y revisiones mensuales, trimestrales y anuales. Las bitácoras constituyen evidencia documental del cumplimiento y permiten reconstruir tanto la historia de la intervención como el desempeño real de los resultados de rehabilitación evaluados.

IV.4.6 Limitaciones de interpretación

Los datos regionales de calidad, biodiversidad y sedimentos se utilizan como contexto del SAR y del All. Los antecedentes técnicos 2021–2022 aportan caracterización física y geológica, trazabilidad local y referencia de variabilidad vertical; su cobertura espacial difiere del polígono actual, con un sondeo de 2022 dentro del AP y los restantes en el entorno inmediato. El expediente histórico documenta controles analíticos de laboratorio y una ausencia de protocolo detallado de QA/QC de campo con duplicados, remuestreos o sondeos gemelos. En consecuencia, esta información histórica se emplea para estratigrafía, continuidad física, variabilidad y trazabilidad, mientras que la condición ambiental contemporánea se verifica mediante la caracterización previa a cada frente y el PVA. La profundidad media regional de 1.6 m se utiliza como referencia morfológica regional. Los beneficios de rehabilitación se confirmarán mediante los indicadores del PVA durante la ejecución.

IV.4.7 Síntesis de suficiencia técnica

La información disponible permite caracterizar con solidez el contexto regional y añade un antecedente técnico local de alta resolución para el medio físico: collares georreferenciados, núcleos, registros, muestras y métodos analíticos del sector Andocutín. La combinación mejora la base para definir la huella, evaluar la factibilidad física del máximo localizado, diseñar la secuencia por celdas y orientar el monitoreo. La medición contemporánea se concentrará en la calidad ambiental de sedimentos y agua dentro de cada frente, respuesta hidrodinámica, condición biológica y balance hídrico real. Estas variables se integran a la verificación previa, monitoreo operativo, criterios de paro y manejo adaptativo durante la vida útil.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2022. Plan Emergente para la Rehabilitación del Lago de Cuitzeo: saneamiento ante la degradación y contaminación. Gobierno de México.
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/plan-emergente-para-la-rehabilitacion-del-lago-de-cuitzeo-saneamiento-ante-la-degradacion-y-contaminacion>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2022. Presenta Agricultura Plan Emergente para la Rehabilitación del Lago de Cuitzeo. Gobierno de México.
<https://www.gob.mx/agricultura/prensa/presenta-agricultura-plan-emergente-para-la-rehabilitacion-del-lago-de-cuitzeo>
- Gobierno de Michoacán. 2026. Michoacán rehabilitará 60 hectáreas del lago de Cuitzeo.
<https://michoacan.gob.mx/noticias/michoacan-rehabilitara-60-hectareas-del-lago-de-cuitzeo/>
- Comisión de Pesca del Estado de Michoacán. 2025. Programa para rehabilitar más de 60 hectáreas del Lago de Cuitzeo. <https://compesca.michoacan.gob.mx/inicia-programa-para-rehabilitar-mas-de-60-hectareas-del-lago-de-cuitzeo-compesca/>
- Secretaría del Campo de Guanajuato. 2024. Siembra Secretaría del Campo 400 mil peces en Acámbaro; 250 mil crías en el Lago de Cuitzeo. <https://boletines.guanajuato.gob.mx/2024/11/26/siembra-secretaria-del-campo-400-mil-peces-en-acambaro/>
- Torres et al. 2026. Lake Cuitzeo, Michoacán, México: Effects of Environmental Deterioration. Lakes & Reservoirs. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/lre.70022>
- Multi-temporal study of climate change impacts on Cuitzeo Lake, México. 2025. Discover Water. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43832-025-00277-z>
- Trueba-Regalado, R.; Albaladejo-García, J.A.; Chacón-Torres, A.; Ortiz-Paniagua, C.F.; Martínez-Paz, J.M. 2025. Economic Valuation of the Public Health Impacts of Wetland Degradation: The Case of Lake Cuitzeo (Mexico). Land 14(9):1908. <https://doi.org/10.3390/land14091908>
- Secretaría de Salud de Michoacán. 2024. SSM realiza operativo sanitario para prevenir enfermedades por tolveneras. <https://salud.michoacan.gob.mx/ssm-realiza-operativo-sanitario-para-prevenir-enfermedades-por-tolvaneras/>
- WHSRN (WHSRN). Lago de Cuitzeo. https://whsrn.org/es/whsrn_sites/lago-de-cuitzeo/
- Monterrubio-Rico, T. et al. 2020. Nueva localidad de reproducción para Charadrius nivosus en el centro de México. Huitzil 21(1). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-74592020000100204&script=sci_arttext
- Rojas Moreno, J. y Novelo Retana, A. Flora y vegetación acuáticas del Lago de Cuitzeo. Acta Botánica Mexicana. <https://abm.ojs.inacol.mx/index.php/abm/article/view/733>
- Monterrubio-Rico, T. et al. 2019. Mamíferos silvestres de la cuenca de Cuitzeo. Acta Universitaria. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662019000100122&script=sci_arttext
- Xiang, H. et al. 2024. Is dredging an effective ecological restoration method to improve water quality in freshwater ecosystems? Ecological Engineering 207:107425. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107425>
- Wan, W. et al. 2025. Global meta-analysis of ecological restoration performance of dredging. Water Research. Referencia de revisión global citada en literatura de restauración lacustre.
- INEGI. 2020. Cuenca hidrológica Lago de Cuitzeo. Humedales. Informe técnico. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197094.pdf
- CONAGUA / Diario Oficial de la Federación. 2026. Información de disponibilidad superficial y variables hidrológicas de la cuenca Lago de Cuitzeo. <https://dof.gob.mx/2026/02/27/>
- Cámara de Diputados. Ley de Aguas Nacionales, texto vigente 2026. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>
- Diario Oficial de la Federación. 2025. Decreto por el que se expide la Ley General de Aguas y se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. 11 de diciembre de 2025.
- Diario Oficial de la Federación. 2022. NOM-001-SEMARNAT-2021, límites permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la Nación.

- Diario Oficial de la Federación. 2019. Modificación del Anexo Normativo III de la NOM-059-SEMARNAT-2010.
- Diario Oficial de la Federación. 2026. Acuerdo de simplificación del trámite SEMARNAT-04-003, 1 de abril de 2026.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2026. FF-SEMARNAT-141, Recepción, evaluación y resolución de la manifestación de impacto ambiental en su modalidad regional, sin actividad altamente riesgosa y con actividad altamente riesgosa. Formato publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1 de abril de 2026.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2026. Guía para la presentación y entrega de la Manifestación de Impacto Ambiental, aplicable al trámite SEMARNAT-04-003, dada a conocer mediante el artículo Décimo Segundo del Acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1 de abril de 2026.
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, artículo 13.
- Data México / Secretaría de Economía. Acámbaro, población 2020: 108,697 habitantes.
<https://economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/acambaro>
- Data México / Secretaría de Economía. Zinapécuaro, población 2020: 49,005 habitantes.
<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/zinapecuaro>
- Rivera-Calderón, A. y Álvarez, R. 2023. Marco geológico y tectónico de la cuenca de Cuitzeo; referencia científica regional utilizada para caracterización del medio físico.
- Israde-Alcántara, I. et al. 2010. Registro sedimentario de Cuitzeo y reconstrucción paleoambiental basada en núcleo de aproximadamente 27 m; referencia regional, no línea base del AP.
- Cram-Heydrich, S. et al. 2011. Distribución espacial de elementos traza en sedimentos superficiales del Lago de Cuitzeo; antecedente regional de heterogeneidad.
- Villalobos-Castañeda, B. et al. 2010. Fraccionamiento y movilidad potencial de elementos en sedimentos del Lago de Cuitzeo; antecedente regional.
- Morton-Bermea, O. et al. 2011. Caracterización regional de sedimentos del Lago de Cuitzeo y relación con aportes fluviales.
- Tecnología de Fitorremediación, S.A. de C.V. 2026. Memoria descriptiva del proyecto y balance conceptual de masa y agua.
- Tecnología de Fitorremediación, S.A. de C.V. 2026. Ingeniería de regeneración del agua: plasma frío y nanoburbujas ionizadas. Presentación técnica.
- Tecnología de Fitorremediación, S.A. de C.V. 2020. Escritura constitutiva y documentación corporativa. Expediente técnico de campo del sector Andocutín. 2021–2022. Registros de perforación, coordenadas de collares, recuperación de núcleo, bitácoras de muestreo y verificación en campo. Documentación técnica del proyecto.
- ALS Global. 2021–2022. Certificados analíticos y registros de preparación de muestras asociados a campañas de sedimentos y núcleos del Lago de Cuitzeo y sector Andocutín. Documentación técnica del proyecto.
- Servicio Geológico Mexicano, Centro Experimental Chihuahua. 2021–2022. Caracterización de arcillas y análisis multielemento de muestras seleccionadas del Lago de Cuitzeo mediante métodos 32A-23 y 32A-31, difracción de rayos X y microscopía. Documentación técnica del proyecto.

ANEXO A. MATRIZ INTEGRAL DE IMPACTOS

La matriz se reorganiza por vías causales para separar impactos adversos de efectos positivos de rehabilitación. Se consolidan duplicidades de una misma cadena actividad–mecanismo–receptor y se excluyen del conteo ambiental los asuntos que corresponden exclusivamente a cumplimiento documental o valoración regulatoria preliminar. La matriz resultante identifica 26 vías de efecto: 11 adversas y 15 positivas. Para los efectos positivos, la categoría expresa un resultado esperado o condicionado que deberá demostrarse mediante los indicadores del PVA; no constituye una garantía previa.

ID	Carácter	Fase / actividad	Receptor / función	Efecto evaluado	Referencia sin diseño/medidas	Con diseño / residual
IA-01	Adverso	Preparación / planta externa	Suelo / cobertura	Transformación y compactación localizada en predio externo.	Moderado	Bajo
IA-02	Adverso	Preparación, transporte y operación	Aire / ruido / movilidad	Polvo, ruido, emisiones, tránsito y molestias temporales.	Moderado	Bajo
IA-03	Adverso	Presencia de maquinaria y personal	Fauna terrestre y lacustre	Perturbación, desplazamiento o riesgo de mortalidad evitable.	Alto	Moderado
IA-04	Adverso	Excavaciones y tránsito terrestre	Patrimonio cultural	Afectación accidental de vestigios o bienes culturales.	Alto	Bajo
IA-05	Adverso	Remoción por celdas	Sustrato / morfología	Reemplazo permanente de la configuración y del paquete sedimentario intervenido dentro del AP.	Alto	Alto
IA-06	Adverso	Profundización y configuración de celdas	Hidrodinámica / interacción subsuperficial	Cambio local no deseado de rutas de flujo, conectividad, residencia o interacción superficial-subsuperficial.	Alto	Moderado
IA-07	Adverso	Dragado, excavación y manejo de sedimentos	Agua / sedimentos	Turbidez, resuspensión y cambios fisicoquímicos durante la remoción.	Alto	Moderado
IA-08	Adverso	Perturbación de horizontes	Geoquímica / agua	Movilización temporal de sales, nutrientes u otros constituyentes presentes.	Alto	Moderado
IA-09	Adverso	Remoción del fondo	Bentos / fauna acuática	Pérdida local de bentos y perturbación/desplazamiento de fauna en el frente activo.	Alto	Moderado
IA-10	Adverso	Intervención de zonas someras y presencia humana	Aves / vegetación / hábitat somero	Perturbación temporal o transformación localizada de áreas de alimentación, descanso o reproducción.	Alto	Moderado
IA-11	Adverso	Proceso, sustancias, corrientes y accesos	Agua / suelo / usuarios	Fugas, derrames, manejo fuera de especificación o interferencia temporal con pesca, navegación, accesos o movilidad.	Alto	Bajo
IB-01	Positivo directo	Remoción progresiva sin relleno	Capacidad hídrica	Incremento de capacidad física de almacenamiento dentro de las celdas.	Nulo sin proyecto	Positivo alto
IB-02	Positivo directo	Perfilado variable por celda	Profundidad funcional	Aumento de profundidad y creación de refugios/zonas de mayor columna de agua.	Nulo sin proyecto	Positivo alto
IB-03	Positivo directo	Recirculación y retorno	Conservación del agua	Conservación dentro del sistema del agua manipulada por el proyecto.	Nulo sin proyecto	Positivo alto
IB-04	Positivo condicionado	Capacidad + conectividad	Hidroperiodo	Mayor permanencia local de agua cuando exista disponibilidad hídrica.	Tendencia sin proyecto	Positivo alto condicionado
IB-05	Positivo condicionado	Mayor capacidad / hidroperiodo	Lecho expuesto	Reducción potencial de superficie seca recurrente en celdas rehabilitadas.	Tendencia sin proyecto	Positivo moderado condicionado
IB-06	Positivo condicionado	Menor lecho expuesto	Aire / salud / calidad de vida	Reducción potencial de erosión eólica y tolvaneras en el sector intervenido.	Tendencia sin proyecto	Positivo moderado condicionado
IB-07	Positivo directo	Tratamiento de agua	Calidad de la corriente manipulada	Retorno únicamente después de tratamiento y verificación de calidad.	Sin tratamiento específico	Positivo moderado

MIA REGIONAL | REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ANDOCUTÍN – LAGO DE CUITZEO

ID	Carácter	Fase / actividad	Receptor / función	Efecto evaluado	Referencia sin diseño/medidas	Con diseño / residual
IB-08	Positivo directo	Separación y despacho	Sedimentos / vaso	Retiro definitivo del lago del material sólido intervenido y corrientes separadas.	Material permanece en vaso	Positivo alto
IB-09	Positivo directo	Diseño de cierre por celdas	Heterogeneidad de hábitat	Creación de mosaico de profundidades y conservación de transiciones someras.	Nulo sin proyecto	Positivo alto
IB-10	Positivo condicionado	Cierre progresivo	Hábitat acuático	Recuperación progresiva de superficies funcionales después de la perturbación.	Tendencia sin proyecto	Positivo alto condicionado
IB-11	Positivo condicionado	Estabilización post-cierre	Bentos	Recolonización bentónica de sustratos estables.	Tendencia sin proyecto	Positivo moderado condicionado
IB-12	Positivo condicionado	Hábitat + calidad + coordinación oficial	Peces / pesca	Mejores condiciones para peces y apoyo a repoblamiento oficial.	Tendencia sin proyecto	Positivo alto condicionado
IB-13	Positivo condicionado	Mosaico hídrico y baja perturbación post-cierre	Aves acuáticas / playeras	Condiciones para recolonización natural y uso de hábitats recuperados.	Tendencia sin proyecto	Positivo moderado condicionado
IB-14	Positivo condicionado	Recuperación hidráulica / accesos compatibles	Pesca / navegación	Mejores condiciones potenciales para usos lacustres compatibles.	Tendencia sin proyecto	Positivo moderado condicionado
IB-15	Co-beneficio positivo	Operación, monitoreo y recuperación funcional	Servicios ecosistémicos / economía local	Contribución potencial a calidad de vida, empleo y proveeduría local.	Nulo atribuible al proyecto	Positivo moderado condicionado

ANEXO B. PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL — MEDIDAS OPERATIVAS

Las medidas se aplican durante preparación, operación, cierre progresivo y cierre final. Los criterios de retorno de agua se armonizan con el esquema vigente: retorno continuo y distribuido únicamente después de tratamiento y verificación, con suspensión y retratamiento ante desviaciones. A las medidas de prevención y control se incorpora un bloque específico de verificación del desempeño de la rehabilitación, cuyo objeto es demostrar con evidencia de campo si los resultados positivos evaluados se materializan en cada celda.

ID	Programa	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-001	PVA-01	Todas las fases	Geocercado digital del AP y de cada celda operativa.	Cargar polígono autorizado y celdas en equipos de navegación/GIS; ninguna excavación, tránsito operativo o depósito podrá ocurrir fuera de la huella autorizada salvo obra expresamente evaluada.	% de eventos fuera de huella	Diaria y cierre de turno
M-002	PVA-01	Extracción / remoción	Control de profundidad máxima localizada de 20 m.	Definir para cada celda la profundidad de diseño y conservar un límite absoluto de 20 m respecto de la superficie de referencia adoptada para el frente; registrar profundidad alcanzada.	Profundidad máxima por frente	Continua y cierre de frente
M-003	PVA-01	Extracción / remoción	Control del volumen acumulado autorizado.	Registrar diariamente volumen y tonelaje retirados por celda y acumulados del proyecto. El avance deberá permanecer por debajo del volumen máximo finalmente autorizado por SEMARNAT/CONAGUA.	Volumen acumulado / volumen autorizado	Diaria / mensual
M-004	PVA-01	Extracción / remoción	Operación progresiva por celdas con frente activo limitado.	Cada programa anual definirá celdas activas y secuencia. No se abrirán frentes adicionales fuera del programa anual sin revisión ambiental interna y actualización de la matriz de impactos.	Frentes activos vs frentes programados	Semanal
M-005	PVA-01	Extracción / remoción	Prohibición de barreras hidráulicas no diseñadas.	No formar bordos, pilas, terraplenes o pasos que corten transversalmente flujos o generen aislamiento de sectores salvo que estén expresamente diseñados y autorizados.	Obstrucciones no diseñadas	Diaria
M-006	PVA-01	Extracción / remoción	Mantener geometrías operativamente estables y limitar superficies abiertas.	Evitar taludes o paredes inestables; cualquier falla, socavación o migración de material fuera de celda activa deberá corregirse antes de continuar.	Eventos de inestabilidad	Diaria / después de lluvia o variación de nivel
M-007	PVA-01	Todas las fases	Control de cambios del proyecto.	Todo cambio material en capacidad, profundidad, volumen, reactivos, producto, agua, ubicación de planta, descargas o rutas deberá pasar por evaluación regulatoria antes de ejecutarse.	Cambios materiales ejecutados sin revisión	Por cambio / mensual
M-008	PVA-02	Extracción / remoción	Control espacial de pluma de turbidez.	Reducir caída libre, agitación y manipulación innecesaria. La pluma visible deberá permanecer asociada al frente y no afectar zonas sensibles o accesos fuera de la celda.	Extensión de pluma fuera de celda	Durante operación / cada turno
M-009	PVA-02	Extracción / remoción	Vigilancia comparativa de parámetros de campo cuando exista agua.	Medir, cuando técnicamente sea posible, pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto en un punto de control y uno próximo al frente, interpretando variaciones de forma comparativa y no como línea base histórica.	Registro comparativo pH/CE/T/OD	Semanal durante frentes con agua / ante incidente
M-010	PVA-02	Extracción / remoción	Criterio de paro por mortalidad o atrapamiento de fauna acuática.	No continuar trabajos cuando se observe mortalidad atribuible, atrapamiento masivo o concentración vulnerable dentro del frente.	Mortalidades/incidentes de atrapamiento	Continua
M-011	PVA-02	Extracción / remoción	Paro ante surgencia o ingreso de agua no previsto.	Toda surgencia sostenida, flujo ascendente o cambio hidrogeológico no previsto durante excavación se tratará como condición de revisión antes de profundizar.	Surgencias no previstas	Continua
M-012	PVA-02	Extracción / remoción	Protocolo hidrometeorológico de suspensión.	No operar frentes cuando exista alerta oficial relevante, incremento rápido del nivel, lluvia/tormenta que comprometa control del frente, visibilidad o estabilidad.	Suspensiones por condición hidrometeorológica	Diaria / continua durante evento
M-013	PVA-02	Planta / proceso	Medición obligatoria del agua de reposición.	Instalar medición de agua de reposición/captación y llevar balance operativo; ningún consumo podrá exceder el título o autorización aplicable.	Agua de reposición	Diaria / mensual
M-014	PVA-02	Planta / proceso	Medición de recirculación real, sin asumir 95%.	Calcular periódicamente el porcentaje real de recirculación con caudales medidos. No presentar 95% como hecho hasta que lo demuestre la operación.	% recirculación real	Mensual
M-015	PVA-02	Planta / proceso	Control estricto del retorno de agua tratada.	Retornar al lago únicamente agua tratada, en puntos autorizados, con verificación de calidad y cumplimiento de la regulación aplicable; cualquier corriente fuera de especificación se recircula para retratamiento.	Descargas no autorizadas	Continua / mensual

MIA REGIONAL | REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ANDOCUTÍN – LAGO DE CUITZEO

ID	Programa	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-016	PVA-02	Todas las fases	Revisión hidrológica operacional anual.	Integrar anualmente avance de frentes, volumen retirado, incidentes de conectividad, condición húmeda/seca y restricciones oficiales para decidir el ritmo del siguiente año.	Revisión anual emitida	Anual
M-017	PVA-03	Preparación / extracción	Revisión visual previa a la apertura de cada frente.	Antes de abrir una celda, realizar recorrido visual documentado para detectar nidos, pollos, concentraciones de aves, vegetación emergente sensible o fauna vulnerable.	Frentes revisados antes de apertura	Antes de cada nuevo frente
M-018	PVA-03	Extracción / remoción	Protección reforzada de chorio nevado y otras especies en riesgo.	Todo registro de chorio nevado, nido, pollo o comportamiento reproductivo en zona de influencia inmediata activará exclusión temporal del frente. La amplitud de exclusión se definirá conservadoramente según condición observada y, cuando proceda, indicación de autoridad/especialista.	Eventos de exclusión por especie en riesgo	Continua durante temporada/operación
M-019	PVA-03	Extracción / remoción	Mantener mosaico de áreas no intervenidas y evitar ocupación simultánea extensa.	La secuencia de celdas deberá conservar zonas no activas contiguas o cercanas que funcionen como refugio/uso alternativo, evitando intervenir simultáneamente toda la superficie disponible.	Proporción de AP con frentes activos	Mensual
M-020	PVA-03	Extracción / planta	Iluminación mínima, dirigida y sin dispersión innecesaria.	Usar luminarias apantalladas y dirigidas a zonas de trabajo; evitar iluminación del vaso y de hábitats no operativos cuando no sea necesaria por seguridad.	Incidencias de iluminación fuera de huella	Mensual / por queja
M-021	PVA-03	Transporte / operación	Prevención de atropellamiento y persecución de fauna.	Limitar velocidad en caminos internos/rurales, prohibir persecución/captura y registrar toda mortalidad o fauna encontrada en la vía.	Atropellamientos atribuibles	Diaria
M-022	PVA-03	Extracción / remoción	No remover vegetación fuera de la celda autorizada.	Delimitar previamente parches de vegetación emergente/halófila visibles y restringir maquinaria a la huella operativa. La remoción sólo ocurrirá cuando sea parte expresa del frente autorizado.	Afectación fuera de huella	Antes y durante cada frente
M-023	PVA-03	Todas las fases	Bitácora única de fauna y eventos sensibles.	Registrar especie o descripción, fecha, coordenada, conducta, mortalidad, nido, medida tomada y evidencia fotográfica. Los registros se usarán para adaptar rutas/frentes.	Registros completos	Mensual
M-024	PVA-04	Planta / proceso	Balance de agua de planta con medición de entradas, recirculaciones, purgas y salidas.	Ninguna corriente de agua quedará sin destino definido. El balance será conciliado con producción para detectar pérdidas o descargas no previstas.	Error de cierre de balance / corrientes sin destino	Mensual
M-025	PVA-04	Planta / proceso	Contención secundaria y piso impermeable para sustancias y soluciones de proceso.	Tanques, recipientes y zonas de dosificación deberán contar con contención apropiada y drenaje segregado; no usar suelo natural como contención.	Inspecciones conformes	Semanal
M-026	PVA-04	Planta / proceso	Inventario maestro de sustancias con CAS, concentración y máximo simultáneo.	Antes de usar cualquier reactivo, registrar identidad, concentración, inventario máximo, SDS, incompatibilidades y almacenamiento. El inventario maestro servirá como base de control para verificar permanentemente el cumplimiento de los criterios aplicables a Actividades Altamente Riesgosas.	Sustancias con expediente completo	Antes de ingreso / mensual
M-027	PVA-04	Planta / proceso	Verificación de inventarios y condiciones de manejo frente a los listados y umbrales aplicables a Actividades Altamente Riesgosas.	Comparar sustancias, forma física, concentración e inventario máximo simultáneo contra los listados y umbrales vigentes. Cualquier incremento o modificación que pueda cambiar la condición regulatoria deberá revisarse previamente a su implementación.	Valoración preliminar actualizada	Antes de operación y ante cambio
M-028	PVA-04	Planta / proceso	Sistemas cerrados y control de emisiones para ozono y otros reactivos volátiles.	El ozono generado in situ y cualquier otro reactivo volátil se manejarán en sistemas cerrados o con ventilación/localización adecuada, minimizando inventarios y exposición.	Eventos de exposición / desviaciones de ventilación	Continua / por evento
M-029	PVA-04	Planta / proceso	Compatibilidad y segregación de reactivos.	Almacenar incompatibles separados; etiquetar; disponer de contención y equipos de respuesta compatibles con las SDS.	No conformidades de almacenamiento	Semanal
M-030	PVA-04	Planta / proceso	Gestión cerrada de purgas y remanentes líquidos.	Toda purga o solución que no se recircule tendrá tanque/recipientes identificado y destino autorizado; se prohíbe el vaciado por conveniencia operativa.	Volumen de purgas con destino trazable	Por evento / mensual
M-031	PVA-04	Planta / proceso	Consistencia obligatoria PFD-MIA-operación.	El proceso operado, reactivos, productos, subproductos y corrientes deberán corresponder al PFD y descripción autorizada. Se realizará revisión de consistencia antes de arranque y anualmente.	Desviaciones materiales	Pre-arranque / anual
M-032	PVA-05	Planta / proceso	Almacenamiento contenido y cubierto de corriente secundaria de sales.	Evitar contacto con lluvia/suelo y pérdida eólica; utilizar recipientes o áreas impermeables, etiquetadas y con capacidad suficiente.	Pérdidas de contención / stock sin control	Semanal
M-033	PVA-05	Planta / proceso	Trazabilidad por lote de materiales, sales y producto.	Cada lote deberá contar con origen, fecha, cantidad, condición, receptor y documentación de entrega. No habrá salidas 'sin clasificación'.	Lotes con trazabilidad completa	Por lote / mensual

MIA REGIONAL | REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ANDOCUTÍN – LAGO DE CUITZEO

ID	Programa	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-034	PVA-05	Planta / proceso	Liberación de material tratado sólo contra especificación y receptor definido.	No comercializar, donar ni enviar material tratado a proyectos de gobierno/agricultura/relleno sin especificación de aceptación y documentación de receptor. Material off-spec seguirá ruta alternativa legal.	% material conforme / off-spec	Por lote
M-035	PVA-05	Todas las fases	Segregación, etiquetado y manejo conforme a clasificación aplicable.	Separar residuos urbanos, manejo especial y peligrosos cuando corresponda; aplicar NOM-052/053/054 según características y enviar a gestores autorizados.	Residuos con clasificación/destino	Mensual
M-036	PVA-05	Cierre / restauración	Inventario cero de remanentes sin destino al cierre.	Antes de abandono, identificar y retirar sustancias, soluciones, residuos, pilas, estructuras no requeridas y materiales fuera de especificación.	Remanentes sin destino	Mensual durante cierre
M-037	PVA-06	Preparación / transporte	Control de polvo en caminos, patios y cargas.	Cubrir cargas, evitar sobrellenado, limpiar derrames, ajustar velocidad y aplicar humectación sólo cuando sea compatible con manejo del material y disponibilidad de agua.	Quejas / plumas de polvo / derrames	Diaria
M-038	PVA-06	Preparación / planta	Control de ruido por mantenimiento, ubicación y horario.	Mantener silenciadores/equipos; actividades no continuas de mayor ruido se programarán en horario diurno cuando sea viable. Cumplir NOM-081 cuando sea aplicable.	Quejas / mediciones cuando proceda	Mensual / por queja
M-039	PVA-06	Transporte	Plan de rutas y ventanas de tránsito.	Definir rutas autorizadas, evitar centros poblados y bienes culturales sensibles cuando sea viable, establecer ventanas horarias y señalización.	Viajes fuera de ruta / incidentes	Diaria / mensual
M-040	PVA-06	Transporte	Límites de velocidad y conducción defensiva.	Establecer límites por tipo de camino y zonas pobladas; capacitación y control de fatiga. Cualquier accidente grave activa revisión de ruta.	Accidentes / infracciones	Diaria / mensual
M-041	PVA-06	Transporte	Inspección de vehículos y contención de carga.	Vehículos para sedimento/lodos deberán evitar escurrimientos y pérdida de carga; inspección de compuertas, lonas y estado antes de salida.	Unidades conformes	Cada viaje / turno
M-042	PVA-06	Planta / transporte	Indicadores de intensidad energética y combustible.	Registrar kWh y combustibles por tonelada procesada para detectar ineficiencias; no utilizar el indicador como compensación de impactos directos.	kWh/t; combustible/t	Mensual
M-043	PVA-07	Preparación / todas	Protocolo de hallazgo fortuito y protección de bienes históricos.	Cualquier vestigio arqueológico/histórico detendrá trabajos locales; no mover/limpiar; proteger y notificar INAH. Rutas evitarán Estación Andocutín y otros bienes sensibles cuando sea viable.	Hallazgos gestionados conforme protocolo	Continua / por evento
M-044	PVA-07	Todas las fases	Mecanismo formal de atención de quejas y compromisos.	Habilitar canal de recepción, folio, responsable, fecha, investigación, respuesta y cierre. No se cerrará una queja sin evidencia de respuesta.	Quejas abiertas > plazo interno	Continua / mensual
M-045	PVA-07	Extracción / transporte	Mantener accesos y corredores de uso tradicional cuando sean compatibles con seguridad.	Antes de intervenir zonas que puedan afectar accesos, navegación, pesca, tule u otros usos, identificar usuarios y mantener alternativas o avisos temporales.	Interrupciones no programadas de acceso	Antes de cada frente / por cambio de ruta
M-046	PVA-07	Todas las fases	Información transparente sobre alcance y cambios relevantes.	Comunicar de forma comprensible alcance, horarios, rutas, medidas y canales de contacto; no presentar beneficios no demostrados ni minimizar impactos.	Comunicaciones / reuniones documentadas	Trimestral / antes de cambios relevantes
M-047	PVA-07	Transversal	Contratación y proveeduría local sólo como compromiso verificable.	Si el promotor adopta política local, definir criterios transparentes y reportar empleos/compras locales. No usuario para compensar impactos ambientales.	Empleos/compras locales	Trimestral
M-048	PVA-07	Transversal	No atribuir mejora pesquera/navegación sin evidencia operacional.	Cualquier efecto positivo por desazolve se reportará sólo donde exista mecanismo observado y sin extrapolar a todo el lago.	Beneficio documentado	Anual
M-049	PVA-08	Preparación / planta	Minimizar huella de planta externa y restaurar áreas temporales.	Priorizar predio previamente intervenido cuando sea viable; delimitar huella, conservar drenajes y restaurar superficies temporales al concluir su uso.	ha permanentes vs temporales / ha restauradas	Mensual / al cierre de obra
M-050	PVA-08	Extracción / remoción	Cierre progresivo de frentes.	Un frente que deje de ser operativo deberá ponerse en condición física estable, retirar equipos/materiales temporales y quedar sin barreras u objetos abandonados.	Frentes cerrados / frentes inactivos	Mensual
M-051	PVA-08	Cierre	Criterios de estabilidad y seguridad al cierre.	No declarar cerrado un frente con taludes inestables, accesos peligrosos, obstrucciones hidráulicas o riesgos para usuarios/fauna.	Frentes con observaciones por cerrar	Por frente
M-052	PVA-08	Cierre	Desmantelamiento limpio y retiro total de corrientes remanentes.	Vaciar, limpiar y desmantelar sistemas no requeridos; manejar aguas/residuos/remanentes conforme a su clasificación y autorización.	Elementos/remanentes por retirar	Mensual durante cierre
M-053	PVA-08	Cierre / post-cierre	Verificación post-cierre de estabilidad y ausencia de pasivos.	Realizar inspecciones posteriores de frentes cerrados para detectar erosión, residuos, barreras, riesgos o problemas de acceso.	Observaciones post-cierre abiertas	Trimestral durante primer año post-cierre de cada frente; después según desempeño

MIA REGIONAL | REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ANDOCUTÍN – LAGO DE CUITZEO

ID	Programa	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-054	PVA-09	Todas las fases	Plan integrado de respuesta a emergencias ambientales.	Mantener procedimientos para derrame, pérdida de carga, falla de contención, lluvia/inundación, exposición química y descarga no autorizada, con responsables y contactos.	Simulacros / incidentes con respuesta documentada	Semestral / por incidente
M-055	PVA-09	Transporte / planta	Kits y capacidad de contención disponibles en puntos de riesgo.	Equipos de respuesta compatibles con materiales transportados/almacenados deberán estar accesibles y con inspección vigente.	% puntos críticos con kit conforme	Mensual
M-056	PVA-09	Todas las fases	Paros automáticos por fauna reproductiva y hallazgo cultural.	Los triggers definidos en PVA-03 y PVA-07 tendrán prioridad sobre continuidad operativa local.	Paros activados y atendidos	Por evento / trimestral
M-057	PVA-09	Todas las fases	Notificación y documentación de incidentes relevantes.	Definir matriz interna de incidentes que requieren aviso a autoridad conforme a permiso, ley o resolutivo; conservar cronología y evidencia.	Incidentes notificables atendidos en plazo	Por incidente
M-058	PVA-10	Todas las fases	Tablero mensual de desempeño ambiental.	Consolidar avance físico, agua, incidentes, fauna, quejas, residuos, frentes activos/cerrados y triggers en un tablero único para detectar tendencias.	Tablero emitido	Mensual
M-059	PVA-10	Todas las fases	Evaluación acumulativa anual y decisión de ritmo.	Comparar avance acumulado con condición regional documentada, sequía/alertas, frentes cerrados vs activos, incidentes y receptores sociales; decidir mantener, reducir o reordenar actividad.	Informe acumulativo anual	Anual
M-060	PVA-10	Todas las fases	Auditoría interna anual de consistencia y cumplimiento.	Revisar PFD, MIA, autorizaciones, CONAGUA, inventarios, rutas, PVA, bitácoras y compromisos; documentar hallazgos y planes de acción.	Hallazgos abiertos / cerrados	Anual
M-061	PVA-10	Todas las fases	Repositorio maestro de evidencia y trazabilidad.	Conservar en estructura controlada mapas, bitácoras, fotos, mediciones, quejas, manifiestos, SDS, incidentes, reportes de cierre y auditorías con versión/fecha/responsable.	% registros obligatorios disponibles	Mensual / anual
M-062	PVA-11	Antes y después de cada celda	Línea de referencia y cierre geométrico de cada celda.	Registrar geometría, cotas, superficie y condición seca/húmeda antes de intervenir; repetir levantamiento al cierre con método comparable.	% celdas con comparación antes/después	Por celda
M-063	PVA-11	Cierre progresivo	Cuantificación de capacidad física recuperada.	Calcular volumen adicional resultante de la geometría final respecto de la referencia adoptada, documentando supuestos y método.	m³ de capacidad adicional por celda	Por celda / anual
M-064	PVA-11	Operación / post-cierre	Seguimiento de hidroperiodo y superficie húmeda/seca.	Registrar mediante observación, GIS o percepción remota la duración/frecuencia de inundación y la superficie húmeda/seca de celdas cerradas, interpretándola con lluvia y nivel regional.	Días con agua / % superficie húmeda	Mensual estacional / anual
M-065	PVA-11	Cierre / post-cierre	Verificación de conectividad hidráulica.	Comprobar que las celdas cerradas no queden aisladas y que las transiciones no generen barreras o erosión no prevista.	% celdas conectadas / observaciones abiertas	Por cierre / después de eventos
M-066	PVA-11	Operación	Balance de conservación y retorno del agua por celda.	Conciliar agua asociada al frente, tratamiento, recirculación, pérdidas e ingreso/retorno al AP, evitando atribuir al proyecto entradas regionales.	m³ tratados, recirculados y retornados	Diaria / mensual / anual
M-067	PVA-11	Operación / post-cierre	Seguimiento de calidad en puntos de retorno y celdas cerradas.	Comparar parámetros de control y tendencias de la corriente retornada; suspender retorno ante incumplimiento y documentar retratamiento.	% retornos conformes / tendencias de calidad	Continua / campaña según programa
M-068	PVA-11	Post-cierre de celda	Seguimiento de recolonización y uso de hábitat.	Registrar evidencia de uso por fauna, vegetación y bentos cuando sea técnicamente observable, sin forzar una composición objetivo no sustentada.	Registros de uso / eventos de recolonización	Trimestral / estacional
M-069	PVA-11	Post-cierre / gestión social	Seguimiento de pesca, navegación y usos compatibles.	Documentar, con autoridades y usuarios cuando proceda, cambios observables en accesibilidad, uso pesquero o navegación sin atribuir causalidad exclusiva al proyecto sin evidencia.	Registros de uso / coordinación	Semestral / anual
M-070	PVA-11	Todas las fases	Informe anual de desempeño de rehabilitación.	Integrar capacidad, hidroperiodo, agua, conectividad, hábitat, usos e impactos residuales; clasificar cada beneficio como demostrado, en proceso o no demostrado y ajustar el programa anual.	Informe emitido y decisiones adaptativas	Anual

ANEXO C. BASE HIDROLÓGICA, DESECACIÓN, TOLVANERAS Y SALUD PÚBLICA

Este anexo consolida los indicadores regionales que justifican la necesidad de rehabilitación del sistema lacustre y la evaluación de una intervención directa sobre el sector Andocutín. Los datos se presentan en su escala original y no se convierten en mediciones del Área del Proyecto cuando proceden de la cuenca o de otros sectores del lago.

C.1 Parámetros hidrológicos regionales

Parámetro	Valor	Unidad	Fuente / escala
SAR - Cuenca Lago de Cuitzeo	3865.73	km ²	CONAGUA/DOF
All - Humedal Lago de Cuitzeo	402.74	km ²	INEGI 2020
AP - Andocutín	1.9912	km ²	Polígono proyecto (~199.12 ha)
AP / All	0.4944132691066197	%	Cálculo de gabinete
AP / SAR	0.0515090293424527	%	Cálculo de gabinete
Precipitación media anual cuenca	778.4	mm/año	INEGI 2020
Temperatura media anual cuenca	17.3	°C	INEGI 2020
Cp - escurrimiento natural medio anual	488.54	Mm ³ /año	DOF 2026
R - retornos	108.829	Mm ³ /año	DOF 2026
Uc - extracción superficial	276.782	Mm ³ /año	DOF 2026
Ev - evaporación en embalses	443.293	Mm ³ /año	DOF 2026
ΔV - variación de almacenamiento	-2.017	Mm ³ /año	DOF 2026
Disponibilidad superficial a la salida	-120.702	Mm ³ /año	Actualización CONAGUA 2023
Profundidad media reportada (estudio 2026)	1.6	m	Lakes & Reservoirs 2026
Profundidad histórica máxima reconstruida	2.5	m	UNAM 2010, campañas 2001-2002
Fluctuación histórica de nivel reportada	2.2	m	UNAM 2010

El balance regulatorio regional muestra una cuenca sometida a presión hídrica, con evaporación elevada y disponibilidad superficial deficitaria. Estas condiciones justifican que la intervención privilegie el aprovechamiento del agua que ya se encuentre asociada a los frentes, la recirculación interna y el retorno del excedente únicamente después de tratamiento y verificación.

C.2 Variabilidad reciente del espejo de agua

Año	Superficie de agua estimada (km ²)
2020	162.6
2021	325.5
2022	253.5
2023	78.9
2024	334.7

La secuencia 2020–2024, obtenida mediante análisis multitemporal con imágenes Landsat, ilustra la sensibilidad extrema del sistema: el área de agua estimada pasó de 253.5 km² en 2022 a 78.9 km² en 2023 y se recuperó a 334.7 km² en 2024. Este comportamiento demuestra que una fotografía de un solo año no describe adecuadamente la condición ambiental de Cuitzeo. El objetivo del proyecto no es fijar artificialmente un nivel regional, sino mejorar la capacidad local y la función hidráulica de las celdas intervenidas dentro de un sistema cuya disponibilidad depende de procesos de cuenca y clima.

Fuente: Rodríguez-Gómez et al. (2025), Multi-temporal study of climate change impacts on Cuitzeo Lake, México, Discover Water 5:90. La información corresponde al lago a escala regional.

C.3 Problemas documentados asociados a la desecación

Problema	Evidencia / mecanismo	Consecuencia ambiental-social
Exposición del lecho	La contracción del espejo de agua deja superficies finas expuestas al viento y a la resuspensión.	Mayor susceptibilidad a erosión eólica, pérdida de hábitat acuático y cambios de paisaje.
Tolvaneras	El Plan Emergente federal reconoce dispersión de material del lecho durante la sequía; la autoridad sanitaria mantiene operativos específicos.	Exposición comunitaria a polvo y necesidad de medidas preventivas de salud.
Pérdida de hábitat	La alternancia extrema entre agua y fondo expuesto modifica refugio, alimentación, reproducción y conectividad.	Presión sobre peces, bentos, anfibios y aves acuáticas/playeras.
Deterioro pesquero	La literatura y planes públicos documentan disminución de productividad y necesidad de rehabilitar zonas de pesca.	Afectación de medios de vida, seguridad alimentaria y actividad económica local.
Concentración de sustancias en sedimentos	La evaporación, descargas y acumulación de materiales pueden concentrar sustancias en el fondo; la distribución es heterogénea.	Obliga a manejo precautorio y a no devolver al lago corrientes sólidas del proceso.
Pérdida de profundidad funcional / azolve	El azolve es reconocido como proceso de deterioro en el Plan Emergente.	Reduce funcionalidad hidráulica y puede favorecer exposición recurrente del fondo en sectores someros.
Vegetación acuática invasiva o excesiva	Programas públicos recientes retiran lirio, tule, carrizo y chuspa por efectos sobre navegación, oxigenación y pesca.	Evidencia de que la rehabilitación física del vaso forma parte de la política de recuperación del lago.

C.4 Salud pública y valoración económica de la degradación

La Secretaría de Salud de Michoacán informó en abril de 2024 que brigadistas realizaban visitas domiciliarias en Cuitzeo para prevenir afectaciones por tolvaneras. Entre los riesgos comunicados por la autoridad se encuentran infecciones gastrointestinales, dermatitis, conjuntivitis y cefaleas; las medidas recomendadas incluyen uso de cubrebocas, sellado de puertas y ventanas, reducción de actividad exterior y vigilancia de la calidad del agua de abastecimiento. La existencia de un operativo sanitario específico confirma que la desecación del lago posee una dimensión de salud pública regional.

Dato	Significado	Criterio de uso en la MIA
97,026	Infecciones respiratorias agudas registradas en el periodo analizado por el estudio de valoración de salud.	Registro regional utilizado por el estudio; no se atribuye causalidad exclusiva a tolvaneras.
11,288	Infecciones intestinales registradas en el periodo analizado.	Registro regional; debe interpretarse junto con múltiples determinantes sanitarios.
>90%	Personas encuestadas preocupadas por la desaparición del humedal y su posible conversión en fuente de infección.	Indicador de percepción y preocupación social.
US\$47.86/hogar/mes	Disposición media a aceptar compensación por daños de salud asociados con degradación.	Valoración contingente, no gasto médico observado.
~US\$485,875/año	Valor agregado estimado por el estudio para la compensación de daños de salud en la población objetivo utilizada.	Estimación económica del estudio, no costo imputable al proyecto.
US\$2.77/hogar/mes	Disposición media a pagar por medidas de gestión para mejorar las condiciones del lago.	Indicador de demanda social por acciones de manejo.
~US\$450,032/año	Valor agregado estimado por el estudio para medidas de gestión ambiental en la región de su encuesta.	Estimación de bienestar, no presupuesto del proyecto.

Fuente principal: Trueba-Regalado et al. (2025), Economic Valuation of the Public Health Impacts of Wetland Degradation: The Case of Lake Cuitzeo (Mexico), Land 14(9):1908. Los resultados provienen de valoración contingente y registros regionales; se utilizan para dimensionar el problema social, no para prometer una reducción cuantificada de enfermedad por efecto del proyecto.

C.5 Congruencia con acciones públicas de rehabilitación

Año	Acción pública	Contenido relevante	Relación con el proyecto
2022	Plan Emergente federal	Recuperar volumen hídrico y sanear el lago; conservar ecosistemas y prevenir/revertir erosión, azolve y proliferación de malezas acuáticas.	Marco de política pública que reconoce la necesidad de rehabilitación integral.
2024	Repoblamiento pesquero en Acámbaro	Siembra de 250,000 crías de tilapia en el Lago de Cuitzeo para familias pesqueras de 10 comunidades, incluida Irámucó.	Precedente para vincular recuperación de hábitat con programas oficiales de pesca.
2025	Rehabilitación de zonas de pesca	Programa estatal para recuperar más de 60 ha mediante retiro de tule, carrizo y chuspata, con objetivos de mejorar profundidad, hidrodinámica, navegación y pesca.	Demuestra que recuperación física del lago se usa como herramienta ambiental y productiva.
2026	Recuperación de aproximadamente 60 ha	Retiro de lirio acuático y tule para fortalecer pesca, oxigenación y zonas productivas.	El Gobierno de Michoacán reportó beneficio directo para 1,200 familias de pescadores.
2026	Restauración de cuenca	Programa estatal de reforestación con 800,000 árboles previstos para Cuitzeo.	Muestra que la recuperación del lago requiere acciones concurrentes de cuenca y vaso.

El proyecto constituye una contribución localizada dentro de una estrategia más amplia y complementa las acciones de saneamiento de descargas, gestión de extracciones, reforestación y conservación de la cuenca. Su aportación específica consiste en intervenir de forma controlada la morfología y el agua del sector Andocutín, mantener fuera del lago las corrientes sólidas generadas y vincular el cambio físico con la recuperación de hábitat y usos compatibles mediante seguimiento ambiental.

ANEXO D. BIODIVERSIDAD, AVIFAUNA Y SENSIBILIDAD ECOLÓGICA

El Lago de Cuitzeo es un humedal de importancia regional para aves y fauna acuática. La caracterización utiliza registros documentales y literatura de escala lago/cuenca; la presencia regional no se convierte automáticamente en presencia actual dentro del AP. Este criterio conservador se complementa con inspección operativa de fauna antes de abrir cada frente.

D.1 Importancia avifaunística

Tema	Evidencia	Detalle	Uso en evaluación
Importancia internacional	Lago de Cuitzeo está designado como sitio de importancia Regional desde febrero de 2010, superficie 44,000 ha.	Más de 20,000 aves playeras anualmente y 1.5% de la población total de Himantopus mexicanus.	Alta; fundamento de sensibilidad ecológica regional.
Abundancia estacional	En temporadas pico se reportan hasta 135,000 aves acuáticas.	La fuente reporta 20 especies de aves bajo categorías de riesgo de NOM-059-2010.	Alta a escala lago; no implica esa abundancia en el AP.
Riqueza acuática	Se reconocen 70 especies de aves acuáticas para Lago de Cuitzeo.	El estudio 2005-2006 muestreó mensualmente 36 parcelas distribuidas en el lago.	Muy útil como línea base histórica sistemática.
Riqueza total	El artículo refiere aproximadamente 250 especies de aves usando el lago y hábitats terrestres circundantes.	El valor se atribuye a observaciones de autores, no a un inventario estandarizado único.	Usar como referencia complementaria, no como conteo cerrado.
Reproducción	Se documentaron 110 registros reproductivos de chorlo nevado, correspondientes al menos a 28 individuos, en Cuitzeo (2013 y 2017).	Primeros registros reproductivos para el lago y Michoacán.	Muy alta relevancia para medidas estacionales.
Andocutín	Existe un registro de Charadrius nivosus en 'Andocutín' (19.945817, -100.855179) en mayo de 2006.	El punto está a ~302 m del borde del polígono AP calculado con las coordenadas actuales.	Es la evidencia avifaunística documental más cercana al AP localizada en esta revisión.
Especies migratorias	Cuitzeo sostiene Calidris bairdii, Calidris himantopus y Phalaropus tricolor, entre otras playeras migratorias.	Uso del sitio como alimentación, descanso e invernada.	Alta relevancia para ruido, tránsito, iluminación y ocupación de playones.
Especies reproductoras	Recurvirostra americana, Himantopus mexicanus, Charadrius vociferus y Anarhynchus nivosus son señaladas como reproductoras.	Playones someros y áreas expuestas pueden ser hábitat reproductivo.	Alta relevancia para programación de frentes.
Especies en riesgo	Entre las especies de atención se encuentran Geothlypis speciosa, Rallus tenuirostris y Vireo atricapilla.	Geothlypis speciosa y Rallus tenuirostris están en P; Vireo atricapilla en P; Snowy Plover en A bajo NOM-059 vigente de trabajo.	Requiere análisis específico por especie y hábitat.

La designación WHSRN cubre aproximadamente 44,000 ha, reconoce más de 20,000 aves playeras anuales y hasta aproximadamente 135,000 aves acuáticas en temporadas pico. La red también refiere 20 especies de aves bajo categorías de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Estos datos justifican que ruido, iluminación, apertura de frentes, turbidez y cambios de hábitat se evalúen con una sensibilidad alta a escala del humedal.

D.2 Especies clave y categorías de riesgo como base de precaución

Especie	Nombre común	Categoría de referencia	Evidencia en Cuitzeo	Relevancia
Charadrius nivosus (sin. Anarhynchus nivosus)	Chorlo nevado	A	Registro Andocutín mayo 2006; reproducción confirmada en Cuitzeo	Muy alta
Geothlypis speciosa	Mascarita transvolcánica / del Lerma	P	Cuitzeo reconocido como sitio para la especie	Muy alta
Rallus tenuirostris	Rascón de Lerma	P	WHSRN lo señala entre especies de riesgo del lago	Alta
Vireo atricapilla	Vireo gorra negra	P	WHSRN lo señala entre especies de riesgo del lago	Alta
Ambystoma amblycephalum	Ajolote de cabeza chata	Pr	Especie endémica; WHSRN la señala para el sistema	Alta a escala regional
Ambystoma ordinarium	Achoque michoacano	Pr	Especie endémica; WHSRN la señala para el sistema	Alta a escala regional

Especie	Nombre común	Categoría de referencia	Evidencia en Cuitzeo	Relevancia
Sciurus oculatus	Ardilla de Peters	Pr	Registrada en la cuenca	Media para AP; alta para SAR/AID terrestre
Leptonycteris yerbabuenae	Murciélago magueyero menor	Pr	Registrado para la cuenca	Media para AP; alta para AID terrestre
Leptonycteris nivalis	Murciélago hocicudo mayor	A	Registrado para la cuenca	Media para AP; alta para AID terrestre
Choeronycteris mexicana	Murciélago trompudo	A	Registrado para la cuenca	Media para AP; alta para AID terrestre

La presencia de un registro histórico de chorlo nevado en Andocutín a aproximadamente 302 m del límite de trabajo obliga a considerar superficies secas, lodosas y someras como hábitat potencial. La respuesta del proyecto consiste en inspección previa, exclusiones temporales, reducción de perturbación y ajuste del frente cuando se detecten nidos, pollos o conductas reproductivas.

D.3 Vegetación y hábitats

Componente	Escala	Hallazgo documental	Interpretación ambiental
Flora acuática y subacuática	Lago de Cuitzeo	92 especies, 70 géneros, 40 familias	25 acuáticas estrictas, 30 subacuáticas; alta diversidad para un lago somero.
Hidrófitas emergentes	Lago de Cuitzeo	Typha, Scirpus, Cyperus, Eleocharis, Phragmites	Componentes clave de orillas y zonas someras.
Vegetación halófila	Cuitzeo	Distichlis spicata, Suaeda nigra y otras halófitas	Relevante para playones salinos y zonas temporalmente expuestas.
Vegetación acuática característica	Cuitzeo	Ceratophyllum demersum, Lemna gibba, Potamogeton spp., Sagittaria spp., Typha spp.	No asumir presencia dentro de cada celda del AP.
Registro cercano Andocutín	~2 km oeste de Andocutín	Bacopa monnieri	Registro botánico georreferenciado útil para contexto local.
Registro corredor Araró-Andocutín	Camino Araró-Andocutín	Heliotropium curassavicum	Antecedente florístico local de ambiente salino/riberaño.
Registro corredor Araró-Andocutín	Cerca de Araró, camino a Andocutín	Fimbristylis argillicola	Ejemplar colectado en antiguo manto del Lago de Cuitzeo.
Arvenses ribereñas	10 sitios de ribera	133 especies, 94 géneros, 34 familias	82.7% de las especies registradas fueron nativas; estudio de cultivos en suelos salinos, no del vaso.

D.4 Fauna no aviar

Grupo	Escala	Evidencia	Uso en evaluación
Peces	Cuenca Río Grande-Cuitzeo	19 especies nativas conocidas históricamente; cinco (26%) habían sido extirpadas en muestreos 1985-1993; 12 de las restantes mostraron contracciones de distribución.	Evidencia fuerte de deterioro histórico del ecosistema acuático.
Peces	Lago de Cuitzeo, recolecta 1990-1991	Chirostoma jordani, Goodea atripinnis, Xenotoca variata, Zoogoneticus quitzeoensis, Allophorus robustus y Poeciliopsis infans, entre otros antecedentes.	Antecedente histórico; no inventario actual del AP.
Peces	Cuitzeo	Hubbsina turneri fue descrita para Cuitzeo pero estudios posteriores señalan ausencia de capturas recientes y probable extirpación local.	Importante para no presentar listados históricos como presencia actual confirmada.
Macroinvertebrados	Lago	Cambarellus montezumae y Anodonta impura reportados en síntesis regionales.	Componentes de red trófica acuática.
Anfibios	Cuenca	Síntesis reciente reporta 12 especies de anfibios y alta proporción de especies bajo NOM-059.	Usar como síntesis secundaria; las localidades no son necesariamente AP.
Anfibios emblemáticos	Cuenca / Cuitzeo	Ambystoma amblycephalum y Ambystoma ordinarium son señalados para el sistema por WHSRN.	Ambos son endémicos; Pr bajo NOM-059 de trabajo.
Reptiles	Cuenca	Síntesis reciente reporta 27 especies de reptiles y 13 en categorías de riesgo.	Contexto SAR; no inventario AP.
Mamíferos	Cuenca	Muestreo de campo registró al menos 42 especies; evidencia combinada histórica/campo alcanza 67 especies potenciales.	Los hábitats terrestres periféricos conservan riqueza relevante pese a fragmentación.
Mamíferos en riesgo	Cuenca	Sciurus oculatus, Leptonycteris yerbabuenae, Leptonycteris nivalis y Choeronycteris mexicana destacan en categorías de riesgo.	Principalmente relevantes para AID de planta/accesos terrestres, no necesariamente el vaso.

D.5 Mecanismo de recuperación ecológica

Componente	Acción de recuperación	Resultado esperado	Condición de manejo
Peces	Recuperación de profundidad funcional, conectividad y calidad de agua; coordinación con programas oficiales de repoblamiento.	Mayor disponibilidad potencial de hábitat acuático y apoyo a pesca sustentable.	No se liberarán peces de forma autónoma sin definición de especie y autorización.
Aves acuáticas	Mantenimiento de mosaico de profundidades, zonas someras y superficies de transición; control de ruido e iluminación.	Favorecer recolonización natural, alimentación y descanso.	No se plantea liberación artificial de aves.
Bentos	Cierre progresivo, estabilidad del fondo y seguimiento de recolonización.	Restablecimiento gradual de comunidades de sustrato.	La excavación produce pérdida temporal y cambio permanente del sustrato; el beneficio no se presume automático.
Vegetación acuática/riberaña	Conservar áreas funcionales y manejar sólo vegetación que interfiera con hidráulica o recuperación.	Estructura de hábitat y refugio.	Evitar remoción innecesaria fuera de huella.
Fauna terrestre/semiacuática	Velocidades controladas, rutas definidas, inspecciones y rescate cuando proceda.	Reducción de mortalidad y perturbación.	Especial atención en planta y accesos terrestres.

ANEXO E. MEDIO SOCIOECONÓMICO, PESCA, PATRIMONIO Y POBLACIÓN RELACIONADA

E.1 Demografía de referencia

Localidad / municipio	Estado	Tipo	Población	Año	Lectura para la MIA
Acámbaro	Guanajuato	Municipio	108,697	2020	Población municipal oficial; referencia territorial del entorno oriental del Lago de Cuitzeo.
Andocutín	Guanajuato	Localidad	739	2020	Localidad de referencia geográfica cercana al Área del Proyecto; población con base en información de INEGI 2020.
Irámucó	Guanajuato	Localidad	6,275	2020	Localidad ribereña relevante y beneficiaria de repoblamiento pesquero 2024.
Zinapécuaro	Michoacán	Municipio	49,005	2020	Municipio del sector Araró.
Araró	Michoacán	Localidad	1,462	2020	Dato derivado de INEGI; comunidad ribereña inmediata al sector oriental.

Con base en estas cifras, Andocutín, Irámucó y Araró suman aproximadamente 8,476 habitantes; Acámbaro y Zinapécuaro suman 157,702 habitantes. Estas magnitudes se utilizan como escalas territoriales de población relacionada, no como una afirmación de beneficio directo individual. A escala del humedal, WHSRN estima que los servicios ecosistémicos de Cuitzeo benefician a más de un millón de personas en 26 municipios.

E.2 Usos productivos y culturales del lago

Actividad / uso	Zona	Evidencia documental	Implicación ambiental-social
Pesca artesanal	All / comunidades ribereñas	Subsistencia, autoconsumo y venta; charal, escama de agua dulce, mosco, rana y tule aparecen en permisos históricos.	Actividad social sensible; las cifras históricas se utilizan como referencia documental y la condición actual se sustenta en información contemporánea disponible.
Organización pesquera	All Michoacán	En datos CONAPESCA 2018 se identificaron 30 permisos comerciales asociados a 17 razones sociales/cooperativas en Cuitzeo; encuesta de 2018 encontró alta organización.	Referencia histórica para el mapa de actores; la vigencia de organizaciones y permisos se determina con información actual aplicable.
Pescadores vinculados	All Michoacán	Autoridad municipal reportó 1,381 socios vigentes en 2018; el estudio entrevistó 205 pescadores de 18 localidades.	Referencia histórica de dependencia socioeconómica y organización pesquera.
Pesca en Guanajuato	Acámbaro / Cuitzeo	En 2024 se sembraron 250,000 crías de tilapia en el Lago de Cuitzeo para beneficiar familias de pescadores de 10 comunidades, entre ellas Irámucó.	Evidencia reciente de que la pesca sigue siendo política pública y sustento local en el sector guanajuatense.
Agricultura	Andocutín / Irámucó / Acámbaro	Agricultura de temporal y riego; maíz y sorgo son cultivos históricamente dominantes; también frijol, trigo, jitomate y garbanzo.	Receptor por tránsito, agua, polvo y destino de materiales si se pretende uso agrícola.
Agricultura de riego	Acámbaro / región	El DR011 y obras hidroagrícolas muestran alta relevancia del agua de riego; en 2024 se asignaron 468.99 Mm3 al ciclo P-V en el distrito.	Referencia regional de sensibilidad hídrica; el volumen del DR011 se mantiene como contexto de cuenca.
Ganadería	Andocutín / Acámbaro	La ganadería es actividad productiva reportada para Andocutín y zonas rurales de Acámbaro; sequías recientes han presionado disponibilidad de agua para ganado.	Receptor terrestre y de caminos; la evaluación para el AP se mantiene cualitativa.
Producción tradicional de sal	Araró / sector oriental	Producción histórica y contemporánea mediante salmueras y suelos salinos; técnicas con continuidad prehispánica-colonial-contemporánea.	Uso tradicional de muy alta relevancia cultural y potencialmente territorial.
Manantiales termales y balnearios	Araró / Huingo	Manantiales de alta temperatura y composición fisicoquímica han sustentado baños y usos recreativos; inventarios de descargas registran uso recreativo en Araró-Huingo.	Receptor turístico y recreativo; la separación espacial respecto de rutas, planta y conducciones se verificará durante la implantación.
Tule / vegetación acuática	All	Permisos históricos de Cuitzeo incluyen aprovechamiento de tule; Plan de Manejo menciona tuleros y retiro de maleza.	Uso de recursos naturales que puede interactuar con frentes de operación.
Tequesquite/salitres	Cuenca / riberas	Atlas de Cuitzeo documenta aprovechamiento histórico de tequesquite, salitres y otros materiales de playa.	Valor cultural y económico histórico; cualquier aprovechamiento actual dentro del AP deberá sustentarse en registro específico.

MIA REGIONAL | REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ANDOCUTÍN – LAGO DE CUITZEO

Actividad / uso	Zona	Evidencia documental	Implicación ambiental-social
Comercio y servicios	Acámbaro / Zinapécuaro / Araró	Acámbaro tiene fuerte componente terciario; Araró es descrito por el municipio con agricultura y comercio como actividades principales.	Posibles proveedores, empleo indirecto y receptores de tránsito.

E.3 Mecanismos de beneficio social potencial

Receptor	Escala	Cómo contribuye la remediación	Alcance de la afirmación
Comunidades inmediatas	Andocutín, Irámucó y Araró (~8,476 habitantes como contexto demográfico).	Mejor condición ambiental local, recuperación de agua/hábitat, menor exposición de fondo en celdas con agua y oportunidades vinculadas a rehabilitación.	Co-beneficio potencial sujeto a los indicadores ambientales y sociales del entorno inmediato.
Pescadores y familias pesqueras	Usuarios del sector oriental y organizaciones del lago.	Recuperación de hábitat, conectividad y apoyo a programas oficiales de repoblamiento; mejores condiciones potenciales de navegación y zonas de pesca.	La productividad depende también de calidad regional, hidrología, esfuerzo pesquero y manejo oficial.
Municipios del entorno oriental	Acámbaro + Zinapécuaro: 157,702 habitantes.	Servicios ecosistémicos, paisaje, economía rural y calidad ambiental del entorno.	Beneficio indirecto y parcial.
Región Cuitzeo	Más de un millón de personas en 26 municipios según WHSRN.	Conservación de un humedal estratégico y demostración de una intervención de recuperación controlada.	Escala regional de servicios ecosistémicos; la relación directa del proyecto se concentra en el sector intervenido y su entorno inmediato.
Aves y biodiversidad	Más de 20,000 aves playeras anuales y hasta ~135,000 aves acuáticas en pico.	Mayor disponibilidad potencial de hábitat acuático/somero y manejo de perturbación.	Resultado ecológico sujeto a monitoreo y dinámica regional.

E.4 Riesgos sociales y sinergias

Tema	Riesgo / sinergia	Receptores	Criterio de manejo
Acceso y uso del lago	Restricción temporal de pesca, navegación o aprovechamientos tradicionales por frentes/caminos.	Pescadores, tuleros, salineros	Diseño de frentes; corredores de acceso; aviso previo; coordinación con usuarios.
Turbidez / calidad del agua	Percepción o afectación real a pesca y otros usos por resuspensión.	Pescadores, comunidades ribereñas	Controles de operación, monitoreo y comunicación de incidentes, con evaluación de efectos mediante resultados de campo.
Tránsito pesado	Ruido, polvo, seguridad vial, desgaste de caminos y molestias.	Andocutín, Araró, Irámucó, localidades en ruta	Plan de tránsito, horarios, límites de velocidad, mantenimiento y rutas evitando centros poblados cuando sea viable.
Tenencia / jurisdicción	Condición jurídica de las superficies y bienes involucrados.	CONAGUA, RAN y documentación de propiedad o posesión aplicable.	La intervención se realizará únicamente sobre superficies cuya habilitación jurídica y administrativa haya sido acreditada documentalmente.
Patrimonio arqueológico	Daño accidental por excavación de hasta 20 m o infraestructura.	INAH, comunidades	Consulta INAH; detener sector ante hallazgo; proteger y notificar.
Salinas/manantiales de Araró	Interferencia con paisaje cultural, canales, salmueras o manantiales.	Salineros, habitantes, turismo	La infraestructura evitará salinas, canales y manantiales; la separación espacial respecto de estos elementos se verificará antes de definir rutas y obras.
Empleo y proveeduría	Oportunidad de empleo local y compras.	Comunidades cercanas	La intervención se realizará únicamente sobre superficies respecto de las cuales se acredite previamente la habilitación jurídica y administrativa correspondiente.
Rehabilitación del lago	El Plan de Manejo 2018 reconoce extracción de azolves/malezas como herramienta para navegación y subsistencia pesquera.	Pescadores/comunidades	La intervención mantiene mecanismos, profundidades y límites propios que se evalúan específicamente dentro de esta MIA, en congruencia con los objetivos generales de rehabilitación del lago.
Material tratado para agricultura	Posible beneficio si cumple calidad y aceptación.	Agricultores/gobiernos	Cualquier destino agrícola requerirá previamente especificación técnica, seguridad ambiental y receptor autorizado.

Tema	Riesgo / sinergia	Receptores	Criterio de manejo
Percepción social	Desconfianza por escala, duración, remoción/materiales, cambios al lago.	Todos	Información transparente, mecanismo de quejas, registro de compromisos y comunicación proporcional a los impactos evaluados.

E.5 Patrimonio cultural

Elemento	Ubicación	Tipo	Evidencia	Protección en el proyecto
Estación ferroviaria Andocutín	Andocutín, Acámbaro, Gto.	Bien histórico catalogado / Registro INAH	Registro 110020040012; estación de la antigua línea del Ferrocarril Nacional Mexicano; terrenos adquiridos en 1910.	La ubicación de accesos e infraestructura evitará afectaciones a la Estación Andocutín y demás bienes culturales identificados. En caso de proximidad o hallazgo, se aplicarán medidas de exclusión y el protocolo correspondiente.
Templo/Santuario Nuestro Señor de Araró	Araró, Mich.	Bien cultural federal / histórico	Secretaría de Cultura documenta importancia histórica del poblado, santuario, salinas y manantiales termales.	Relevante si tránsito, vibración, obras o planta se aproximan.
Salinas tradicionales de Araró	Araró, Mich.	Paisaje cultural / patrimonio productivo	Producción de sal documentada etnográfica, arqueológica y etnohistóricamente; Araró tributaba sal desde época temprana colonial y las técnicas muestran continuidad.	Evitar interferencia física o hídrica; documentar actores salineros si el proyecto se acerca.
Hacienda de Andocutín	Andocutín, Gto.	Patrimonio histórico local potencial	Fuentes históricas locales describen origen colonial y casco del siglo XIX.	Se considera patrimonio histórico local potencial, sujeto a verificación ante el INAH antes de cualquier intervención próxima.
Patrimonio arqueológico no visible	AP/AID	Riesgo de hallazgo fortuito	La cuenca tiene ocupación prehispánica documentada y la excavación profunda puede encontrar contextos no visibles.	Gestionar consulta/visto bueno INAH cuando proceda y protocolo de hallazgo fortuito.

El movimiento profundo de materiales obliga a aplicar un protocolo de hallazgos fortuitos: suspensión inmediata en el punto, protección del hallazgo, registro georreferenciado, aviso a la autoridad cultural competente y reinicio únicamente conforme a las instrucciones que correspondan. Este protocolo se mantiene incluso donde no exista un monumento previamente inventariado.

ANEXO F. VINCULACIÓN TERRITORIAL Y FIGURAS DE CONSERVACIÓN CONFIRMADAS

Las figuras de conservación y planeación se diferencian según su naturaleza jurídica. Las designaciones de prioridad o importancia ecológica no se presentan como prohibiciones automáticas, pero elevan la sensibilidad de la evaluación y justifican medidas específicas. La aplicación de instrumentos jurídicos directos se realiza con la cartografía oficial vigente y con la huella autorizada de cada componente.

Elemento	Nombre / superficie	Tipo	Estatus	Implicación en evaluación
Área del Proyecto (AP)	Polígono Andocutín ~199.12 ha	Proyecto	Definido geoméricamente	Base geométrica del proyecto; categoría distinta de una figura de conservación.
Humedal Lago de Cuitzeo	402.74 km ²	Cartografía oficial INEGI	Confirmado como unidad oficial de humedal	Adoptado como AII; unidad ambiental oficial distinta de una ANP.
Región Hidrológica Prioritaria 62	Pátzcuaro y cuencas endorreicas cercanas	CONABIO / prioridad	Inclusión de Cuitzeo confirmada	Figura de prioridad hidrológica que incrementa la sensibilidad ambiental de la evaluación.
AICA	Cuitzeo	CONABIO / aves	Cuitzeo reconocido como AICA	Figura de importancia para la conservación de aves que sustenta medidas específicas de prevención y monitoreo de avifauna.
RTP	Cerro Ancho–Lago de Cuitzeo	CONABIO / prioridad terrestre	Confirmada como referencia regional	Referencia regional de prioridad terrestre relevante para el SAR y las obras externas al vaso.
WHSRN	Lago de Cuitzeo	Red internacional de conservación	Sitio de Importancia Regional confirmado	Reconocimiento internacional que refuerza la sensibilidad ambiental y el manejo de aves playeras.

F.1 Criterios de vinculación

Figura / instrumento	Lectura jurídica-ambiental	Aplicación
Humedal INEGI	Unidad funcional del lago utilizada como AII.	Evaluación de hidrología, vegetación, aves, pesca y conectividad a escala de humedal.
RHP 62	Figura de priorización hidrológica de CONABIO.	Refuerza el análisis de calidad de agua, presiones de cuenca y efectos acumulativos.
AICA Cuitzeo	Área de importancia para conservación de aves.	Obliga a incorporar sensibilidad estacional, reproducción y migración en el manejo de frentes.
RTP Cerro Ancho–Lago de Cuitzeo	Referencia terrestre regional de conservación.	Relevante para cualquier obra terrestre externa al vaso y para conectividad regional.
WHSRN Lago de Cuitzeo	Sitio de Importancia Regional para aves playeras.	Refuerza conservación de playones, zonas someras y monitoreo de avifauna.
Planeación ecológica y territorial	Instrumentos federales, estatales y municipales aplicables según localización de cada componente.	La compatibilidad de obras se atiende con la cartografía oficial vigente junto con las autorizaciones sectoriales correspondientes.

ANEXO G. CONSISTENCIA DE MASA, CAPACIDAD Y AGUA

La consistencia del proyecto se revisa separando tres magnitudes que no son equivalentes: superficie/profundidad geométrica, capacidad de proceso en base seca y circulación de agua. El uso de una envolvente máxima no implica que toda la superficie alcance la profundidad máxima ni que todo el volumen geométrico sea procesado.

G.1 Capacidad y volumen

Indicador	Valor	Interpretación
Área máxima	199.12 ha	Polígono de seis vértices.
Profundidad máxima localizada	20 m	Límite superior por celda; no profundidad uniforme.
Envolvente geométrica	39.824 Mm ³	Área × 20 m; máximo matemático, no cubicación topobatómétrica.
Capacidad nominal	5,000 t secas/d	Base seca.
Disponibilidad de planeación	90%	328.5 días efectivos/año.
Throughput anual	1.6425 Mt/año	5,000 × 328.5.
Throughput 30 años	49.275 Mt	Capacidad de planeación durante vida útil.
Volumen equivalente @1.35 t/m ³	~36.50 Mm ³ / 30 años	Sensibilidad documental de densidad; no medición geotécnica del AP.
Volumen equivalente @2.0 t/m ³	~24.64 Mm ³ / 30 años	Sensibilidad alternativa.
Relación @1.35 t/m ³	~91.7% de envolvente	Muestra que 20 m no puede interpretarse como profundidad media uniforme durante toda la vida útil.

G.2 Sensibilidad de densidad

Densidad de conversión (t/m ³)	Volumen equivalente en 30 años (Mm ³)	% de envolvente geométrica
1.20	41.06	103.1%
1.35	36.50	91.7%
1.50	32.85	82.5%
1.75	28.16	70.7%
2.00	24.64	61.9%

La sensibilidad demuestra que el volumen asociado a la capacidad de planta depende de la densidad efectiva. Por ello, la profundidad se controla por celda y la contabilidad de material utiliza tonelaje, volumen y georreferenciación como variables independientes de conciliación.

G.3 Agua de proceso y retorno

Concepto	Base	Criterio ambiental
Circulación bruta documental	0.85 m ³ /t seca	Referencia conceptual para dimensionamiento; equivale a 4,250 m ³ /d a capacidad nominal.
Objetivo de recirculación	95%	Objetivo de diseño, no eficiencia demostrada para Cuitzeo.
Recirculación teórica	4,037.5 m ³ /d	Resultado aritmético si se alcanza 95% sobre la circulación de referencia.
Fracción teórica no recirculada	212.5 m ³ /d	Sensibilidad; no equivale automáticamente a consumo neto porque el sistema incorpora agua que aflora/ingresa en frentes.
Fuente prioritaria	Agua asociada a la propia intervención	No se plantean pozos de abastecimiento específicos en el concepto evaluado.

Concepto	Base	Criterio ambiental
Tratamiento	Separación física + plasma frío/plasmalísis + membranas + nanoburbujas	Aplicado al agua; desempeño verificado mediante monitoreo antes de retorno.
Retorno	Continuo y distribuido dentro de las ~200 ha	Varios puntos; únicamente agua tratada dentro de especificación.
Corriente fuera de especificación	Recirculación a retratamiento	El retorno se suspende hasta recuperar calidad.
Sólidos al lago	Ninguno	No retornan arcillas, lodos, sales ni residuos.

G.4 Balance de control operativo

Durante operación, el balance diario de agua registrará: volumen captado o ingresado desde el frente, agua incorporada con el material, agua enviada a tratamiento, volumen recirculado, inventario en equipos, pérdidas operativas, agua de lavado, precipitación relevante y volumen retornado a cada punto. El balance de sólidos registrará tonelaje seco equivalente, humedad, volumen geométrico del frente y destino del lote. La conciliación de estos registros permite detectar pérdidas no explicadas y evita que un porcentaje conceptual de recirculación sustituya la medición real.

ANEXO H. CRITERIOS DE PARO, RESPUESTA ADAPTATIVA Y BITÁCORAS AMBIENTALES

El proyecto adopta criterios de paro como parte del diseño ambiental. Su función es evitar que una desviación operativa se convierta en un impacto acumulativo o irreversible. El reinicio requiere verificar que la causa se encuentra controlada y que la operación vuelve a la condición autorizada.

H.1 Criterios de paro y respuesta

ID	Tema	Evento detonante	Acción inmediata	Condición de reinicio	Prioridad
TP-01	Límite territorial	Actividad fuera del polígono/celda autorizada	Paro del equipo implicado	Verificación GIS y retorno a huella	Crítico
TP-02	Profundidad	Profundidad >20 m o superior al diseño de celda	Paro inmediato del frente	Revisión de control de profundidad y plan correctivo	Crítico
TP-03	Volumen	Proyección de exceder volumen autorizado	Congelar nuevos frentes	Conciliación de volumen/tonelaje y saldo autorizable	Crítico
TP-04	Hidráulica	Aislamiento, represamiento o desbordamiento inducido	Paro local y retiro/control de obstrucción	Conectividad restablecida	Crítico
TP-05	Estabilidad	Falla, deslizamiento, socavación o erosión fuera de celda	Aislar y retirar equipos del borde	Frente estable y verificado	Alto
TP-06	Turbidez	Pluma visible persistente fuera de celda o hacia hábitat/receptor sensible	Reducir/detener actividad causal	Pluma controlada y sin expansión	Crítico
TP-07	Fisicoquímica	Cambio abrupto persistente respecto al control, color/olor anormal o estrés biológico	Paro de actividad causal	Condición estabilizada y causa controlada	Alto
TP-08	Fauna acuática	Mortalidad atribuible o atrapamiento/concentración vulnerable	Paro local	Causa controlada y vías de escape/restablecimiento	Crítico
TP-09	Surgencia	Surgencia sostenida o ingreso de agua no previsto	Suspender profundización	Revisión técnica/ambiental y condición segura	Crítico
TP-10	Clima/nivel	Alerta oficial relevante o pérdida de control por lluvia/viento/nivel	Retiro de personal/equipos y paro	Fin de alerta + condición estable	Crítico
TP-11	Agua de reposición	Uso de agua fuera de autorización/diseño o restricción oficial	Ajustar caudal/ritmo y verificar balance	Balance dentro de condición autorizada	Crítico
TP-12	Descarga	Retorno fuera de especificación, rebose o liberación no controlada	Suspender retorno, contener y activar contingencia	Corriente controlada, calidad verificada y sistema restablecido	Crítico
TP-13	Aves/NOM-059	Nido, pollo, conducta reproductiva o especie en riesgo vulnerable	No abrir/parar frente y delimitar exclusión	Fin de condición sensible documentado	Crítico
TP-14	Vegetación	Remoción fuera de huella o especie protegida susceptible de afectación	Paro local	Huella redefinida/protegida	Alto
TP-15	Químicos	Sustancia sin expediente técnico completo o cuyo inventario pudiera alcanzar el umbral aplicable a Actividades Altamente Riesgosas	No usar / congelar inventario	Expediente y cumplimiento regulatorio cerrados	Crítico
TP-16	Contención	Derrame fuera de contención o pérdida de integridad	Detener uso/transferir/contener	Contención reparada y limpia	Crítico
TP-17	Materiales	Material tratado sin especificación/receptor o rechazo	Retener lote	Receptor/especificación o ruta off-spec legal	Crítico
TP-18	Tránsito	Accidente grave, ruta no autorizada o patrón de quejas	Suspender unidad/ruta según riesgo	Investigación y acción correctiva cerrada	Crítico
TP-19	Patrimonio	Cualquier hallazgo arqueológico/histórico	Paro local, protección y aviso INAH	Instrucción de autoridad y medida aplicada	Crítico
TP-20	Conflicto/acceso	Bloqueo no comunicado o conflicto recurrente por acceso	Pausar actividad causal cuando sea seguro	Acceso alternativo/acuerdo documentado	Alto
TP-21	Cierre	Frente inactivo con inestabilidad, barreras o residuos	No liberar área / ejecutar cierre	Checklist de cierre satisfactorio	Crítico
TP-22	Acumulativo	Concentración de incidentes o deterioro regional coincidente con operación	Reducir ritmo/suspender expansión	Programa anual adaptado y medidas reforzadas	Crítico
TP-23	Cumplimiento	Diferencia material entre operación real y MIA/PFD/autorizaciones	Suspender etapa modificada	Consistencia o autorización obtenida	Crítico

H.2 Bitácoras de cumplimiento

Código	Bitácora	Campos mínimos	Frecuencia	Responsable
BIT-01	Frentes y excavación	Fecha, celda, equipo, coordenadas, profundidad, volumen, tonelaje, hora inicio/fin, incidencias	Diaria	Jefe de Operación
BIT-02	Hidrología y agua	Condición seca/húmeda, nivel observable, pluma/turbidez, pH/CE/T/OD cuando aplique, alertas y paros	Por turno / semanal / evento	Responsable Ambiental

MIA REGIONAL | REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ANDOCUTÍN – LAGO DE CUITZEO

Código	Bitácora	Campos mínimos	Frecuencia	Responsable
BIT-03	Fauna y avifauna	Especie/descripción, coordenada, conducta, nido/pollo, mortalidad, medida tomada, foto	Continua / mensual consolidado	Responsable Ambiental
BIT-04	Agua de proceso	Agua de frente/entrada, recirculación, tratamiento, retorno, pérdidas, inventarios y cierre de balance	Diaria / mensual	Jefe de Planta
BIT-05	Reactivos y químicos	CAS, concentración, inventario, lote, SDS, recepción, consumo, inspecciones, incidentes	Continua / mensual	Seguridad + Planta
BIT-06	Materiales y residuos	Lote, cantidad, clasificación, almacenamiento, receptor, manifiesto/recibo, off-spec	Por lote / mensual	Almacén + Ambiental
BIT-07	Tránsito y seguridad vial	Unidad, ruta, GPS, viajes, conductor, incidentes, derrames, quejas, mantenimiento	Diaria / mensual	Logística
BIT-08	Social y quejas	Folio, actor, tema, fecha, respuesta, compromiso, responsable, cierre	Continua / mensual	Coordinación Social
BIT-09	Patrimonio	Hallazgo, ubicación, fotografías, suspensión, aviso INAH, instrucciones, reinicio	Por evento	Legal + Ambiental
BIT-10	Cierre progresivo	Frente, fecha de inactividad, estabilidad, retiro de equipo, residuos, barreras, fotos, liberación	Por frente / mensual	Operación + Ambiental
BIT-11	Incidentes y contingencias	Evento, hora, causa, volumen/magnitud, contención, notificación, acciones, cierre	Por evento	Seguridad y Medio Ambiente
BIT-12	Dashboard y auditoría	KPIs, tendencias, medidas incumplidas, acciones correctivas, evaluación anual acumulativa	Mensual / anual	Responsable Ambiental + Dirección
BIT-13	Desempeño de rehabilitación	Celda, condición inicial/final, capacidad, hidroperiodo, superficie húmeda/seca, conectividad, agua retornada, uso de hábitat, usos productivos, clasificación del beneficio y acciones adaptativas	Por celda / trimestral / anual	Responsable Ambiental + Operación

H.3 Indicadores de desempeño ambiental y de rehabilitación

Indicador	Criterio	Evidencia
Alcance territorial	100% de actividades dentro del AP y celdas autorizadas.	GIS/bitácora por turno.
Profundidad	Ningún frente supera 20 m ni el diseño específico de celda.	Control topográfico/operativo.
Huella activa	Sólo celdas necesarias para la secuencia en curso.	Mapa de frentes activos.
Calidad de retorno	100% del agua retornada cuenta con verificación de calidad; retorno suspendido ante desviación.	Instrumentación y muestreo.
Sólidos al lago	0 t de arcilla tratada, lodos, sales o residuos retornados.	Trazabilidad por lote.
Fauna sensible	0 apertura de frente sobre nidos o condición reproductiva detectada.	Inspección previa y diaria.
Incidentes químicos	0 liberaciones no contenidas; cierre documentado de cualquier evento.	Bitácora de contingencias.
Cierre progresivo	100% de frentes inactivos sometidos a verificación de estabilidad, retiro y conectividad.	Checklist de cierre.
Gestión social	100% de quejas registradas, respondidas y con seguimiento.	Sistema de folios.
Revisión acumulativa	Evaluación anual de tendencias y ajuste de ritmo/medidas cuando exista deterioro atribuible o coincidente.	Informe anual de manejo adaptativo.
Capacidad recuperada	Cuantificación por celda de profundidad y capacidad física adicional.	Levantamiento antes/después y memoria de cálculo.
Hidroperiodo / superficie húmeda	Seguimiento estacional interpretado con lluvia y nivel regional.	GIS/percepción remota/bitácora hidrológica.
Conectividad hidráulica	100% de celdas cerradas sin aislamiento ni barreras no diseñadas.	Checklist de cierre, inspección y evidencia geoespacial.
Calidad post-retorno	Tendencia compatible con parámetros autorizados y sin retorno fuera de especificación.	Instrumentación, laboratorio y bitácora de retorno.
Recolonización / uso de hábitat	Evidencia progresiva de uso de celdas cerradas, sin exigir composición fija no sustentada.	Monitoreo biológico y registro fotográfico/georreferenciado.
Pesca / navegación	Seguimiento de usos compatibles y coordinación con autoridades/usuarios.	Bitácora social y reportes de coordinación.
Beneficios demostrados	Clasificación anual: demostrado / en proceso / no demostrado por indicador.	Informe anual PVA-11 y decisión adaptativa.

ANEXO I. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y DOCUMENTAL DE SEDIMENTOS

La caracterización del medio físico integra cartografía oficial, literatura científica de la cuenca y antecedentes técnicos directos de campo y laboratorio obtenidos en el sector Andocutín y su entorno inmediato. Su función es explicar la evolución del vaso, la naturaleza heterogénea de su relleno y los mecanismos que deben considerarse durante una intervención progresiva. La evidencia local fortalece la interpretación de espesores y variabilidad del paquete sedimentario y se complementa con la línea base ambiental contemporánea y con la verificación específica por celda durante la intervención.

I.1 Marco fisiográfico y evolución de la cuenca

El Lago de Cuitzeo se localiza dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, en una depresión tectónica de carácter extensional. La configuración de la cuenca responde a fallamiento regional, volcanismo y acumulación prolongada de depósitos lacustres y aluviales. Esta historia explica que el fondo actual no sea una capa homogénea, sino una secuencia de materiales finos y aportes volcanoclásticos con variación lateral y vertical.

La hoja INEGI Zinapécuaro E14A14, escala 1:50,000, constituye la referencia cartográfica pública de detalle para el entorno del proyecto. En la región se reconocen rocas volcánicas, materiales volcanoclásticos y depósitos lacustres/aluviales. Para efectos ambientales, la importancia de este marco radica en que la respuesta mecánica, hidráulica y geoquímica puede cambiar entre celdas, por lo que el avance se controla progresivamente y no se extrapola una única condición a los 20 m de profundidad máxima localizada.

Tema	Escala	Hallazgo documental	Fuente	Uso en la MIA	Límite de interpretación
Marco fisiográfico	SAR	Cuitzeo se ubica en el Cinturón Volcánico Transmexicano y en una depresión tectónica extensional asociada al graben de Cuitzeo.	Rivera-Calderón & Álvarez 2023; INEGI	Marco regional para la interpretación fisiográfica.	Marco regional; la presencia de estructuras dentro del AP requiere evidencia local específica.
Tectónica regional	SAR	La cuenca presenta fallamiento normal y oblicuo y actividad magma-tectónica; investigación 2025 la caracteriza como rift intracontinental maduro de baja tasa de extensión.	Gómez-Vasconcelos et al. 2025	Contexto de evolución geomorfológica regional y peligros geológicos.	Contexto regional; cualquier riesgo sísmico específico del AP deberá sustentarse en evidencia local.
Litología regional	SAR	En el entorno de Cuitzeo son abundantes andesitas, junto con basaltos, tobas, ignimbritas, materiales volcanoclásticos y depósitos lacustres/aluviales.	Rivera-Calderón & Álvarez 2023; INEGI E14A14	Descripción del medio físico regional.	La proporción exacta dentro del AP se determina con cartografía oficial y antecedentes locales de sondeos.
Origen de la cuenca	SAR/All	La depresión lacustre está controlada por tectonismo y volcanismo; el relleno incluye sedimentos lacustres y volcanoclásticos.	Israde-Alcántara et al. 2010; Rivera-Calderón & Álvarez 2023	Explicar por qué existe un paquete sedimentario potente.	La variación vertical se determina mediante los antecedentes locales y la verificación por celda.
Sedimentología profunda	All	Un núcleo de ~27 m del depocentro de Cuitzeo estuvo dominado por arcillas, limos y lodos diatomáceos; también se documentaron tefras y depósitos volcanoclásticos.	Israde-Alcántara et al. 2010	Antecedente fuerte de relleno lacustre de decenas de metros.	Referencia sedimentológica regional localizada fuera de Andocutín.
Arcillas regionales	SAR sur / paleolago	En la secuencia Cuitzeo-Charo se identificaron esmectitas, incluida asociación beidellita-nonttronita, sobre rocas parentales principalmente andesíticas.	Israde-Alcántara et al. 2008	Antecedente de procesos de formación de arcillas en la cuenca.	Referencia mineralógica regional; la composición de Andocutín se determina con datos locales.
Cartografía geológica	Entorno AP	La hoja INEGI Zinapécuaro E14A14, escala 1:50,000, cubre la zona de Cuitzeo-Andocutín y es la referencia cartográfica oficial de detalle disponible públicamente.	INEGI E14A14	Base cartográfica para el capítulo de medio físico.	Base cartográfica regional complementada con levantamiento local y registros de sondeos.
Geoquímica ambiental regional	All	Estudios de sedimentos superficiales de Cuitzeo han documentado variabilidad espacial de As, Zn y otros elementos, con señales tanto geogénicas como antropogénicas.	Cram et al. 2011; Villalobos-Castañeda et al. 2010; Morton-Bermea et al. 2011	Justificar análisis precautorio de resuspensión y manejo de sedimentos.	Contexto regional de variabilidad; la condición ambiental del AP se determina mediante caracterización específica.
Movilidad potencial As/Zn	All, boca Río Grande	Extracciones secuenciales cerca de la desembocadura del Río Grande indicaron que fracciones de Zn y As podrían mobilizarse bajo determinadas condiciones ambientales.	Villalobos-Castañeda et al. 2010	Sustenta evaluar cambios geoquímicos durante remoción.	Referencia regional; las concentraciones del AP requieren datos específicos del sector.

Tema	Escala	Hallazgo documental	Fuente	Uso en la MIA	Límite de interpretación
Heterogeneidad geoquímica	All central	Muestreo sistemático del centro del lago mostró patrones espaciales diferentes entre Fe/Al, As/Zn y Pb/Cu/Ni/Cd.	Cram et al. 2011	Demuestra que no es correcto asumir un lago geoquímicamente uniforme.	Los patrones del centro del lago se utilizan como contexto regional; el extremo oriental se caracteriza con información propia.

I.2 Relleno sedimentario y variación vertical

Un núcleo científico de aproximadamente 27 m recuperado en el depocentro de Cuitzeo documentó una secuencia dominada por arcillas, limos y lodos diatomáceos, con intercalaciones de tefra y materiales volcanoclásticos. Aunque ese núcleo no corresponde a Andocutín, demuestra a escala del lago que el relleno mantiene continuidad de decenas de metros y, al mismo tiempo, heterogeneidad vertical. Esta evidencia es relevante para interpretar el máximo localizado de 20 m como una intervención dentro del paquete sedimentario, no como una simple recuperación de la columna histórica de agua.

En el entorno de Andocutín existe además evidencia directa: 24 sondeos verticales ejecutados en noviembre de 2022 alcanzaron entre 21.0 y 21.6 m, con 512.2 m acumulados y 255 muestras de núcleo; CZ04, perforado en 2021, alcanzó 63 m. La comparación con el polígono actual confirma que esta información debe interpretarse como antecedente local de alta proximidad y no como una malla que cubra íntegramente las 199.12 ha. El Anexo K conserva el detalle de collares, distancias y metodología.

La profundidad media moderna del lago, del orden de 1.6 m, es muy inferior al máximo de intervención. Por ello, el proyecto no equipara 20 m con “desazolve convencional” ni con una cota histórica de agua. La profundidad efectiva se ajustará por celda y se evaluará junto con estabilidad, conectividad, turbidez, respuesta hidráulica y condición del material.

I.3 Evidencia ambiental regional y antecedente técnico local de sedimentos

Estudio	Año	Zona	Variables	Hallazgo útil	Restricción de uso
Villalobos-Castañeda et al.	2010	Boca del Río Grande / Lago de Cuitzeo	Fe, Zn, As; extracción secuencial	Sedimentos reportados como no contaminados por Fe y moderadamente contaminados por Zn y As; fracciones de Zn/As podrían liberarse según condiciones.	Antecedente regional de movilidad; su aplicación a Andocutín requiere caracterización específica.
Cram-Heydrich et al.	2011	Parte central del lago, ~56 km², 47 muestras a malla 1 km	As, Pb, Ni, Cd, Cu, V, Cr, Co, Sb, Ti, Mn, Sr, Fe, Al, Zn; pH, CE, COT	Fe/Al con patrón geogénico; Ti/Zn/As predominantemente geogénicos con hotspots; Pb/Cu/Ni/Cd con patrones locales potencialmente antrópicos.	Demuestra heterogeneidad espacial y sustenta el uso de caracterización específica por sector.
Morton-Bermea et al.	2011	10 localidades del lago, 3 campañas, 30 muestras	Ba, Co, Cu, Cr, Ni, Pb, V, Zn	Evaluó niveles de metales y su relación con entradas del Río Grande.	Contexto regional complementado con datos específicos del AP.
Israde-Alcántara et al.	2010	Depocentro + zonas proximales	Composición sedimentaria, geoquímica, diatomeas, polen, COT, núcleo ~27 m	Arcillas, limos y lodos diatomáceos dominantes; intercalaciones volcánicas/volcanoclásticas y cambios paleoambientales.	Antecedente sedimentológico vertical complementado con la línea base contemporánea del AP.
Israde-Alcántara et al.	2008	Cuitzeo-Charo / sur de la cuenca	XRD, XRF, petrografía, NMR, Mössbauer	Esmectitas y asociación beidellita-nontronita en sitios estudiados; parentales principalmente andesíticos.	Antecedente mineralógico regional; la composición de Andocutín se determina mediante datos locales.

En conjunto, estos estudios demuestran que los sedimentos de Cuitzeo son espacialmente heterogéneos y que la composición observada en un sector no debe trasladarse automáticamente a otro. La MIA utiliza esta evidencia para justificar manejo precautorio de la resuspensión, segregación de corrientes, ausencia de retorno de sólidos al lago y verificación de la calidad del agua antes de su restitución.

Los análisis técnicos de los núcleos 2021–2022 aportan una base adicional de composición y variación vertical del material. Debido a su objetivo original, no se comparan directamente con criterios ambientales regulatorios ni se utilizan para clasificar el AP como contaminado o no contaminado. Su valor para esta MIA consiste en demostrar que existe información directa, trazable y georreferenciada para orientar la selección de puntos de verificación ambiental y reconocer cambios de material durante la intervención.

I.4 Implicaciones geomorfológicas de la intervención

Mecanismo	Efecto potencial	Control de diseño
Cambio permanente de fondo	La remoción altera la elevación y configuración del sustrato.	Diseño por celdas, control de profundidad y verificación de estabilidad.
Taludes y transiciones	Una diferencia abrupta de cota puede favorecer inestabilidad o aislamiento hidráulico.	Perfilado progresivo y transiciones compatibles con el comportamiento del material.
Conectividad	La profundización puede modificar rutas locales de flujo.	Evitar depresiones aisladas; mantener comunicación hidráulica entre celdas y vaso.
Resuspensión	El movimiento de material fino puede aumentar sólidos suspendidos.	Frentes reducidos, ajuste de método, observación de pluma y criterios de paro.
Erosión localizada	El retorno concentrado de agua puede erosionar material reciente.	Retorno distribuido, disipación de energía y ajuste de caudales.
Recolonización del sustrato	El bentos debe reconstruirse sobre una superficie físicamente nueva.	Cierre progresivo, seguimiento temporal y manejo adaptativo de la recolonización.

I.5 Criterio ambiental para los materiales removidos

El material removido se manejará fuera del lago. La heterogeneidad regional sustenta la caracterización operativa por celda y lote, la trazabilidad del material, la separación de corrientes cuando corresponda, la ausencia de retorno de sólidos y la definición del destino externo conforme a caracterización y normatividad aplicable.

ANEXO J. MATRIZ AMPLIADA DE CUMPLIMIENTO NORMATIVO Y RUTA REGULATORIA

La evaluación ambiental se integra con el marco federal vigente a septiembre de 2026. La autorización en materia de impacto ambiental es el eje previo para la ejecución del proyecto, pero no sustituye los actos administrativos hídricos, territoriales, de residuos, patrimonio, seguridad o de otra naturaleza que resulten aplicables a cada componente.

J.1 Procedimiento de evaluación de impacto ambiental

El trámite federal vigente es SEMARNAT-04-003, Recepción, evaluación y resolución de la Manifestación de Impacto Ambiental en su modalidad regional. El formato vigente es FF-SEMARNAT-141. La estructura documental se presenta en cuatro capítulos, conforme al formato vigente, integrando en ellos el contenido sustantivo previsto en las ocho fracciones del artículo 13 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

Instrumento	Materia	Aplicación al proyecto
LGEEPA, artículos 28 y 30	Evaluación federal previa y contenido de la manifestación.	Presentación de la MIA antes del inicio de obras sujetas a autorización.
LGEEPA, artículo 35 y 35 Bis	Criterios y plazo general de evaluación.	La evaluación considera ecosistemas, disposiciones aplicables, impactos y medidas; la autoridad puede requerir información adicional conforme al procedimiento.
Reglamento EIA, artículo 5	Obras y actividades sujetas a evaluación federal; incluye intervenciones reguladas en cuerpos de agua nacionales.	Sustenta la competencia federal del proyecto.
Reglamento EIA, artículo 11	Supuestos de modalidad Regional.	Evaluación de escala regional, interacciones y efectos acumulativos/sinérgicos/residuales.
Reglamento EIA, artículo 13	Contenido de la MIA Regional.	Estructura documental en cuatro capítulos conforme al FF-SEMARNAT-141, integrando el contenido sustantivo del artículo 13.
Reglamento EIA, artículo 36	Declaración de quien elabora la MIA.	La declaración forma parte del paquete administrativo de presentación.
Reglamento EIA, artículo 44	Criterios de resolución.	Las medidas de prevención, mitigación, cierre y vigilancia se integran como compromisos de diseño.
SEMARNAT-04-003 / FF-SEMARNAT-141	Trámite y formato vigentes en 2026.	Documento técnico, personalidad jurídica, declaración y demás requisitos vigentes al ingreso.

J.2 Agua, obras en vaso y retorno de agua tratada

Instrumento / trámite	Materia	Aplicación al proyecto
Ley General de Aguas, DOF 11-12-2025	Marco general del derecho humano al agua, uso sustentable y coordinación pública.	El proyecto adopta uso eficiente, recirculación y retorno controlado como principios de gestión.
Ley de Aguas Nacionales, texto vigente	Administración de aguas nacionales, bienes nacionales, títulos y autorizaciones.	La intervención dentro del vaso, el manejo de agua y las obras asociadas se ejecutarán bajo los actos que determine CONAGUA.
CONAGUA-01-005	Extracción/remoción de materiales en bienes nacionales, según procedencia y clasificación administrativa.	Se tramitará en la ruta hídrica aplicable al componente autorizado.
CONAGUA-01-003-A	Aprovechamiento de aguas nacionales superficiales, según configuración jurídica definitiva.	Se integrará a la ruta administrativa cuando corresponda al esquema de uso/retorno.
CONAGUA-01-006	Uso u ocupación de terrenos/bienes federales, cuando resulte aplicable.	Se limitará a la huella necesaria y a las obras autorizadas.
CONAGUA-02-002	Obras de infraestructura hidráulica, según alcance definitivo.	Aplicable a conducciones, distribución y demás infraestructura hidráulica que requiera autorización.
NOM-001-SEMARNAT-2021	Límites permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales a cuerpos receptores propiedad de la Nación.	El retorno de agua tratada se verificará antes de su restitución y se suspenderá ante incumplimiento; se atenderán además las condiciones particulares que determine la autoridad.

La recirculación forma parte de la estrategia de uso eficiente del agua; el retorno continuo y distribuido se sujetará a la clasificación jurídica que determine la autoridad del agua, al título o permiso aplicable y a los parámetros de calidad exigibles al cuerpo receptor. La medición real de caudal y calidad prevalecerá sobre cualquier porcentaje conceptual de recirculación.

J.3 Residuos, sustancias y seguridad

Instrumento	Materia	Aplicación
LPGIR y su Reglamento	Prevención, clasificación y manejo integral de residuos.	Segregación por corriente, trazabilidad, almacenamiento compatible y entrega a destino autorizado cuando corresponda.
NOM-052-SEMARNAT-2005	Identificación y clasificación de residuos peligrosos.	Se utilizará cuando una corriente residual requiera determinar características de peligrosidad.
NOM-053-SEMARNAT-1993	Procedimiento de extracción para determinar toxicidad al ambiente, cuando aplique.	Complementa la clasificación de corrientes que requieran ensayo.
NOM-054-SEMARNAT-1993	Incompatibilidad entre residuos peligrosos.	Base para segregación y almacenamiento seguro de corrientes clasificadas.
Listados de actividades altamente riesgosas	Umrales por sustancia y cantidad.	Los inventarios máximos simultáneos, concentraciones y condiciones de manejo de las sustancias relevantes se controlarán y verificarán frente a los listados y umbrales aplicables a Actividades Altamente Riesgosas antes de su operación. Cualquier incremento o modificación relevante será objeto de revisión previa.
Hojas de Datos de Seguridad y procedimientos internos	Compatibilidad, protección personal y respuesta.	Obligatorias como control operativo para recepción, almacenamiento, dosificación y contingencias.

J.4 Biodiversidad, humedal y patrimonio

Instrumento / figura	Materia	Aplicación
NOM-059-SEMARNAT-2010 y modificación vigente	Especies nativas en riesgo.	Cruce documental, inspección por frente, exclusión temporal y medidas específicas cuando exista presencia.
Ley General de Vida Silvestre	Conservación de vida silvestre y hábitat.	Prohíbe afectaciones no autorizadas y sustenta rescate/manejo cuando corresponda.
Humedal Lago de Cuitzeo — INEGI	Unidad cartográfica ambiental oficial.	Base del AII y de la evaluación de dinámica lacustre; unidad cartográfica ambiental oficial distinta de una ANP.
RHP 62, AICA, RTP y WHSRN	Figuras de prioridad/conservación y sensibilidad.	Estas figuras incrementan el estándar de prevención y monitoreo conforme a su naturaleza jurídica y ambiental.
Ley Federal sobre Monumentos y marco INAH	Protección de patrimonio arqueológico, histórico y paleontológico.	Protocolo de hallazgos fortuitos, suspensión inmediata y coordinación con INAH.

J.5 Secuencia regulatoria de implementación

Etapas	Acción regulatoria / operativa	Condición de cumplimiento
1. Evaluación ambiental	Ingreso y resolución de la MIA Regional ante SEMARNAT.	El inicio de obras sujetas a autorización ocurrirá una vez obtenida la resolución correspondiente.
2. Habilitaciones hídricas	Integración de trámites y títulos de CONAGUA aplicables a obras, agua, bienes nacionales y retorno.	La ingeniería ejecutiva se ajusta a las condiciones que imponga la autoridad del agua.
3. Planta externa	Acreditación del predio privado y cumplimiento de permisos/uso de suelo y servicios que correspondan.	La planta se mantiene fuera del vaso; sus impactos se integran funcionalmente al proyecto.
4. Seguridad y sustancias	Definición y control de inventarios máximos, compatibilidades y condiciones de manejo conforme a las cantidades definitivas de operación. La incorporación de sustancias estará condicionada a contar con almacenamiento compatible, SDS, medidas de seguridad y procedimientos de respuesta.	La incorporación de sustancias estará condicionada a contar con almacenamiento compatible, SDS, medidas de seguridad y procedimientos de respuesta.
5. Inicio por celdas	Delimitación, instrumentación, inspección ambiental y autorización interna de apertura.	Sólo se abre un frente cuando están activos los controles y criterios de paro.

MIA REGIONAL | REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ANDOCUTÍN – LAGO DE CUITZEO

Etapas	Acción regulatoria / operativa	Condición de cumplimiento
6. Operación y retorno	Tratamiento, verificación, recirculación y retorno conforme a calidad autorizada.	El agua fuera de especificación no retorna y se dirige a retratamiento.
7. Cierre progresivo	Verificación de geometría, estabilidad, conectividad, retiro de temporales y seguimiento ecológico.	Evita acumular pasivos hasta el final de la vida útil.
8. Cierre final	Retiro de infraestructura temporal y gestión de remanentes.	Las ~200 ha permanecen integradas al vaso rehabilitado, sin relleno posterior.

ANEXO K. MEMORIA TÉCNICA DE ANTECEDENTES DE CAMPO Y CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR ANDOCUTÍN

Este anexo conserva la trazabilidad de los antecedentes directos de campo utilizados por la MIA para interpretar el medio físico. La información corresponde a campañas técnicas preexistentes del proyecto y se incorpora con un alcance estrictamente ambiental: sustentar la presencia y variabilidad del paquete lacustre, documentar la procedencia de muestras y orientar la caracterización y el monitoreo contemporáneos.

K.1 Campañas técnicas incorporadas

Campaña	Fecha	Alcance físico	Dato trazable	Uso en la MIA
Regional	jul–sep 2021	7 sondeos; 510.5 m; 211 muestras	CZ04: 63 m, 90.5% recuperación, 28 muestras	Contexto local profundo y referencia próxima al AP.
Andocutín	nov 2022	24 sondeos; 512.2 m; 255 muestras	21.0–21.6 m; recuperación promedio 94.55%	Espesor, variación vertical, ubicación y trazabilidad del material.
Verificación	15–18 dic 2022	24 collares 2022 + 2 collares 2021	Posiciones verificadas con GPS de mano	Control independiente de ubicación histórica; no sustituye levantamiento actual.

K.2 Relación espacial con el polígono actual

Se compararon las coordenadas UTM 14N de los collares históricos con los seis vértices del AP vigente. La comparación confirma que AN-01 se localiza dentro del AP, 13 sondeos adicionales se ubican a 500 m o menos del límite y los 24 sondeos se encuentran a menos de 1 km; CZ04 se localiza aproximadamente a 0.12 km del AP. Esta proximidad aporta contexto geológico local y orienta la confirmación por celda.

Relación espacial entre el AP actual y los sondeos técnicos 2021-2022

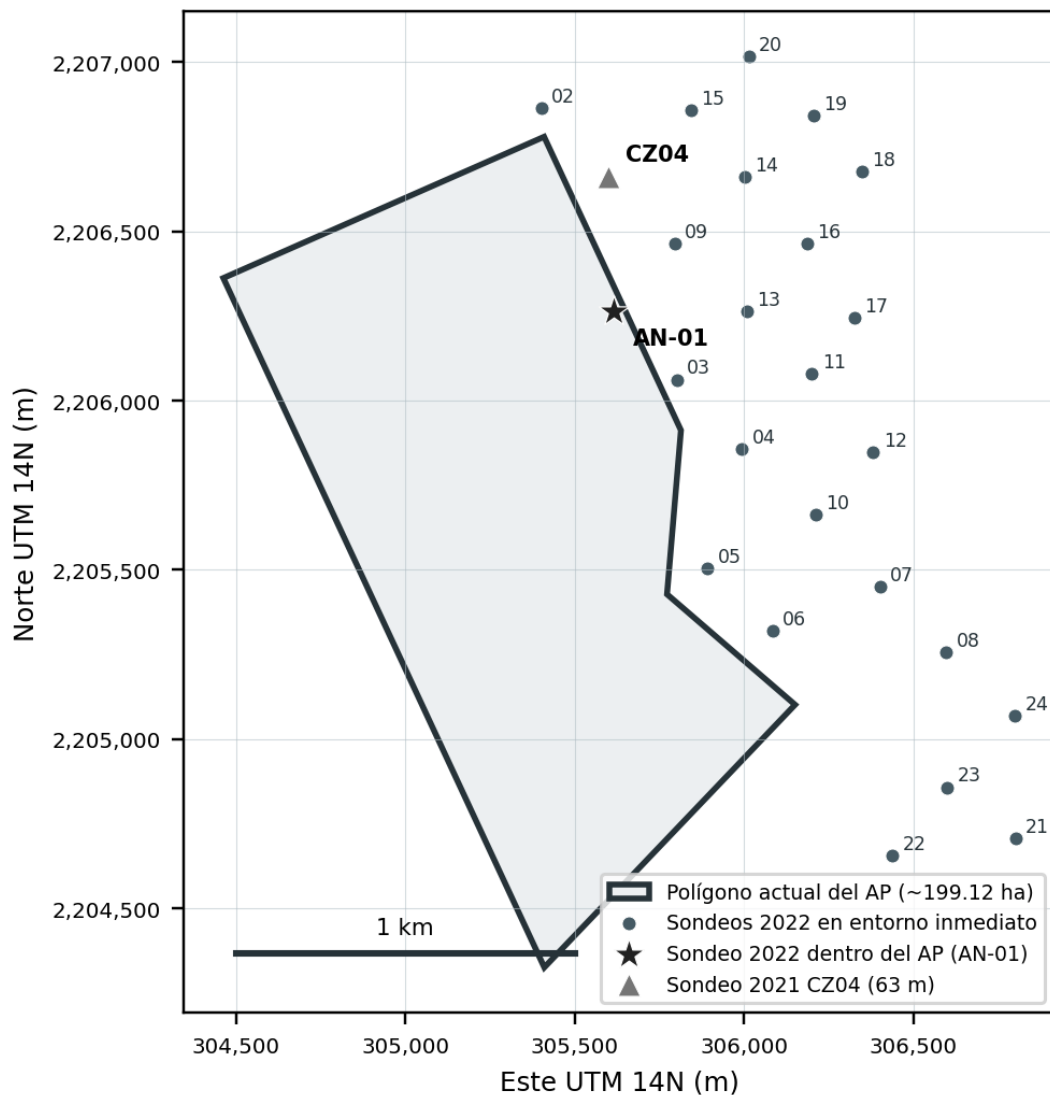


Figura K-1. Relación espacial entre el Área del Proyecto actual y los collares técnicos 2021–2022. Coordenadas UTM zona 14N; elaboración propia a partir del expediente de campo y el polígono vigente.

K.3 Registro resumido de los 24 sondeos de Andocutín (2022)

Sondeo	Este UTM	Norte UTM	Prof. (m)	Rec. (%)	Relación con AP
AN-01	305,615	2,206,263	21.0	92.6	Dentro del AP
AN-02	305,402	2,206,864	21.0	94.3	Exterior; 85 m al límite
AN-03	305,803	2,206,062	21.6	94.4	Exterior; 54 m al límite
AN-04	305,994	2,205,856	21.6	93.8	Exterior; 184 m al límite
AN-05	305,892	2,205,504	21.0	92.9	Exterior; 113 m al límite
AN-06	306,085	2,205,320	21.4	91.3	Exterior; 122 m al límite
AN-07	306,402	2,205,450	21.0	93.6	Exterior; 428 m al límite
AN-08	306,598	2,205,257	21.6	96.5	Exterior; 473 m al límite
AN-09	305,796	2,206,463	21.6	96.3	Exterior; 217 m al límite
AN-10	306,212	2,205,664	21.4	93.9	Exterior; 418 m al límite
AN-11	306,201	2,206,079	21.0	95.1	Exterior; 422 m al límite
AN-12	306,382	2,205,847	21.6	94.1	Exterior; 572 m al límite
AN-13	306,009	2,206,265	21.4	95.5	Exterior; 326 m al límite
AN-14	306,001	2,206,660	21.6	95.3	Exterior; 486 m al límite
AN-15	305,845	2,206,857	21.0	94.4	Exterior; 428 m al límite
AN-16	306,186	2,206,463	21.0	94.9	Exterior; 570 m al límite
AN-17	306,325	2,206,245	21.6	94.1	Exterior; 604 m al límite
AN-18	306,349	2,206,677	21.6	94.5	Exterior; 808 m al límite
AN-19	306,207	2,206,842	21.3	95.5	Exterior; 749 m al límite
AN-20	306,014	2,207,016	21.6	94.5	Exterior; 648 m al límite
AN-21	306,802	2,204,708	21.4	95.0	Exterior; 761 m al límite
AN-22	306,438	2,204,656	21.4	94.9	Exterior; 516 m al límite
AN-23	306,600	2,204,858	21.0	96.1	Exterior; 511 m al límite
AN-24	306,801	2,205,068	21.5	95.8	Exterior; 651 m al límite

Nota: la campaña 2022 totalizó 512.2 m y 255 muestras. La distancia reportada es la distancia mínima en planta al límite del polígono actual; no representa distancia hidráulica ni conexión funcional.

K.4 Perforación, registro y cadena de manejo de núcleos

Las campañas 2021–2022 utilizaron perforación con recuperación de núcleo mediante sistema HQ3 y barril triple recuperado por wireline. El núcleo se depositó en cajas plásticas y se marcó el final de cada corrida. Un geólogo profesional supervisó la perforación y el registro. El núcleo se describió de acuerdo con contactos y características del material; las muestras se tomaron sistemáticamente en intervalos cercanos a 2 m. El material se dividió con espátulas metálicas: una fracción se embolsó con identificación numerada y la fracción remanente se conservó en caja como testigo. La medición, registro, corte y manejo estuvieron bajo supervisión técnica, y las muestras fueron trasladadas directamente al centro de recepción y preparación de ALS en Guadalajara.

En laboratorio, las muestras se secaron a aproximadamente 60 °C antes de su preparación y análisis. La documentación conserva identificadores de muestra por sondeo, lo que permite vincular collar, profundidad aproximada y resultado analítico dentro de la base histórica.

K.5 Métodos analíticos y caracterización de materiales

Conjunto	Material	Método documentado	Alcance para esta MIA
2021 regional	Núcleos de sedimento	AuME-TL43: digestión en agua regia + ICP-MS	Antecedente de composición y heterogeneidad; la condición ambiental actual del AP se verifica mediante caracterización contemporánea.

Conjunto	Material	Método documentado	Alcance para esta MIA
2022 Andocutín	255 muestras de 24 sondeos	ME-MS61: digestión de cuatro ácidos + ICP-MS (primeros 10 m); ME-MS89L/B-MS89L: fusión con peróxido de sodio + ICP-MS	Base geoquímica y comparativa por profundidad, complementada con muestreo ambiental contemporáneo.
Muestras seleccionadas	Compuestos de sedimento y perforación	SGM 32A-23 y 32A-31: cuatro ácidos + ICP-OES/ICP-MS; difracción de rayos X y microscopía	Apoyo a identificación mineralógica y variabilidad del material; interpretación vinculada a la procedencia de cada compuesto.

K.6 Verificación, QA/QC y límites de interpretación

Entre el 15 y el 18 de diciembre de 2022 se realizó una visita técnica de verificación en la que se revisaron los 24 sitios de perforación de Andocutín y dos sitios regionales de 2021; las posiciones se comprobaron con GPS de mano. El expediente histórico también documenta una limitación relevante: no se implementó un protocolo detallado de QA/QC de campo con duplicados, remuestreos o sondeos gemelos. Los laboratorios aplicaron sus controles internos durante el proceso analítico. Esta limitación se incorpora al alcance de interpretación de la base histórica y determina el nivel de certeza asignado a esos antecedentes.

Su alcance se concentra en la observación del subsuelo, recuperación de núcleo, trazabilidad de muestras y caracterización analítica histórica. La calidad ambiental actual de los sedimentos por celda, movilidad de constituyentes bajo condiciones de obra, calidad actual del agua, biota contemporánea y cumplimiento de límites regulatorios se verificarán mediante el PVA, la caracterización previa a cada frente y los criterios de paro establecidos en esta MIA.

K.7 Uso operativo durante la rehabilitación

La base histórica de collares y muestras se integrará al GIS del proyecto para seleccionar puntos de verificación, anticipar cambios de material y comparar observaciones nuevas con antecedentes locales. Antes de abrir cada celda se confirmarán geometría, condición superficial, calidad ambiental aplicable y sensibilidad biológica. Durante la remoción, cualquier desviación sustantiva respecto de los antecedentes —por ejemplo, cambios abruptos de material, comportamiento hidráulico inesperado o resultados de calidad fuera de criterio— activará revisión técnica y, cuando corresponda, paro preventivo conforme al Anexo H.

SÍNTESIS DE INTEGRACIÓN TÉCNICA

La presente Manifestación de Impacto Ambiental integra la información técnica, ambiental, social y jurídica disponible para evaluar regionalmente el Proyecto de Rehabilitación, Saneamiento y Remediación Ambiental del Sector Andocutín del Lago de Cuitzeo. La integración incluye antecedentes directos de campo y laboratorio 2021–2022, incorporados con sus límites de representatividad espacial, propósito original y control de calidad, además de la información oficial y científica contemporánea. Las medidas aquí establecidas forman parte del diseño ambiental del proyecto y serán aplicables durante preparación, operación, cierre progresivo y cierre final, sin perjuicio de las condicionantes que establezca la autoridad competente.

El promovente reconoce que la recuperación del Lago de Cuitzeo es un objetivo regional que requiere acciones concurrentes de gobierno, comunidades, usuarios y sector privado. La intervención propuesta se limita al sector evaluado y se sustenta en un balance ambiental verificable: acepta y controla las perturbaciones adversas propias de la ejecución y el cambio permanente del sustrato dentro del AP, mientras orienta ese cambio a recuperar profundidad y capacidad física, conservar y tratar el agua manipulada, retirar materiales del vaso y favorecer la recuperación progresiva de hábitat y usos compatibles. La contribución ambiental neta positiva se considerará materializada únicamente en la medida en que los indicadores del PVA confirmen esos resultados y el manejo adaptativo mantenga los impactos residuales dentro de los niveles evaluados durante toda la vida útil.

MAPAS DE LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Proyecto de Rehabilitación, Saneamiento y Remediación Ambiental del Sector Andocutín del Lago de Cuitzeo

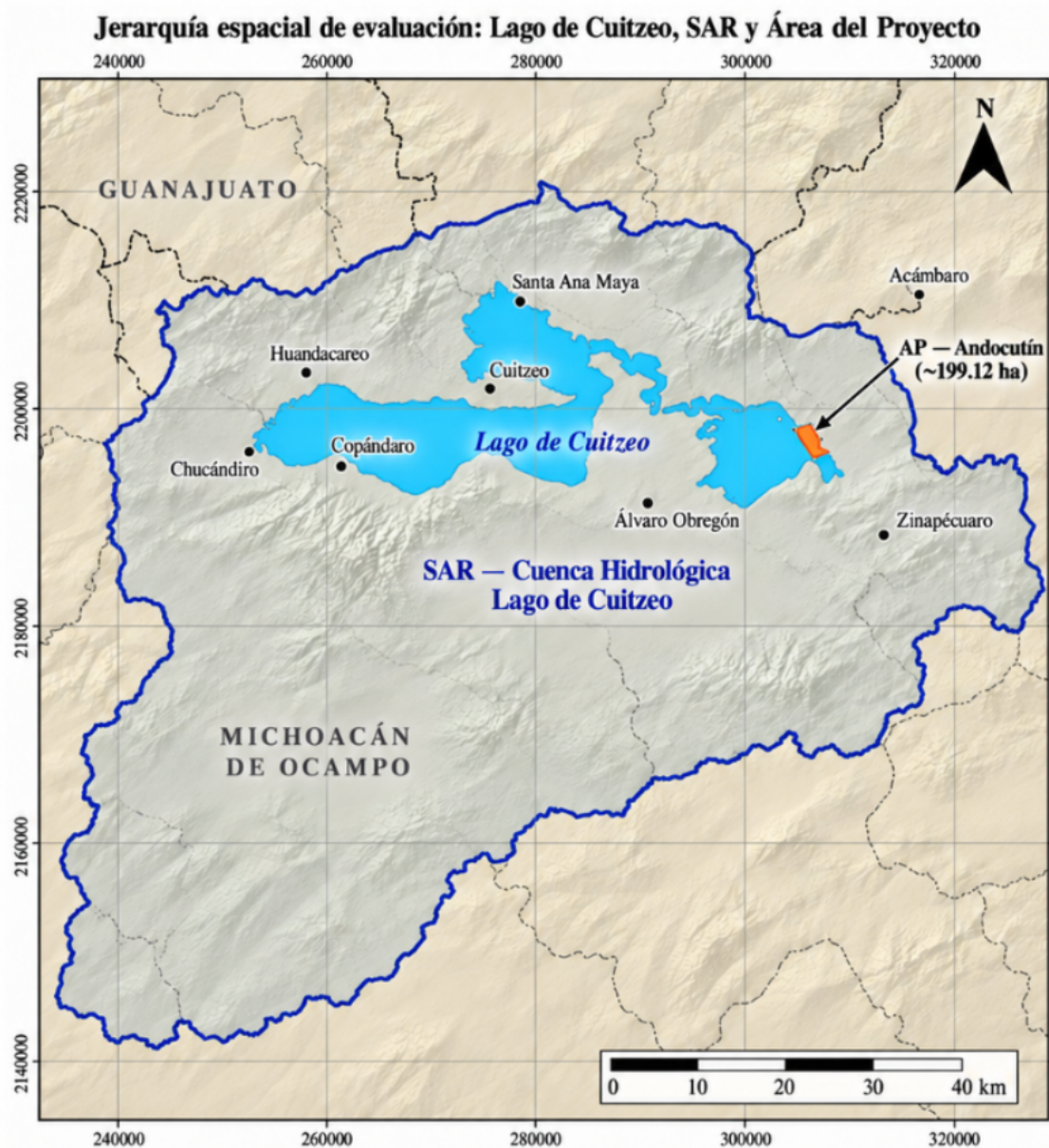
Paquete cartográfico de localización y referencia espacial

Mapa	Contenido
M-01	Localización regional del Lago de Cuitzeo, SAR y Área del Proyecto.
M-02	Detalle del sector oriental del Lago de Cuitzeo y ubicación del AP Andocutín.
M-03	Delimitación geográfica del AP vigente (~199.12 ha) y sus seis vértices.
M-04	Relación espacial entre el AP vigente y los sondeos técnicos históricos 2021-2022.

Sistema de referencia: WGS84 para coordenadas geográficas y UTM Zona 14N (EPSG:32614) para control métrico del Área del Proyecto.

Nota técnica: Los sondeos representados en M-04 forman parte de la base técnica disponible para la caracterización del sector Andocutín y su entorno inmediato. Su distribución espacial aporta información de referencia relevante para la interpretación geológica y ambiental del área, aun cuando algunos puntos se localizan fuera del polígono actual del AP.

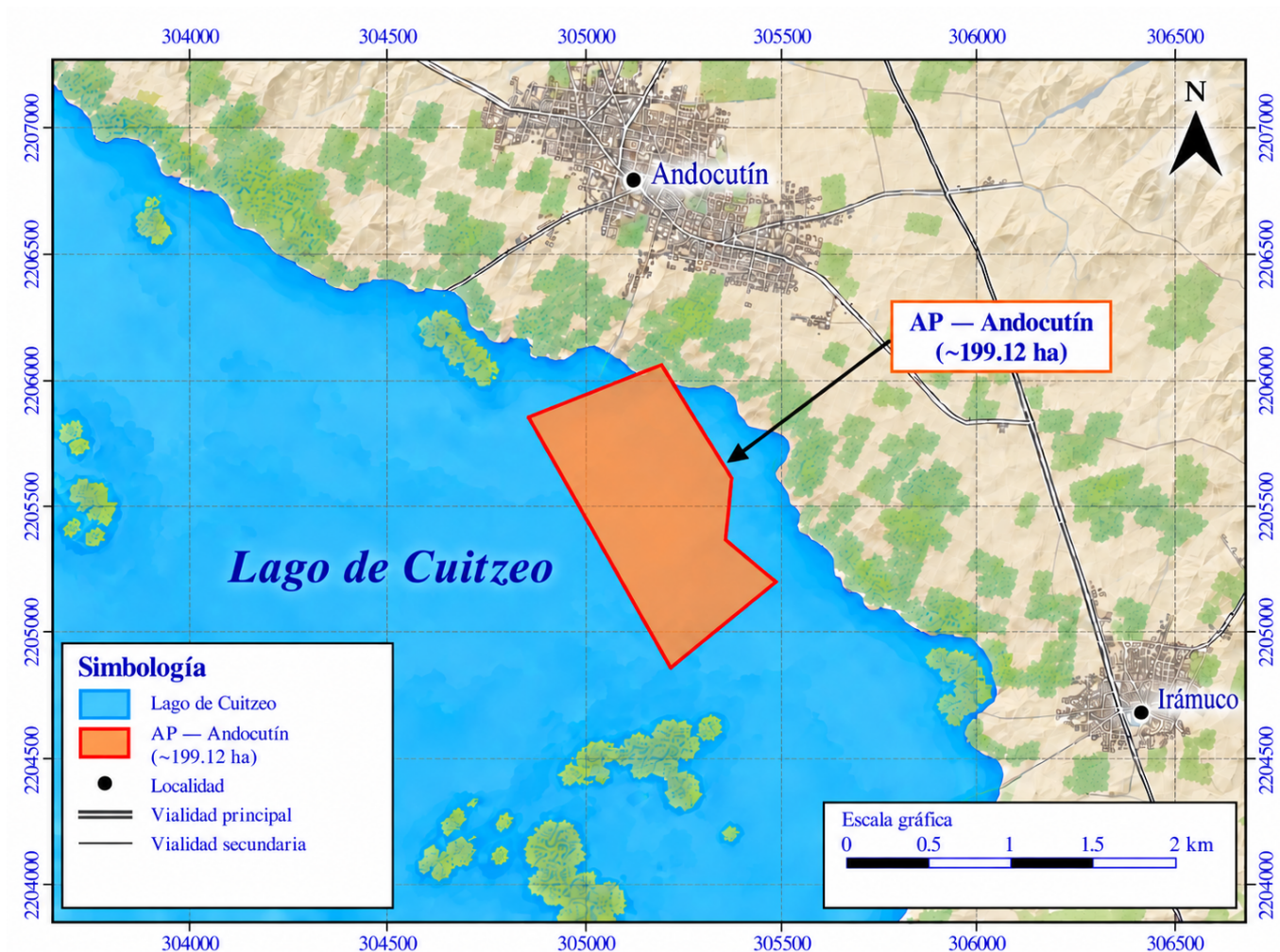
MAPA M-01. LOCALIZACIÓN REGIONAL Y JERARQUÍA ESPACIAL



Cuenca del Lago de Cuitzeo (SAR), Lago de Cuitzeo y ubicación del Área del Proyecto en el sector oriental.

Criterio de lectura: El SAR representa la escala regional de análisis; el AP es la huella máxima de intervención y no debe confundirse con la extensión total del lago.

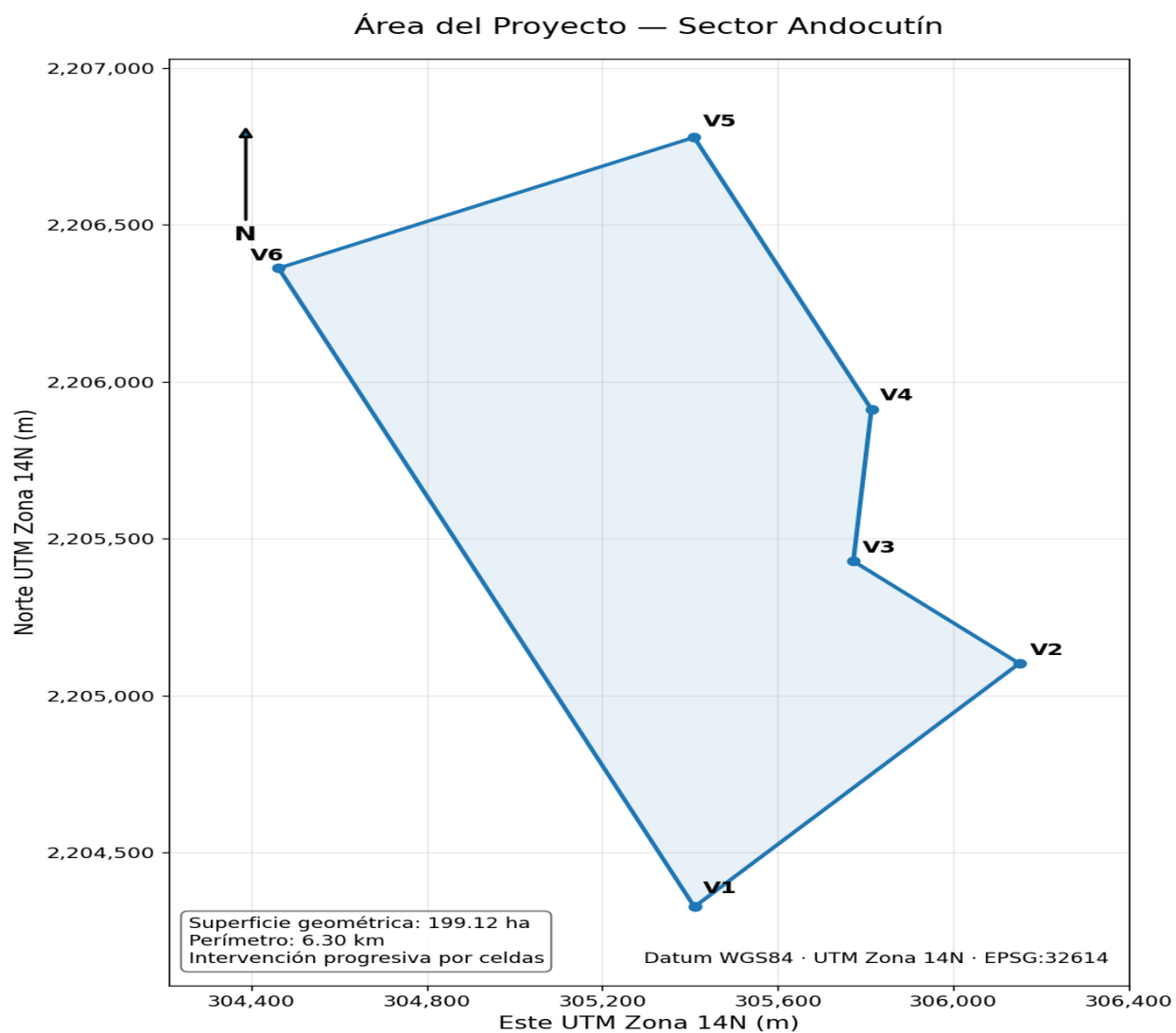
MAPA M-02. SECTOR ORIENTAL DEL LAGO DE CUITZEO



Detalle de localización del AP Andocutín respecto del sector oriental del Lago de Cuitzeo.

Criterio de lectura: Este mapa funciona como referencia territorial inmediata. La geometría legal/técnica del AP es la que se presenta en M-03 y en los archivos geoespaciales del paquete de planos.

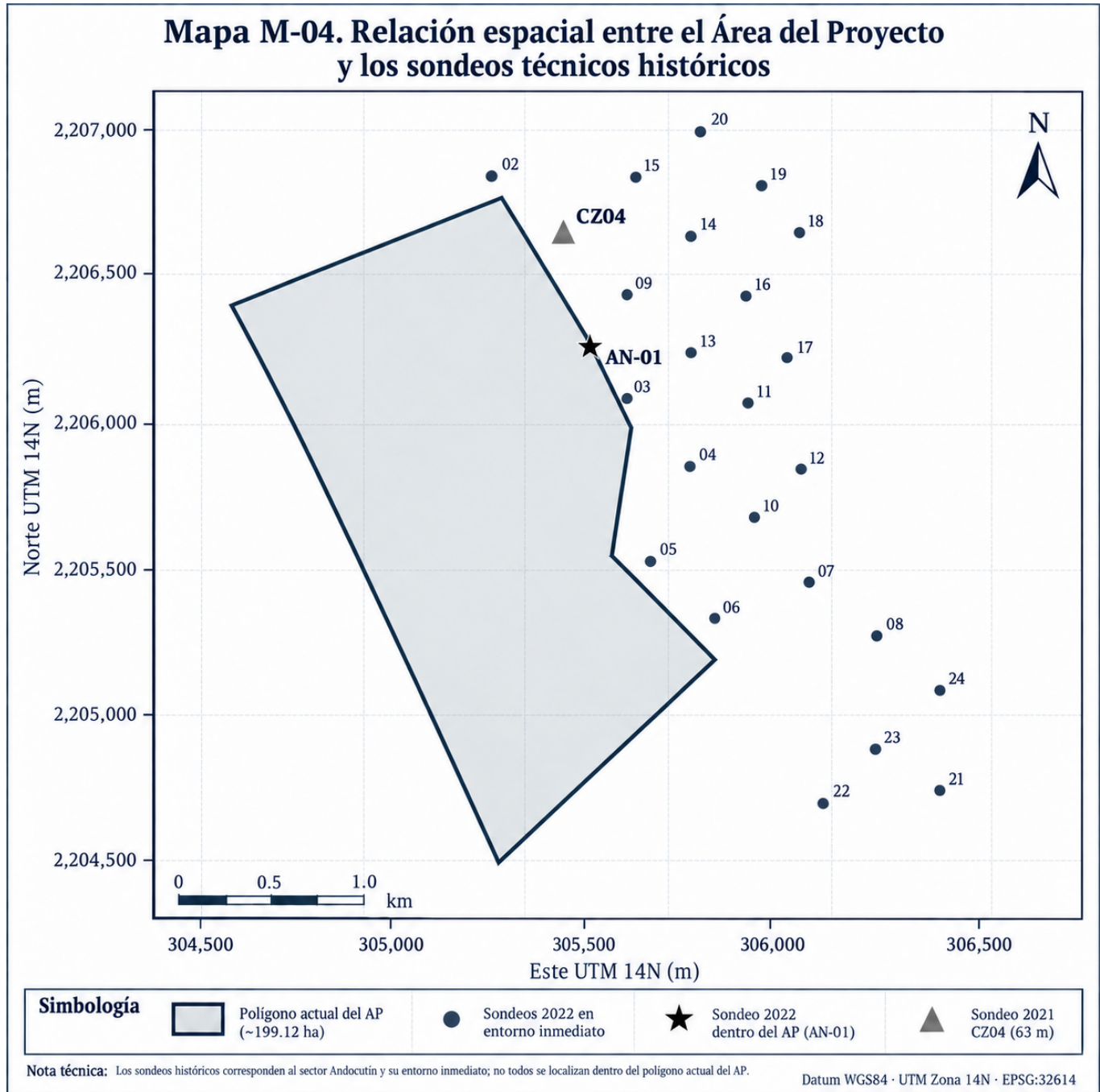
MAPA M-03. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO



Polígono vigente del AP con seis vértices. Superficie aproximada: 199.12 ha.

Criterio de lectura: La delimitación mostrada corresponde al polígono vigente utilizado en la MIA. Las coordenadas maestras deben conservarse idénticas en planos, memorias y solicitudes posteriores.

MAPA M-04. AP Y SONDEOS TÉCNICOS HISTÓRICOS



Relación espacial entre el polígono actual del AP y los sondeos técnicos históricos del sector Andocutín y su entorno inmediato.

Criterio de lectura: La campaña histórica cubre el sector y su entorno próximo; no debe describirse como una malla íntegramente contenida dentro de las 199.12 ha actuales.

MEDIDAS PLANEADAS PARA LA PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y CONTROL DE RIESGOS E IMPACTOS AMBIENTALES

PROYECTO DE REHABILITACIÓN, SANEAMIENTO Y REMEDIACIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ANDOCUTÍN DEL LAGO DE CUITZEO

Promovente
TECNOLOGÍA DE FITORREMEDIACIÓN, S.A. DE C.V.

Área del Proyecto (199.1237 ha), Lago de Cuitzeo
Michoacán, México
Referencia geográfica: Andocutín, Acámbaro, Guanajuato
Septiembre de 2026

Objeto. Consolidar en un documento operativo independiente las medidas de prevención, minimización, control, respuesta, cierre y verificación del desempeño ambiental previstas para el proyecto. Las medidas deberán ejecutarse conforme a la MIA, las autorizaciones aplicables y el diseño ejecutivo vigente.

1. Objeto, alcance y criterio de aplicación

Este documento concentra las medidas ambientales previstas para evitar que las perturbaciones necesarias para la intervención se conviertan en impactos significativos no controlados. Integra el Programa de Vigilancia Ambiental, los criterios de paro y reinicio, las bitácoras de cumplimiento y las medidas operativas detalladas.

La estrategia se aplica durante preparación, apertura de frentes, remoción, transporte, tratamiento de material y agua, retorno, cierre progresivo y seguimiento post-cierre. La restauración y la verificación de beneficios forman parte de la operación y no se difieren al final de la vida útil.

La jerarquía de manejo es: (i) evitar impactos innecesarios; (ii) minimizar los inevitables; (iii) restaurar funcionalidad al cerrar cada celda; y (iv) compensar únicamente cuando exista un impacto residual que lo requiera y la medida sea técnica y jurídicamente procedente.

2. Perfil de impactos adversos residuales y control principal

La evaluación ambiental identifica once vías adversas diferenciadas. Después de aplicar las medidas previstas, se conserva un efecto residual alto, seis moderados y cuatro bajos. No se elimina de la evaluación el cambio permanente del sustrato; se controla su extensión, geometría, estabilidad y función resultante.

Receptor / vía adversa	Efecto residual	Nivel residual	Control principal
Sustrato y morfología	Reemplazo permanente de la configuración y del paquete sedimentario intervenido dentro del AP.	Alto	Profundidad por celda, transiciones, huella progresiva, estabilidad y seguimiento batimétrico.
Hidrodinámica / interacción subsuperficial	Cambio local no deseado de rutas de flujo, tiempos de residencia o interacción superficial-subsuperficial.	Moderado	Diseño conectado, observación hidráulica, ajuste de geometría y puntos de retorno.
Agua y sedimentos	Turbidez, resuspensión y cambios fisicoquímicos durante la remoción.	Moderado	Frentes reducidos, control de pluma, tratamiento, verificación y criterios de paro.
Geoquímica	Movilización temporal de sales, nutrientes u otros constituyentes presentes en horizontes perturbados.	Moderado	Caracterización por lote, control de proceso, segregación y seguimiento de calidad.
Bentos y fauna acuática	Pérdida local de bentos y perturbación/desplazamiento de fauna en el frente activo.	Moderado	Secuencia por celdas, huella limitada, rescate cuando proceda y seguimiento de recolonización.
Fauna terrestre y lacustre	Perturbación, desplazamiento o riesgo de mortalidad evitable por presencia de maquinaria y personal.	Moderado	Inspección previa, delimitación de frentes, velocidad reducida, rescate cuando proceda y ajuste temporal.
Aves y zonas someras	Perturbación temporal o pérdida localizada de áreas de alimentación/descanso/reproducción.	Moderado	Inspección previa, exclusiones, conservación de ecotonos y ajuste temporal.
Predio externo / suelo	Transformación y compactación localizada por planta y accesos.	Bajo	Predio privado, drenaje controlado, minimización de huella y cierre de temporales.
Aire, ruido y tránsito	Polvo, ruido, emisiones y molestias por maquinaria y transporte.	Bajo	Mantenimiento, rutas, velocidad, humectación/cubrimiento y programación.
Patrimonio	Afectación accidental de vestigios por obras terrestres o tránsito.	Bajo	Protocolo de hallazgos fortuitos y coordinación con INAH.
Agua / suelo / usuarios	Fugas, derrames, manejo fuera de especificación o interferencia temporal con pesca, navegación, accesos o movilidad.	Bajo	Contención, inventario limitado, bloqueo de retorno fuera de especificación, programación de frentes, comunicación y trazabilidad.

3. Programa de Vigilancia Ambiental

La ejecución se organiza en once programas. Cada programa cuenta con medidas específicas, indicadores, frecuencia y mecanismos de paro o ajuste. La prioridad “Crítica” implica control continuo o condición previa indispensable para continuar la operación.

Código	Programa	Objetivo	Frecuencia marco	Prioridad
PVA-01	Control de alcance, excavación y morfología	Asegurar que la intervención se mantenga dentro del polígono, volumen, profundidad y secuencia autorizados, evitando expansión no evaluada.	Diaria / por frente	Crítica
PVA-02	Hidrología, sedimentos y calidad del agua	Prevenir pérdida de control hidráulico, resuspensión excesiva y cambios fisicoquímicos no previstos durante la remoción.	Continua / diaria / por evento	Crítica
PVA-03	Biodiversidad y avifauna	Evitar mortalidad, perturbación reproductiva y afectación innecesaria de hábitats sensibles, con énfasis en aves playeras y especies en riesgo.	Antes de cada frente / diaria	Crítica
PVA-04	Agua de proceso, reactivos y riesgo químico	Controlar captación, recirculación, sustancias químicas, derrames, efluentes y riesgos regulatorios del proceso.	Continua / diaria / mensual	Crítica
PVA-05	Materiales, residuos y corrientes de salida	Asegurar caracterización, contención, trazabilidad y destino legal de sales, material tratado, residuos y remanentes.	Por lote / mensual	Alta
PVA-06	Aire, ruido, tránsito y seguridad vial	Reducir polvo, ruido, emisiones, riesgos viales y deterioro de caminos durante preparación, transporte y operación.	Diaria / semanal / mensual	Alta
PVA-07	Gestión social, usos tradicionales y patrimonio	Prevenir conflictos, mantener accesos y proteger actividades tradicionales y patrimonio cultural.	Antes de frentes / mensual / por incidente	Alta
PVA-08	Restauración y cierre progresivo	Evitar pasivos físicos y ambientales, cerrar frentes progresivamente y asegurar retiro y manejo final de infraestructura y materiales.	Por frente / anual / cierre	Crítica
PVA-09	Contingencias y respuesta a emergencias	Establecer respuestas inmediatas para eventos hidrometeorológicos, derrames, fauna, fallas de contención y hallazgos culturales.	Continua / por evento	Crítica
PVA-10	Seguimiento acumulativo y manejo adaptativo	Revisar anualmente el desempeño acumulado del proyecto y ajustar ritmo, frentes y medidas cuando existan señales de deterioro o desviación.	Mensual / trimestral / anual	Crítica
PVA-11	Verificación del desempeño de la rehabilitación	Comprobar que las celdas cerradas generan capacidad, conectividad, conservación de agua y respuesta ecológica conforme a los resultados evaluados.	Por celda / trimestral / anual	Crítica

4. Medidas prioritarias por componente

Componente	Medidas prioritarias
Alcance y morfología	Geocercado del AP y de cada celda; control GNSS/batimétrico; profundidad máxima localizada de 20 m; volumen acumulado conciliado; huella activa limitada; geometrías estables; revisión regulatoria previa de cualquier cambio material.
Hidrología, turbidez y agua	Frentes reducidos; control de pluma; puntos de referencia; suspensión ante desviaciones persistentes; instrumentación del circuito; retorno sólo después de verificación de calidad; recirculación/retratamiento cuando la corriente no cumpla especificación.
Biodiversidad y avifauna	Inspección previa a cada frente; exclusiones ante nidos, pollos o fauna sensible; reducción de tránsito e iluminación innecesaria; conservación de zonas someras y ecotonos; seguimiento de recolonización en celdas cerradas.
Sustancias y contingencias	Inventarios controlados; nitrato de amonio segregado y fuera del vaso; ozono generado in situ; contención secundaria; hojas de seguridad; inspecciones; procedimientos para derrames, fallas de tubería, exposición química, incendio e inundación.

Componente	Medidas prioritarias
Materiales y corrientes de salida	Trazabilidad por lote; caracterización; almacenamiento contenido; destino documentado; segregación de material fuera de especificación; prohibición de retorno de sólidos, lodos, sales o residuos al vaso.
Aire, ruido, tránsito y seguridad	Mantenimiento preventivo; rutas definidas; velocidad controlada; humectación/cubrimiento cuando proceda; programación de actividades; control de incidentes viales y quejas.
Social y patrimonio	Información sobre frentes activos; mantenimiento de accesos; atención documentada de quejas; coordinación con pesca y navegación; protocolo de hallazgos fortuitos y aviso al INAH.
Cierre y rehabilitación	Perfilado y estabilización; retiro de equipos temporales; conectividad hidráulica; ausencia de barreras y pasivos; verificación de capacidad, hidroperiodo, calidad de agua, hábitat y usos compatibles.

5. Criterios de paro y condición de reinicio

Los criterios de paro son vinculantes para la operación interna. Su función es impedir que una desviación evolucione hacia un impacto acumulativo, persistente o no autorizado. El reinicio exige verificar que la causa se encuentra controlada y que la operación retorna a la condición autorizada.

ID	Tema	Evento detonante	Acción inmediata	Condición de reinicio	Prioridad
TP-01	Límite territorial	Actividad fuera del polígono/celda autorizada	Paro del equipo implicado	Verificación GIS y retorno a huella	Crítico
TP-02	Profundidad	Profundidad >20 m o superior al diseño de celda	Paro inmediato del frente	Revisión de control de profundidad y plan correctivo	Crítico
TP-03	Volumen	Proyección de exceder volumen autorizado	Congelar nuevos frentes	Conciliación de volumen/tonelaje y saldo autorizable	Crítico
TP-04	Hidráulica	Aislamiento, represamiento o desbordamiento inducido	Paro local y retiro/control de obstrucción	Conectividad restablecida	Crítico
TP-05	Estabilidad	Falla, deslizamiento, socavación o erosión fuera de celda	Aislar y retirar equipos del borde	Frente estable y verificado	Alto
TP-06	Turbidez	Pluma visible persistente fuera de celda o hacia hábitat/receptor sensible	Reducir/detener actividad causal	Pluma controlada y sin expansión	Crítico
TP-07	Fisicoquímica	Cambio abrupto persistente respecto al control, color/olor anormal o estrés biológico	Paro de actividad causal	Condición estabilizada y causa controlada	Alto
TP-08	Fauna acuática	Mortalidad atribuible o atrapamiento/concentración vulnerable	Paro local	Causa controlada y vías de escape/restablecimiento	Crítico
TP-09	Surgencia	Surgencia sostenida o ingreso de agua no previsto	Suspender profundización	Revisión técnica/ambiental y condición segura	Crítico
TP-10	Clima/nivel	Alerta oficial relevante o pérdida de control por lluvia/viento/nivel	Retiro de personal/equipos y paro	Fin de alerta + condición estable	Crítico
TP-11	Agua de reposición	Uso de agua fuera de autorización/diseño o restricción oficial	Ajustar caudal/ritmo y verificar balance	Balance dentro de condición autorizada	Crítico
TP-12	Descarga	Retorno fuera de especificación, rebose o liberación no controlada	Suspender retorno, contener y activar contingencia	Corriente controlada, calidad verificada y sistema restablecido	Crítico
TP-13	Aves/NOM-059	Nido, pollo, conducta reproductiva o especie en riesgo vulnerable	No abrir/parar frente y delimitar exclusión	Fin de condición sensible documentado	Crítico
TP-14	Vegetación	Remoción fuera de huella o especie protegida susceptible de afectación	Paro local	Huella redefinida/protegida	Alto
TP-15	Químicos	Sustancia sin expediente o inventario que alcanza umbral AAR	No usar / congelar inventario	Expediente y cumplimiento regulatorio cerrados	Crítico
TP-16	Contención	Derrame fuera de contención o pérdida de integridad	Detener uso/transferir/contener	Contención reparada y limpia	Crítico
TP-17	Materiales	Material tratado sin especificación/receptor o rechazo	Retener lote	Receptor/especificación o ruta off-spec legal	Crítico
TP-18	Tránsito	Accidente grave, ruta no autorizada o patrón de quejas	Suspender unidad/ruta según riesgo	Investigación y acción correctiva cerrada	Crítico

ID	Tema	Evento detonante	Acción inmediata	Condición de reinicio	Prioridad
TP-19	Patrimonio	Cualquier hallazgo arqueológico/histórico	Paro local, protección y aviso INAH	Instrucción de autoridad y medida aplicada	Crítico
TP-20	Conflicto/acceso	Bloqueo no comunicado o conflicto recurrente por acceso	Pausar actividad causal cuando sea seguro	Acceso alternativo/acuerdo documentado	Alto
TP-21	Cierre	Frente inactivo con inestabilidad, barreras o residuos	No liberar área / ejecutar cierre	Checklist de cierre satisfactorio	Crítico
TP-22	Acumulativo	Concentración de incidentes o deterioro regional coincidente con operación	Reducir ritmo/suspender expansión	Programa anual adaptado y medidas reforzadas	Crítico
TP-23	Cumplimiento	Diferencia material entre operación real y MIA/PFD/autorizaciones	Suspender etapa modificada	Consistencia o autorización obtenida	Crítico

6. Bitácoras, evidencia y trazabilidad

Toda medida deberá dejar evidencia suficiente para reconstruir qué ocurrió, dónde, cuándo, con qué equipo, qué indicador se observó, qué decisión se tomó y cómo se cerró la desviación. Las bitácoras mínimas son las siguientes:

Código	Bitácora	Campos mínimos	Frecuencia	Responsable
BIT-01	Frentes y excavación	Fecha, celda, equipo, coordenadas, profundidad, volumen, tonelaje, hora inicio/fin, incidencias	Diaria	Jefe de Operación
BIT-02	Hidrología y agua	Condición seca/húmeda, nivel observable, pluma/turbidez, pH/CE/T/OD cuando aplique, alertas y paros	Por turno / semanal / evento	Responsable Ambiental
BIT-03	Fauna y avifauna	Especie/descripción, coordenada, conducta, nido/pollo, mortalidad, medida tomada, foto	Continua / mensual consolidado	Responsable Ambiental
BIT-04	Agua de proceso	Agua de frente/entrada, recirculación, tratamiento, retorno, pérdidas, inventarios y cierre de balance	Diaria / mensual	Jefe de Planta
BIT-05	Reactivos y químicos	CAS, concentración, inventario, lote, SDS, recepción, consumo, inspecciones, incidentes	Continua / mensual	Seguridad + Planta
BIT-06	Materiales y residuos	Lote, cantidad, clasificación, almacenamiento, receptor, manifiesto/recibo, off-spec	Por lote / mensual	Almacén + Ambiental
BIT-07	Tránsito y seguridad vial	Unidad, ruta, GPS, viajes, conductor, incidentes, derrames, quejas, mantenimiento	Diaria / mensual	Logística
BIT-08	Social y quejas	Folio, actor, tema, fecha, respuesta, compromiso, responsable, cierre	Continua / mensual	Coordinación Social
BIT-09	Patrimonio	Hallazgo, ubicación, fotografías, suspensión, aviso INAH, instrucciones, reinicio	Por evento	Legal + Ambiental
BIT-10	Cierre progresivo	Frente, fecha de inactividad, estabilidad, retiro de equipo, residuos, barreras, fotos, liberación	Por frente / mensual	Operación + Ambiental
BIT-11	Incidentes y contingencias	Evento, hora, causa, volumen/magnitud, contención, notificación, acciones, cierre	Por evento	Seguridad y Medio Ambiente
BIT-12	Dashboard y auditoría	KPIs, tendencias, medidas incumplidas, acciones correctivas, evaluación anual acumulativa	Mensual / anual	Responsable Ambiental + Dirección
BIT-13	Desempeño de rehabilitación	Celda, condición inicial/final, capacidad, hidroperiodo, superficie húmeda/seca, conectividad, agua retornada, uso de hábitat, usos productivos, clasificación del beneficio y acciones adaptativas	Por celda / trimestral / anual	Responsable Ambiental + Operación

7. Indicadores de desempeño y verificación de la rehabilitación

El cumplimiento no se limita a evitar impactos. También se verifica que los resultados ambientales que justifican la intervención se materialicen. Los beneficios se clasificarán anualmente como demostrados, en proceso o no demostrados, con medidas adaptativas cuando corresponda.

Indicador	Criterio	Evidencia
Alcance territorial	100% de actividades dentro del AP y celdas autorizadas.	GIS/bitácora por turno.
Profundidad	Ningún frente supera 20 m ni el diseño específico de celda.	Control topográfico/operativo.
Huella activa	Sólo celdas necesarias para la secuencia en curso.	Mapa de frentes activos.
Calidad de retorno	100% del agua retornada cuenta con verificación de calidad; retorno suspendido ante desviación.	Instrumentación y muestreo.
Sólidos al lago	0 t de arcilla tratada, lodos, sales o residuos retornados.	Trazabilidad por lote.
Fauna sensible	0 apertura de frente sobre nidos o condición reproductiva detectada.	Inspección previa y diaria.
Incidentes químicos	0 liberaciones no contenidas; cierre documentado de cualquier evento.	Bitácora de contingencias.
Cierre progresivo	100% de frentes inactivos sometidos a verificación de estabilidad, retiro y conectividad.	Checklist de cierre.
Gestión social	100% de quejas registradas, respondidas y con seguimiento.	Sistema de folios.
Revisión acumulativa	Evaluación anual de tendencias y ajuste de ritmo/medidas cuando exista deterioro atribuible o coincidente.	Informe anual de manejo adaptativo.
Capacidad recuperada	Cuantificación por celda de profundidad y capacidad física adicional.	Levantamiento antes/después y memoria de cálculo.
Hidroperiodo / superficie húmeda	Seguimiento estacional interpretado con lluvia y nivel regional.	GIS/percepción remota/bitácora hidrológica.
Conectividad hidráulica	100% de celdas cerradas sin aislamiento ni barreras no diseñadas.	Checklist de cierre, inspección y evidencia geoespacial.
Calidad post-retorno	Tendencia compatible con parámetros autorizados y sin retorno fuera de especificación.	Instrumentación, laboratorio y bitácora de retorno.
Recolonización / uso de hábitat	Evidencia progresiva de uso de celdas cerradas, sin exigir composición fija no sustentada.	Monitoreo biológico y registro fotográfico/georreferenciado.
Pesca / navegación	Seguimiento de usos compatibles y coordinación con autoridades/usuarios.	Bitácora social y reportes de coordinación.
Beneficios demostrados	Clasificación anual: demostrado / en proceso / no demostrado por indicador.	Informe anual PVA-11 y decisión adaptativa.

8. Responsabilidades operativas mínimas

Rol	Responsabilidad principal
Responsable Ambiental	Coordinar PVA, inspecciones previas, calidad ambiental, fauna, indicadores, reportes y manejo adaptativo.
Jefe de Operación	Control diario de frentes, huella, profundidad, volumen, secuencia, estabilidad y cierre operativo.
Jefe de Planta	Balance de agua y material, operación del tratamiento, recirculación, retorno, lotes y continuidad de proceso.
Seguridad y Medio Ambiente	Reactivos, SDS, inventarios, contención, respuesta a emergencias, incidentes y capacitación.
Logística	Rutas, unidades, seguridad vial, trazabilidad de transporte y respuesta ante incidentes.
Coordinación Social / Legal	Quejas, accesos, coordinación con usuarios y autoridades, patrimonio y cumplimiento documental.
Dirección	Revisión mensual/trimestral/anual, aprobación de acciones correctivas y decisiones de manejo adaptativo.

9. Regla de control de cambios

Ningún cambio material en capacidad, profundidad, volumen, reactivos, inventarios, producto, agua, ubicación de planta, descarga/retorno, rutas o configuración de celdas deberá ejecutarse sin revisión técnica y regulatoria previa. Cuando el cambio rebase lo evaluado o autorizado, se suspenderá la etapa afectada hasta cerrar la consistencia documental o contar con la autorización correspondiente.

Las variables que dependan de diseño ejecutivo, línea base operacional o condicionantes de autoridad deberán cerrarse antes de iniciar la actividad correspondiente. La ausencia de un valor definitivo no habilita la operación sin control; obliga a establecerlo y documentarlo previamente.

ANEXO 1. Matriz detallada de medidas operativas

La matriz siguiente reproduce y organiza las medidas del Programa de Vigilancia Ambiental. Su aplicación se complementa con los criterios de paro y las bitácoras del presente documento. La frecuencia indicada es mínima y podrá incrementarse por condicionante, incidente, sensibilidad ambiental o manejo adaptativo.

PVA-01 — Control de alcance, excavación y morfología

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-001	Todas las fases	Geocercado digital del AP y de cada celda operativa.	Cargar polígono autorizado y celdas en equipos de navegación/GIS; ninguna excavación, tránsito operativo o depósito podrá ocurrir fuera de la huella autorizada salvo obra expresamente evaluada.	% de eventos fuera de huella	Diaria y cierre de turno
M-002	Extracción / remoción	Control de profundidad máxima localizada de 20 m.	Definir para cada celda la profundidad de diseño y conservar un límite absoluto de 20 m respecto de la superficie de referencia adoptada para el frente; registrar profundidad alcanzada.	Profundidad máxima por frente	Continua y cierre de frente
M-003	Extracción / remoción	Control del volumen acumulado autorizado.	Registrar diariamente volumen y tonelaje retirados por celda y acumulados del proyecto. El avance deberá permanecer por debajo del volumen máximo finalmente autorizado por SEMARNAT/CONAGUA.	Volumen acumulado / volumen autorizado	Diaria / mensual
M-004	Extracción / remoción	Operación progresiva por celdas con frente activo limitado.	Cada programa anual definirá celdas activas y secuencia. No se abrirán frentes adicionales fuera del programa anual sin revisión ambiental interna y actualización de la matriz de impactos.	Frentes activos vs frentes programados	Semanal
M-005	Extracción / remoción	Prohibición de barreras hidráulicas no diseñadas.	No formar bordos, pilas, terraplenes o pasos que corten transversalmente flujos o generen aislamiento de sectores salvo que estén expresamente diseñados y autorizados.	Obstrucciones no diseñadas	Diaria
M-006	Extracción / remoción	Mantener geometrías operativamente estables y limitar superficies abiertas.	Evitar taludes o paredes inestables; cualquier falla, socavación o migración de material fuera de celda activa deberá corregirse antes de continuar.	Eventos de inestabilidad	Diaria / después de lluvia o variación de nivel
M-007	Todas las fases	Control de cambios del proyecto.	Todo cambio material en capacidad, profundidad, volumen, reactivos, producto, agua, ubicación de planta, descargas o rutas deberá pasar por evaluación regulatoria antes de ejecutarse.	Cambios materiales ejecutados sin revisión	Por cambio / mensual

PVA-02 — Hidrología, sedimentos y calidad del agua

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-008	Extracción / remoción	Control espacial de pluma de turbidez.	Reducir caída libre, agitación y manipulación innecesaria. La pluma visible deberá permanecer asociada al frente y no afectar zonas sensibles o accesos fuera de la celda.	Extensión de pluma fuera de celda	Durante operación / cada turno
M-009	Extracción / remoción	Vigilancia comparativa de parámetros de campo cuando exista agua.	Medir, cuando técnicamente sea posible, pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto en un punto de control y uno próximo al frente, interpretando variaciones de forma comparativa y no como línea base histórica.	Registro comparativo pH/CE/T/OD	Semanal durante frentes con agua / ante incidente
M-010	Extracción / remoción	Criterio de paro por mortalidad o atrapamiento de fauna acuática.	No continuar trabajos cuando se observe mortalidad atribuible, atrapamiento masivo o concentración vulnerable dentro del frente.	Mortalidades/incidentes de atrapamiento	Continua

MATRIZ DETALLADA DE MEDIDAS OPERATIVAS | ANDOCUTÍN

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-011	Extracción / remoción	Paro ante surgencia o ingreso de agua no previsto.	Toda surgencia sostenida, flujo ascendente o cambio hidrogeológico no previsto durante excavación se tratará como condición de revisión antes de profundizar.	Surgencias no previstas	Continua
M-012	Extracción / remoción	Protocolo hidrometeorológico de suspensión.	No operar frentes cuando exista alerta oficial relevante, incremento rápido del nivel, lluvia/tormenta que comprometa control del frente, visibilidad o estabilidad.	Suspensiones por condición hidrometeorológica	Diaria / continua durante evento
M-013	Planta / proceso	Medición obligatoria del agua de reposición.	Instalar medición de agua de reposición/captación y llevar balance operativo; ningún consumo podrá exceder el título o autorización aplicable.	Agua de reposición	Diaria / mensual
M-014	Planta / proceso	Medición de recirculación real, sin asumir 95%.	Calcular periódicamente el porcentaje real de recirculación con caudales medidos. No presentar 95% como hecho hasta que lo demuestre la operación.	% recirculación real	Mensual
M-015	Planta / proceso	Control estricto del retorno de agua tratada.	Retornar al lago únicamente agua tratada, en puntos autorizados, con verificación de calidad y cumplimiento de la regulación aplicable; cualquier corriente fuera de especificación se recircula para retratamiento.	Descargas no autorizadas	Continua / mensual
M-016	Todas las fases	Revisión hidrológica operacional anual.	Integrar anualmente avance de frentes, volumen retirado, incidentes de conectividad, condición húmeda/seca y restricciones oficiales para decidir el ritmo del siguiente año.	Revisión anual emitida	Anual

PVA-03 — Biodiversidad y avifauna

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-017	Preparación / extracción	Revisión visual previa a la apertura de cada frente.	Antes de abrir una celda, realizar recorrido visual documentado para detectar nidos, pollos, concentraciones de aves, vegetación emergente sensible o fauna vulnerable.	Frentes revisados antes de apertura	Antes de cada nuevo frente
M-018	Extracción / remoción	Protección reforzada de chorlo nevado y otras especies en riesgo.	Todo registro de chorlo nevado, nido, pollo o comportamiento reproductivo en zona de influencia inmediata activará exclusión temporal del frente. La amplitud de exclusión se definirá conservadoramente según condición observada y, cuando proceda, indicación de autoridad/especialista.	Eventos de exclusión por especie en riesgo	Continua durante temporada/operación
M-019	Extracción / remoción	Mantener mosaico de áreas no intervenidas y evitar ocupación simultánea extensa.	La secuencia de celdas deberá conservar zonas no activas contiguas o cercanas que funcionen como refugio/uso alternativo, evitando intervenir simultáneamente toda la superficie disponible.	Proporción de AP con frentes activos	Mensual
M-020	Extracción / planta	Iluminación mínima, dirigida y sin dispersión innecesaria.	Usar luminarias apantalladas y dirigidas a zonas de trabajo; evitar iluminación del vaso y de hábitats no operativos cuando no sea necesaria por seguridad.	Incidencias de iluminación fuera de huella	Mensual / por queja
M-021	Transporte / operación	Prevención de atropellamiento y persecución de fauna.	Limitar velocidad en caminos internos/rurales, prohibir persecución/captura y registrar toda mortalidad o fauna encontrada en la vía.	Atropellamientos atribuibles	Diaria
M-022	Extracción / remoción	No remover vegetación fuera de la celda autorizada.	Delimitar previamente parches de vegetación emergente/halófila visibles y restringir maquinaria a la huella operativa. La remoción sólo ocurrirá cuando sea parte expresa del frente autorizado.	Afectación fuera de huella	Antes y durante cada frente
M-023	Todas las fases	Bitácora única de fauna y eventos sensibles.	Registrar especie o descripción, fecha, coordenada, conducta, mortalidad, nido, medida tomada y evidencia fotográfica. Los registros se usarán para adaptar rutas/frentes.	Registros completos	Mensual

PVA-04 — Agua de proceso, reactivos y riesgo químico

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-024	Planta / proceso	Balance de agua de planta con medición de entradas, recirculaciones, purgas y salidas.	Ninguna corriente de agua quedará sin destino definido. El balance será conciliado con producción para detectar pérdidas o descargas no previstas.	Error de cierre de balance / corrientes sin destino	Mensual
M-025	Planta / proceso	Contención secundaria y piso impermeable para sustancias y soluciones de proceso.	Tanques, recipientes y zonas de dosificación deberán contar con contención apropiada y drenaje segregado; no usar suelo natural como contención.	Inspecciones conformes	Semanal
M-026	Planta / proceso	Inventario maestro de sustancias con CAS, concentración y máximo simultáneo.	Antes de usar cualquier reactivo, registrar identidad, concentración, inventario máximo, SDS, incompatibilidades y almacenamiento. El inventario maestro servirá como base de control para verificar permanentemente el cumplimiento de los criterios aplicables a Actividades Altamente Riesgosas.	Sustancias con expediente completo	Antes de ingreso / mensual
M-027	Planta / proceso	Verificación de inventarios y condiciones de manejo frente a los listados y umbrales aplicables a Actividades Altamente Riesgosas.	Comparar sustancias, forma física, concentración e inventario máximo contra listados vigentes. Si se alcanza/supera umbral, tramitar lo procedente antes de operar ese inventario.	Screening actualizado	Antes de operación y ante cambio
M-028	Planta / proceso	Sistemas cerrados y control de emisiones para ozono y otros reactivos volátiles.	El ozono generado in situ y cualquier otro reactivo volátil se manejarán en sistemas cerrados o con ventilación/localización adecuada, minimizando inventarios y exposición.	Eventos de exposición / desviaciones de ventilación	Continua / por evento
M-029	Planta / proceso	Compatibilidad y segregación de reactivos.	Almacenar incompatibles separados; etiquetar; disponer de contención y equipos de respuesta compatibles con las SDS.	No conformidades de almacenamiento	Semanal
M-030	Planta / proceso	Gestión cerrada de purgas y remanentes líquidos.	Toda purga o solución que no se recircule tendrá tanque/ recipiente identificado y destino autorizado; se prohíbe el vaciado por conveniencia operativa.	Volumen de purgas con destino trazable	Por evento / mensual
M-031	Planta / proceso	Consistencia obligatoria PFD-MIA- operación.	El proceso operado, reactivos, productos, subproductos y corrientes deberán corresponder al PFD y descripción autorizada. Se realizará revisión de consistencia antes de arranque y anualmente.	Desviaciones materiales	Pre-arranque / anual

PVA-05 — Materiales, residuos y corrientes de salida

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-032	Planta / proceso	Almacenamiento contenido y cubierto de corriente secundaria de sales.	Evitar contacto con lluvia/suelo y pérdida eólica; utilizar recipientes o áreas impermeables, etiquetadas y con capacidad suficiente.	Pérdidas de contención / stock sin control	Semanal
M-033	Planta / proceso	Trazabilidad por lote de materiales, sales y producto.	Cada lote deberá contar con origen, fecha, cantidad, condición, receptor y documentación de entrega. No habrá salidas 'sin clasificación'.	Lotes con trazabilidad completa	Por lote / mensual
M-034	Planta / proceso	Liberación de material tratado sólo contra especificación y receptor definido.	No comercializar, donar ni enviar material tratado a proyectos de gobierno/agricultura/relleno sin especificación de aceptación y documentación de receptor. Material off-spec seguirá ruta alternativa legal.	% material conforme / off-spec	Por lote
M-035	Todas las fases	Segregación, etiquetado y manejo conforme a clasificación aplicable.	Separar residuos urbanos, manejo especial y peligrosos cuando corresponda; aplicar NOM-052/053/054 según características y enviar a gestores autorizados.	Residuos con clasificación/destino	Mensual

MATRIZ DETALLADA DE MEDIDAS OPERATIVAS | ANDOCUTÍN

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-036	Cierre / restauración	Inventario cero de remanentes sin destino al cierre.	Antes de abandono, identificar y retirar sustancias, soluciones, residuos, pilas, estructuras no requeridas y materiales fuera de especificación.	Remanentes sin destino	Mensual durante cierre

PVA-06 — Aire, ruido, tránsito y seguridad vial

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-037	Preparación / transporte	Control de polvo en caminos, patios y cargas.	Cubrir cargas, evitar sobrellenado, limpiar derrames, ajustar velocidad y aplicar humectación sólo cuando sea compatible con manejo del material y disponibilidad de agua.	Quejas / plumas de polvo / derrames	Diaria
M-038	Preparación / planta	Control de ruido por mantenimiento, ubicación y horario.	Mantener silenciadores/equipos; actividades no continuas de mayor ruido se programarán en horario diurno cuando sea viable. Cumplir NOM-081 cuando sea aplicable.	Quejas / mediciones cuando proceda	Mensual / por queja
M-039	Transporte	Plan de rutas y ventanas de tránsito.	Definir rutas autorizadas, evitar centros poblados y bienes culturales sensibles cuando sea viable, establecer ventanas horarias y señalización.	Viajes fuera de ruta / incidentes	Diaria / mensual
M-040	Transporte	Límites de velocidad y conducción defensiva.	Establecer límites por tipo de camino y zonas pobladas; capacitación y control de fatiga. Cualquier accidente grave activa revisión de ruta.	Accidentes / infracciones	Diaria / mensual
M-041	Transporte	Inspección de vehículos y contención de carga.	Vehículos para sedimento/lodos deberán evitar escurrimientos y pérdida de carga; inspección de compuertas, lonas y estado antes de salida.	Unidades conformes	Cada viaje / turno
M-042	Planta / transporte	Indicadores de intensidad energética y combustible.	Registrar kWh y combustibles por tonelada procesada para detectar ineficiencias; no utilizar el indicador como compensación de impactos directos.	kWh/t; combustible/t	Mensual

PVA-07 — Gestión social, usos tradicionales y patrimonio

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-043	Preparación / todas	Protocolo de hallazgo fortuito y protección de bienes históricos.	Cualquier vestigio arqueológico/histórico detendrá trabajos locales; no mover/limpiar; proteger y notificar INAH. Rutas evitarán Estación Andocutín y otros bienes sensibles cuando sea viable.	Hallazgos gestionados conforme protocolo	Continua / por evento
M-044	Todas las fases	Mecanismo formal de atención de quejas y compromisos.	Habilitar canal de recepción, folio, responsable, fecha, investigación, respuesta y cierre. No se cerrará una queja sin evidencia de respuesta.	Quejas abiertas > plazo interno	Continua / mensual
M-045	Extracción / transporte	Mantener accesos y corredores de uso tradicional cuando sean compatibles con seguridad.	Antes de intervenir zonas que puedan afectar accesos, navegación, pesca, tule u otros usos, identificar usuarios y mantener alternativas o avisos temporales.	Interrupciones no programadas de acceso	Antes de cada frente / por cambio de ruta
M-046	Todas las fases	Información transparente sobre alcance y cambios relevantes.	Comunicar de forma comprensible alcance, horarios, rutas, medidas y canales de contacto; no presentar beneficios no demostrados ni minimizar impactos.	Comunicaciones / reuniones documentadas	Trimestral / antes de cambios relevantes
M-047	Transversal	Contratación y proveeduría local sólo como compromiso verificable.	Si el promovente adopta política local, definir criterios transparentes y reportar empleos/compras locales. No usarlo para compensar impactos ambientales.	Empleos/compras locales	Trimestral
M-048	Transversal	No atribuir mejora pesquera/navegación sin evidencia operacional.	Cualquier efecto positivo por desazolve se reportará sólo donde exista mecanismo observado y sin extrapolar a todo el lago.	Beneficio documentado	Anual

PVA-08 — Restauración y cierre progresivo

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-049	Preparación / planta	Minimizar huella de planta externa y restaurar áreas temporales.	Priorizar predio previamente intervenido cuando sea viable; delimitar huella, conservar drenajes y restaurar superficies temporales al concluir su uso.	ha permanentes vs temporales / ha restauradas	Mensual / al cierre de obra
M-050	Extracción / remoción	Cierre progresivo de frentes.	Un frente que deje de ser operativo deberá ponerse en condición física estable, retirar equipos/materiales temporales y quedar sin barreras u objetos abandonados.	Frentes cerrados / frentes inactivos	Mensual
M-051	Cierre	Criterios de estabilidad y seguridad al cierre.	No declarar cerrado un frente con taludes inestables, accesos peligrosos, obstrucciones hidráulicas o riesgos para usuarios/fauna.	Frentes con observaciones por cerrar	Por frente
M-052	Cierre	Desmantelamiento limpio y retiro total de corrientes remanentes.	Vaciar, limpiar y desmantelar sistemas no requeridos; manejar aguas/residuos/remanentes conforme a su clasificación y autorización.	Elementos/remanentes por retirar	Mensual durante cierre
M-053	Cierre / post-cierre	Verificación post-cierre de estabilidad y ausencia de pasivos.	Realizar inspecciones posteriores de frentes cerrados para detectar erosión, residuos, barreras, riesgos o problemas de acceso.	Observaciones post-cierre abiertas	Trimestral durante primer año post-cierre de cada frente; después según desempeño

PVA-09 — Contingencias y respuesta a emergencias

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-054	Todas las fases	Plan integrado de respuesta a emergencias ambientales.	Mantener procedimientos para derrame, pérdida de carga, falla de contención, lluvia/inundación, exposición química y descarga no autorizada, con responsables y contactos.	Simulacros / incidentes con respuesta documentada	Semestral / por incidente
M-055	Transporte / planta	Kits y capacidad de contención disponibles en puntos de riesgo.	Equipos de respuesta compatibles con materiales transportados/almacenados deberán estar accesibles y con inspección vigente.	% puntos críticos con kit conforme	Mensual
M-056	Todas las fases	Paros automáticos por fauna reproductiva y hallazgo cultural.	Los triggers definidos en PVA-03 y PVA-07 tendrán prioridad sobre continuidad operativa local.	Paros activados y atendidos	Por evento / trimestral
M-057	Todas las fases	Notificación y documentación de incidentes relevantes.	Definir matriz interna de incidentes que requieren aviso a autoridad conforme a permiso, ley o resolutivo; conservar cronología y evidencia.	Incidentes notificables atendidos en plazo	Por incidente

PVA-10 — Seguimiento acumulativo y manejo adaptativo

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-058	Todas las fases	Tablero mensual de desempeño ambiental.	Consolidar avance físico, agua, incidentes, fauna, quejas, residuos, frentes activos/cerrados y triggers en un tablero único para detectar tendencias.	Tablero emitido	Mensual
M-059	Todas las fases	Evaluación acumulativa anual y decisión de ritmo.	Comparar avance acumulado con condición regional documentada, sequía/alertas, frentes cerrados vs activos, incidentes y receptores sociales; decidir mantener, reducir o reordenar actividad.	Informe acumulativo anual	Anual
M-060	Todas las fases	Auditoría interna anual de consistencia y cumplimiento.	Revisar PFD, MIA, autorizaciones, CONAGUA, inventarios, rutas, PVA, bitácoras y compromisos; documentar hallazgos y planes de acción.	Hallazgos abiertos / cerrados	Anual

MATRIZ DETALLADA DE MEDIDAS OPERATIVAS | ANDOCUTÍN

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-061	Todas las fases	Repositorio maestro de evidencia y trazabilidad.	Conservar en estructura controlada mapas, bitácoras, fotos, mediciones, quejas, manifiestos, SDS, incidentes, reportes de cierre y auditorías con versión/fecha/responsable.	% registros obligatorios disponibles	Mensual / anual

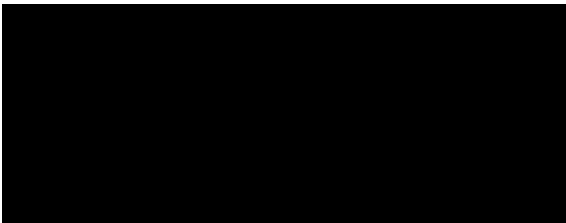
PVA-11 — Verificación del desempeño de la rehabilitación

ID	Fase	Medida	Implementación	Indicador	Frecuencia
M-062	Antes y después de cada celda	Línea de referencia y cierre geométrico de cada celda.	Registrar geometría, cotas, superficie y condición seca/húmeda antes de intervenir; repetir levantamiento al cierre con método comparable.	% celdas con comparación antes/después	Por celda
M-063	Cierre progresivo	Cuantificación de capacidad física recuperada.	Calcular volumen adicional resultante de la geometría final respecto de la referencia adoptada, documentando supuestos y método.	m³ de capacidad adicional por celda	Por celda / anual
M-064	Operación / post-cierre	Seguimiento de hidroperiodo y superficie húmeda/seca.	Registrar mediante observación, GIS o percepción remota la duración/frecuencia de inundación y la superficie húmeda/seca de celdas cerradas, interpretándola con lluvia y nivel regional.	Días con agua / % superficie húmeda	Mensual estacional / anual
M-065	Cierre / post-cierre	Verificación de conectividad hidráulica.	Comprobar que las celdas cerradas no queden aisladas y que las transiciones no generen barreras o erosión no prevista.	% celdas conectadas / observaciones abiertas	Por cierre / después de eventos
M-066	Operación	Balance de conservación y retorno del agua por celda.	Conciliar agua asociada al frente, tratamiento, recirculación, pérdidas e ingreso/retorno al AP, evitando atribuir al proyecto entradas regionales.	m³ tratados, recirculados y retornados	Diaria / mensual / anual
M-067	Operación / post-cierre	Seguimiento de calidad en puntos de retorno y celdas cerradas.	Comparar parámetros de control y tendencias de la corriente retornada; suspender retorno ante incumplimiento y documentar retratamiento.	% retornos conformes / tendencias de calidad	Continúa / campaña según programa
M-068	Post-cierre de celda	Seguimiento de recolonización y uso de hábitat.	Registrar evidencia de uso por fauna, vegetación y bentos cuando sea técnicamente observable, sin forzar una composición objetivo no sustentada.	Registros de uso / eventos de recolonización	Trimestral / estacional
M-069	Post-cierre / gestión social	Seguimiento de pesca, navegación y usos compatibles.	Documentar, con autoridades y usuarios cuando proceda, cambios observables en accesibilidad, uso pesquero o navegación sin atribuir causalidad exclusiva al proyecto sin evidencia.	Registros de uso / coordinación	Semestral / anual
M-070	Todas las fases	Informe anual de desempeño de rehabilitación.	Integrar capacidad, hidroperiodo, agua, conectividad, hábitat, usos e impactos residuales; clasificar cada beneficio como demostrado, en proceso o no demostrado y ajustar el programa anual.	Informe emitido y decisiones adaptativas	Anual

10. Integración y validación

Este documento deberá mantenerse consistente con la MIA, el diseño ejecutivo, las autorizaciones de SEMARNAT y CONAGUA, los procedimientos internos de seguridad y los resultados reales del monitoreo. En caso de discrepancia, prevalecerán las condiciones más restrictivas establecidas por la autoridad y la obligación de no ejecutar actividades no evaluadas o no autorizadas.

Antes del inicio de obra se deberán asignar responsables nominales, formatos de bitácora, puntos y parámetros de control, instrumentos de medición, rutas de notificación y cadena de decisión para paro/reinicio. Durante la operación, cualquier desviación relevante deberá documentarse con causa, medida inmediata, acción correctiva, responsable, evidencia de cierre y decisión de reinicio.

Aprobación del promovente	
	
Ing. José Ignacio Natera Ramírez	
Fecha: 23 de septiembre de 2026	

MEMORIA TÉCNICA

ANTECEDENTES DE CAMPO Y CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR ANDOCUTÍN

Documento técnico complementario de la Manifestación de Impacto Ambiental – Modalidad Regional

PROMOVENTE
TECNOLOGÍA DE FITORREMEDIACIÓN, S.A. DE C.V.

Área del Proyecto (199.1237 ha), Lago de Cuitzeo

Michoacán, México

Referencia geográfica: Andocutín, Acámbaro, Guanajuato

Septiembre de 2026

1. Objeto y alcance de la memoria

La presente memoria documenta los antecedentes directos de campo y laboratorio disponibles para el sector Andocutín y su entorno inmediato, con el propósito de dar trazabilidad al medio físico utilizado en la evaluación ambiental del proyecto.

La información corresponde a campañas técnicas preexistentes del proyecto realizadas en 2021 y 2022. Se incorpora con un alcance estrictamente ambiental: sustentar la presencia y variabilidad del paquete lacustre, documentar la procedencia de muestras, aportar contexto local sobre el subsuelo y orientar la verificación futura por celda. No se utiliza para asignar categorías económicas al material ni para sustituir estudios ambientales contemporáneos de calidad de agua, sedimentos, biota o cumplimiento regulatorio.

La relación espacial con el Área del Proyecto vigente se evalúa expresamente para evitar atribuir a las campañas históricas una cobertura mayor a la que realmente poseen.

2. Síntesis de campañas técnicas incorporadas

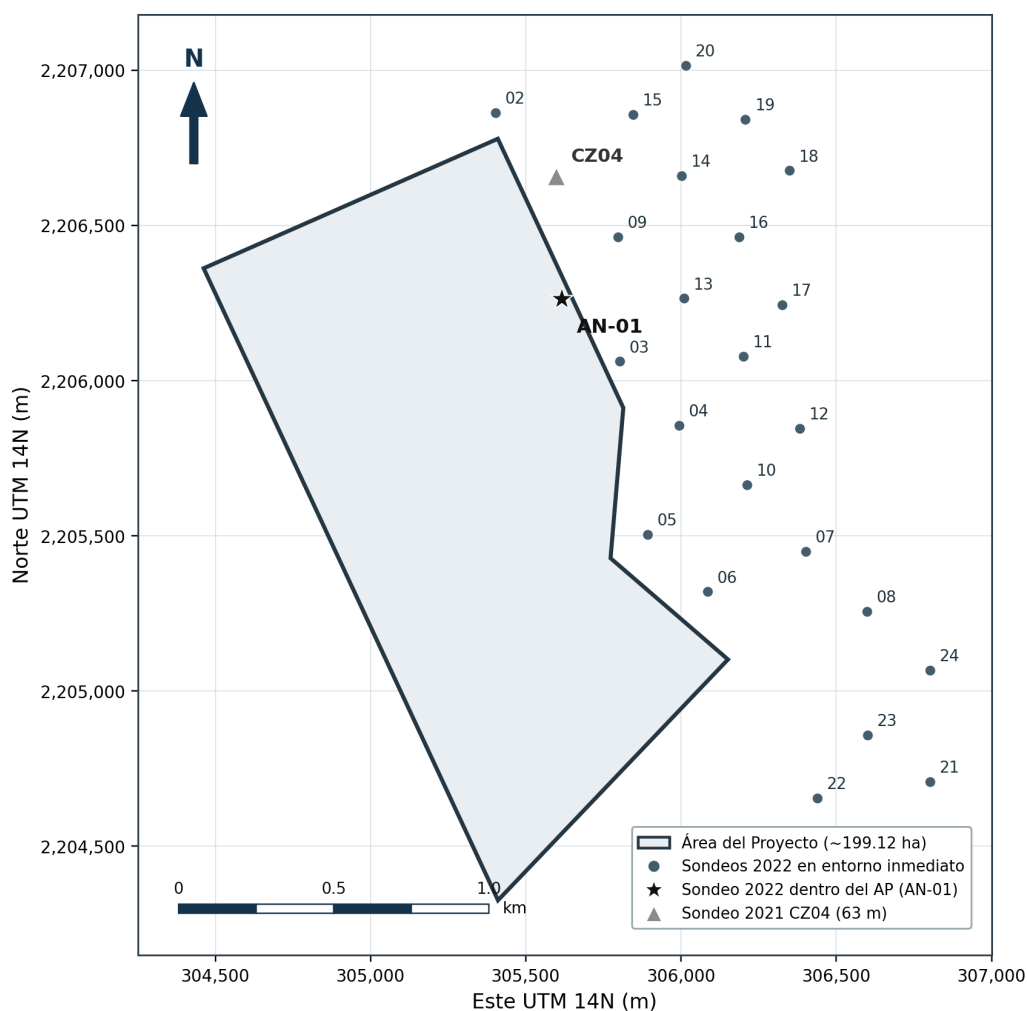
Campaña	Fecha	Alcance físico	Dato trazable	Uso ambiental
Regional	jul–sep 2021	7 sondeos; 510.5 m; 211 muestras	CZ04: 63 m; 90.5% de recuperación; 28 muestras	Contexto local profundo y referencia próxima al AP.
Andocutín	nov 2022	24 sondeos; 512.2 m; 255 muestras	21.0–21.6 m; recuperación promedio 94.55%	Espesor, variación vertical, ubicación y trazabilidad del material.
Verificación	15–18 dic 2022	24 collares 2022 + 2 collares 2021	Posiciones verificadas con GPS de mano	Control de ubicación histórica; no sustituye levantamiento actual.

3. Relación espacial con el Área del Proyecto

Se compararon las coordenadas UTM zona 14N de los collares históricos con los seis vértices del polígono vigente del Área del Proyecto. El análisis muestra que AN-01 se localiza dentro del AP; trece sondeos adicionales se ubican a 500 m o menos del límite y los 24 sondeos se encuentran a menos de 1 km. La distancia máxima calculada es de aproximadamente 0.81 km. El sondeo CZ04 se ubica a aproximadamente 0.12 km del AP.

La proximidad aporta contexto geológico local y evidencia directa del subsuelo en el sector inmediato, pero no permite tratar la campaña de 2022 como una malla que cubra uniformemente las 199.12 ha. Por ello, la información se utilizará como antecedente y cada celda deberá ser confirmada mediante verificación operativa y ambiental antes de su intervención.

Relación espacial entre el Área del Proyecto y los sondeos técnicos 2021-2022



Nota: los sondeos históricos aportan contexto local; únicamente AN-01 se ubica dentro del AP vigente.

Datum WGS84 · UTM Zona 14N · EPSG:32614

Figura 1. Relación espacial entre el Área del Proyecto vigente y los sondeos técnicos 2021–2022. Datum WGS84; UTM Zona 14N; EPSG:32614.

4. Registro resumido de los sondeos de Andocutín (2022)

Sondeo	Este UTM	Norte UTM	Prof. (m)	Rec. (%)	Relación con AP
AN-01	305,615	2,206,263	21.0	92.6	Dentro del AP
AN-02	305,402	2,206,864	21.0	94.3	Exterior; 85 m al límite
AN-03	305,803	2,206,062	21.6	94.4	Exterior; 54 m al límite
AN-04	305,994	2,205,856	21.6	93.8	Exterior; 184 m al límite
AN-05	305,892	2,205,504	21.0	92.9	Exterior; 113 m al límite
AN-06	306,085	2,205,320	21.4	91.3	Exterior; 122 m al límite
AN-07	306,402	2,205,450	21.0	93.6	Exterior; 428 m al límite
AN-08	306,598	2,205,257	21.6	96.5	Exterior; 473 m al límite

Sondeo	Este UTM	Norte UTM	Prof. (m)	Rec. (%)	Relación con AP
AN-09	305,796	2,206,463	21.6	96.3	Exterior; 217 m al límite
AN-10	306,212	2,205,664	21.4	93.9	Exterior; 418 m al límite
AN-11	306,201	2,206,079	21.0	95.1	Exterior; 422 m al límite
AN-12	306,382	2,205,847	21.6	94.1	Exterior; 572 m al límite
AN-13	306,009	2,206,265	21.4	95.5	Exterior; 326 m al límite
AN-14	306,001	2,206,660	21.6	95.3	Exterior; 486 m al límite
AN-15	305,845	2,206,857	21.0	94.4	Exterior; 428 m al límite
AN-16	306,186	2,206,463	21.0	94.9	Exterior; 570 m al límite
AN-17	306,325	2,206,245	21.6	94.1	Exterior; 604 m al límite
AN-18	306,349	2,206,677	21.6	94.5	Exterior; 808 m al límite
AN-19	306,207	2,206,842	21.3	95.5	Exterior; 749 m al límite
AN-20	306,014	2,207,016	21.6	94.5	Exterior; 648 m al límite
AN-21	306,802	2,204,708	21.4	95.0	Exterior; 761 m al límite
AN-22	306,438	2,204,656	21.4	94.9	Exterior; 516 m al límite
AN-23	306,600	2,204,858	21.0	96.1	Exterior; 511 m al límite
AN-24	306,801	2,205,068	21.5	95.8	Exterior; 651 m al límite

Nota: la campaña de 2022 totalizó 512.2 m de perforación y 255 muestras. La distancia indicada corresponde a la distancia mínima en planta respecto del límite del AP actual; no representa distancia hidráulica ni conexión funcional.

5. Perforación, registro y cadena de manejo de núcleos

Las campañas 2021–2022 utilizaron perforación con recuperación de núcleo mediante sistema HQ3 y barril triple recuperado por wireline. El núcleo se depositó en cajas plásticas y se marcó el final de cada corrida.

Un geólogo profesional supervisó la perforación y el registro. El núcleo se describió con base en contactos y características del material; las muestras se tomaron sistemáticamente en intervalos cercanos a 2 m. El material se dividió con espátulas metálicas: una fracción se embolsó con identificación numerada y la fracción remanente se conservó en caja como testigo.

La medición, registro, corte y manejo estuvieron bajo supervisión técnica. Las muestras fueron trasladadas al centro de recepción y preparación de ALS en Guadalajara. En laboratorio se secaron aproximadamente a 60 °C antes de su preparación y análisis. La documentación conserva identificadores de muestra por sondeo, permitiendo vincular collar, intervalo y resultado analítico dentro de la base histórica.

6. Métodos analíticos y caracterización de materiales

Conjunto	Material	Método documentado	Alcance ambiental
2021 regional	Núcleos de sedimento	AuME-TL43: digestión en agua regia + ICP-MS	Antecedente de composición y heterogeneidad; no constituye criterio ambiental específico del AP.
2022 Andocutín	255 muestras de 24 sondeos	ME-MS61: digestión de cuatro ácidos + ICP-MS (primeros 10 m); ME-MS89L/B-MS89L: fusión con peróxido de sodio + ICP-MS	Base geoquímica y comparativa por profundidad; no sustituye muestreo ambiental contemporáneo.
Muestras seleccionadas	Compuestos de sedimento y perforación	SGM 32A-23 y 32A-31: cuatro ácidos + ICP-OES/ICP-MS; difracción de rayos X y microscopía	Apoyo a identificación mineralógica y variabilidad del material; interpretar según procedencia de cada compuesto.

7. Verificación, control de calidad y limitaciones

Entre el 15 y el 18 de diciembre de 2022 se realizó una visita técnica de verificación en la que se revisaron los 24 sitios de perforación de Andocutín y dos sitios regionales de 2021; las posiciones se comprobaron con GPS de mano.

El expediente histórico documenta una limitación relevante: no se implementó un protocolo detallado de QA/QC de campo con duplicados, remuestreos o sondeos gemelos. Los laboratorios aplicaron sus controles internos durante el proceso analítico. Esta condición se declara expresamente para no atribuir a la base histórica un nivel de certeza mayor al disponible.

En términos ambientales, la información demuestra observación directa del subsuelo, recuperación de núcleo, trazabilidad de muestras y caracterización analítica en el sector y su entorno inmediato. No es suficiente por sí sola para demostrar la calidad ambiental actual de los sedimentos dentro de cada celda, definir movilidad de constituyentes bajo condiciones de obra, caracterizar agua actual, describir biota contemporánea ni acreditar cumplimiento de límites regulatorios.

8. Uso dentro de la evaluación ambiental y durante la rehabilitación

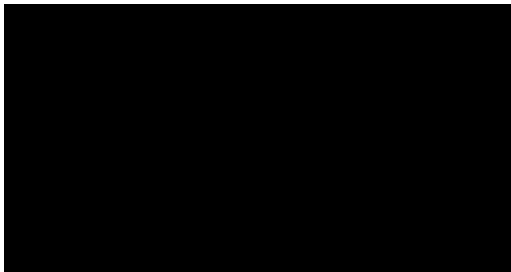
La base histórica de collares y muestras se integrará al sistema de información geográfica del proyecto para seleccionar puntos de verificación, anticipar cambios de material y comparar observaciones nuevas con antecedentes locales.

Antes de abrir cada celda se confirmarán geometría, condición superficial, calidad ambiental aplicable y sensibilidad biológica. Durante la remoción, cualquier desviación sustantiva respecto de los antecedentes —por ejemplo, cambios abruptos de material, comportamiento hidráulico inesperado o resultados de calidad fuera de criterio— activará revisión técnica y, cuando corresponda, paro preventivo conforme al Programa de Vigilancia Ambiental.

La información histórica se utilizará como línea de evidencia complementaria. La aceptación ambiental de cada frente dependerá de la información contemporánea generada durante la preparación y operación del proyecto.

9. Validación técnica

La validación técnica de la presente memoria comprende la revisión por personal técnico que participó en las campañas históricas y la confrontación de esta síntesis con los archivos primarios disponibles. Cualquier diferencia entre esta memoria y los registros originales deberá resolverse a favor del registro primario.

Representante Legal	Ing. José Ignacio Natera Ramírez
Promovente	Tecnología de Fitorremediación, S.A. de C.V.
Firma de revisión técnica	
Fecha de validación	23 de septiembre de 2026

MEMORIAS DE CÁLCULO

Consistencia geométrica, masa, capacidad y agua

PROYECTO DE REHABILITACIÓN, SANEAMIENTO Y REMEDIACIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ANDOCUTÍN DEL LAGO DE CUITZEO

Promovente
TECNOLOGÍA DE FITORREMEDIACIÓN, S.A. DE C.V.

Área del Proyecto (199.1237 ha), Lago de Cuitzeo
Michoacán, México
Referencia geográfica: Andocutín, Acámbaro, Guanajuato
Septiembre de 2026

Nota técnica. Documento de soporte de cálculo elaborado a partir de los parámetros de diseño actualmente adoptados en la MIA. Los valores conceptuales o de sensibilidad no sustituyen mediciones de campo ni ingeniería ejecutiva.

1. Objeto y criterio de cálculo

La presente memoria documenta la consistencia aritmética y las relaciones de diseño entre la superficie del Área del Proyecto (AP), la profundidad máxima localizada, la capacidad nominal de tratamiento, las sensibilidades de densidad y el circuito conceptual de agua. Su finalidad es separar claramente los límites geométricos del proyecto de la capacidad potencial de proceso y de los balances que deberán medirse durante la operación.

Los cálculos se expresan como parámetros de planeación y control. La capacidad nominal de planta no equivale a un compromiso de extracción acumulada; el volumen realmente intervenido quedará limitado por la geometría autorizada, el diseño de cada celda, la profundidad efectiva y las mediciones de avance.

Parámetro	Valor adoptado	Naturaleza del dato
Superficie del AP	1,991,237.48 m ² (199.1237 ha)	Geometría vigente del polígono de seis vértices
Perímetro aproximado	6,296.71 m (6.297 km)	Cálculo a partir de vértices UTM redondeados
Profundidad máxima localizada	20.0 m	Límite máximo de diseño; no profundidad uniforme
Capacidad nominal de planta	5,000 t secas/d	Parámetro de diseño
Disponibilidad de planeación	90%	Supuesto de planeación
Vida útil evaluada	Hasta 30 años	Horizonte máximo de evaluación
Circulación bruta de agua	0.85 m ³ /t seca	Referencia conceptual de dimensionamiento
Objetivo conceptual de recirculación	95%	Meta de diseño; debe verificarse en operación

2. Memoria geométrica del Área del Proyecto

2.1 Superficie y perímetro

La superficie adoptada para todos los cálculos es 1,991,237.48 m², equivalente a 199.123748 ha. El perímetro obtenido a partir de los vértices UTM redondeados es aproximadamente 6,296.71 m. Las pequeñas diferencias que puedan resultar al recalcular la superficie con coordenadas publicadas redondeadas se consideran efecto de redondeo y no modifican la geometría maestra del AP.

Magnitud	Expresión	Resultado
Conversión de superficie	$A(\text{ha}) = A(\text{m}^2) / 10,000$	$1,991,237.48 / 10,000 = 199.1237 \text{ ha}$
Perímetro	$P = \Sigma \text{ distancia entre vértices consecutivos}$	$\approx 6,296.71 \text{ m}$

2.2 Envolvente geométrica máxima

Para fines de evaluación se conserva una profundidad máxima localizada de 20 m. La envolvente geométrica máxima es un límite matemático superior que resulta de multiplicar toda la superficie por ese valor. No representa una cubicación topobatimétrica ni implica que las 199.12 ha serán excavadas uniformemente a 20 m.

$$V_{\text{máx}} = A \times h_{\text{máx}} = 1,991,237.48 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m} = 39,824,749.60 \text{ m}^3 = 39.82475 \text{ Mm}^3$$

Nota técnica. El volumen real deberá determinarse por celda mediante levantamiento antes/después y conciliación con tonelaje seco. La envolvente de 39.82475 Mm³ funciona únicamente como techo geométrico del escenario extremo.

3. Capacidad de proceso y balance de masa

3.1 Capacidad nominal y disponibilidad

La capacidad nominal es de 5,000 t/d en base seca. Con una disponibilidad de planeación del 90%, se consideran 328.5 días efectivos por año.

Cálculo	Fórmula	Resultado
Días efectivos/año	365×0.90	328.5 días/año
Throughput anual	$5,000 \times 328.5$	1,642,500 t/año = 1.6425 Mt/año
Throughput nominal a 30 años	$1,642,500 \times 30$	49,275,000 t = 49.275 Mt

Nota técnica. 49.275 Mt es capacidad nominal acumulada de planeación, no volumen o tonelaje comprometido a remover. El avance real se limitará por geometría autorizada, celdas ejecutadas y condiciones ambientales.

3.2 Proyección acumulada de capacidad

Año	Masa acumulada nominal (Mt)	Volumen equivalente – escenario ilustrativo 1.35 t/m ³ (Mm ³)	% de envoltente – escenario ilustrativo 1.35 t/m ³
1	1.6425	1.217	3.1%
5	8.2125	6.083	15.3%
10	16.4250	12.167	30.6%
15	24.6375	18.250	45.8%
20	32.8500	24.333	61.1%
25	41.0625	30.417	76.4%
30	49.2750	36.500	91.7%

4. Sensibilidad masa–volumen por densidad

La densidad seca efectiva del material no se adopta como un valor medido en el AP. Por ello se presenta una sensibilidad de conversión que permite revisar la compatibilidad entre masa nominal acumulada y el límite geométrico.

Densidad (t/m ³)	Volumen diario eq. (m ³ /d)	Volumen 30 años (Mm ³)	% envoltente	Profundidad media eq. (m)	Lectura
1.20	4,167	41.062	103.1%	20.62	Supera envoltente
1.35	3,704	36.500	91.7%	18.33	Dentro de envoltente matemática
1.50	3,333	32.850	82.5%	16.50	Dentro de envoltente matemática
1.75	2,857	28.157	70.7%	14.14	Dentro de envoltente matemática

Densidad (t/m³)	Volumen diario eq. (m³/d)	Volumen 30 años (Mm³)	% envoltente	Profundidad media eq. (m)	Lectura
2.00	2,500	24.637	61.9%	12.37	Dentro de envoltente matemática

Umbral de consistencia geométrica: si se pretendiera procesar la totalidad de 49.275 Mt dentro del AP y sin rebasar la envoltente máxima de 39.82475 Mm³, la densidad seca promedio equivalente tendría que ser al menos 1.237 t/m³. Este valor es un umbral matemático, no una medición del material.

Nota técnica. El escenario de 1.35 t/m³ equivale a ~36.50 Mm³ y a una profundidad media matemática de ~18.33 m sobre toda el AP. Por ello, el throughput de 30 años debe tratarse como capacidad de planta y no como un objetivo fijo de remoción. La programación real deberá detenerse cuando el volumen autorizado o la geometría de celdas así lo requieran.

5. Balance conceptual de agua

El circuito se dimensiona con una circulación interna bruta conceptual de 0.85 m³ de agua por tonelada seca procesada y un objetivo de recirculación de 95%. Estos valores sirven para dimensionamiento preliminar; el balance real deberá calcularse con caudales medidos.

Concepto	Fórmula diaria	Diario	Anual @328.5 d	30 años
Circulación interna bruta del proceso	$5,000 \text{ t/d} \times 0.85 \text{ m}^3/\text{t}$	4,250.0 m³/d	1,396,125 m³/año	41.884 Mm³
Recirculación interna teórica	$4,250 \times 0.95$	4,037.5 m³/d	1,326,319 m³/año	39.790 Mm³
Fracción teórica no recirculada	$4,250 \times 0.05$	212.5 m³/d	69,806 m³/año	2.094 Mm³

Nota técnica. La fracción teórica no recirculada (212.5 m³/d) no equivale automáticamente a consumo neto ni a una extracción requerida del lago, porque el sistema incorpora agua asociada a los frentes y al material. El consumo/reposición real sólo podrá determinarse mediante balance medido.

5.1 Ecuación de balance operativo

Para evitar doble contabilización, la recirculación se considera un flujo interno del circuito. El balance externo diario deberá cerrar con la siguiente relación conceptual:

Entradas externas = Retorno al AP + agua que sale con sólidos + pérdidas + Δ almacenamiento

Las entradas externas deberán desglosarse, según corresponda, en agua proveniente del frente, humedad del material, reposición autorizada y precipitación directa relevante. Las pérdidas deberán identificarse por causa (evaporación de proceso, arrastre, lavado, contingencia u otra) y no inferirse por diferencia sin explicación.

6. Conciliación operativa y control por celda

La memoria de cálculo se actualizará durante la operación con mediciones reales. Cada celda tendrá una línea de referencia geométrica y un cierre comparable. El control mínimo será doble: volumen geométrico y masa seca, conciliados con la densidad aparente operacional observada.

Variable	Registro mínimo	Cálculo / control
Geometría de celda	Superficie, cotas iniciales/finales, profundidad, polígono	$\Delta V_{\text{celda}} = \text{integración de la diferencia entre superficie inicial y final}$
Masa	Tonelaje húmedo, humedad, tonelaje seco equivalente	$M_{\text{seca}} = M_{\text{húmeda}} \times (1 - \text{humedad fraccional})$

Variable	Registro mínimo	Cálculo / control
Densidad operacional	Masa seca y volumen geométrico conciliado	$pop = M_{seca} / \Delta V_{celda}$; usar sólo como indicador operacional
Avance acumulado	Σ volumen y Σ masa por celda	Comparar contra saldo autorizado y programa anual
Agua de proceso	Entradas, tratamiento, recirculación, retorno, pérdidas, inventario	Cierre diario y mensual; explicar diferencias
Retorno	Caudal, hora, punto, calidad	Retorno sólo dentro de especificación y autorización

Criterios matemáticos de control:

- Profundidad real de cada celda $\leq$ profundidad de diseño de la celda ≤ 20 m.
- Volumen acumulado intervenido $\leq$ volumen autorizado aplicable.
- Masa acumulada procesada no se utilizará para justificar por sí sola un volumen; se conciliará con levantamiento geométrico.
- La apertura de nuevas celdas deberá considerar el saldo volumétrico remanente y no sólo la capacidad disponible de planta.
- El porcentaje real de recirculación se calculará con caudales medidos; el 95% permanecerá como objetivo hasta verificarse.

7. Parámetros sujetos a verificación durante ingeniería ejecutiva y operación

Los parámetros operativos que dependen del desempeño real del sistema serán verificados y actualizados durante la ingeniería ejecutiva y la operación, sin modificar los límites, capacidades, huellas y criterios ambientales evaluados y autorizados. Su actualización tendrá fines de conciliación, control y seguimiento del desempeño.

- Densidad seca, densidad aparente y humedad operacional del material, determinadas mediante medición de campo y/o laboratorio conforme avance la intervención.
- Pérdidas reales del circuito y porcentaje efectivo de recirculación, determinados mediante balances con caudales medidos.
- Consumo energético real y demanda de la planta, expresados mediante indicadores operativos verificables.
- Número efectivo de viajes terrestres, de acuerdo con el esquema real de manejo y transporte de materiales autorizado.
- Conciliación operativa masa–volumen por celda, utilizando levantamientos geométricos y tonelaje seco medido como herramientas de control.

8. Síntesis de consistencia

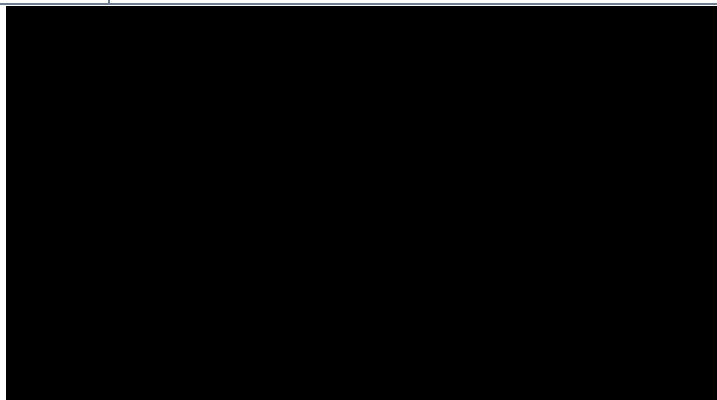
Con los parámetros vigentes, el AP tiene una superficie de 199.1237 ha y una envolvente geométrica máxima matemática de 39.82475 Mm³ a 20 m. La planta tiene una capacidad nominal de 5,000 t secas/d y, bajo 90% de disponibilidad, una capacidad de planeación de 1.6425 Mt/año. La proyección de 49.275 Mt a 30 años representa capacidad potencial, no una meta fija de extracción.

La sensibilidad de densidad demuestra que la compatibilidad entre masa y volumen debe verificarse continuamente. El diseño hidráulico conceptual implica 4,250 m³/d de circulación interna bruta del proceso a capacidad nominal y 4,037.5 m³/d de recirculación interna teórica si se alcanza 95%; el remanente aritmético de 212.5 m³/d no se interpreta como consumo neto. La operación deberá sustituir progresivamente estos supuestos por mediciones reales y conciliaciones por celda.

VALIDACIÓN TÉCNICA

La presente memoria documenta los parámetros y relaciones de cálculo utilizados para la evaluación ambiental del proyecto. Los valores identificados expresamente como conceptuales o de sensibilidad serán verificados durante la ingeniería ejecutiva y la operación mediante los mecanismos de medición, conciliación y control establecidos en la MIA y en el Programa de Vigilancia Ambiental.

Control	Dato
Documento	Memorias de Cálculo – Proyecto Andocutín
Versión	1.0
Fecha	Septiembre de 2026
Promovente	Tecnología de Fitorremediación, S.A. de C.V.
Estatus	Documento técnico de soporte de la MIA – versión para ingreso



PLANO GEORREFERENCIADO - ÁREA DEL PROYECTO

Área del Proyecto: Lago de Cuitzeo, Michoacán, México (199.1237 ha)
Referencia geográfica: Andocutín, Acámbaro, Guanajuato

COORDENADAS DEL POLÍGONO

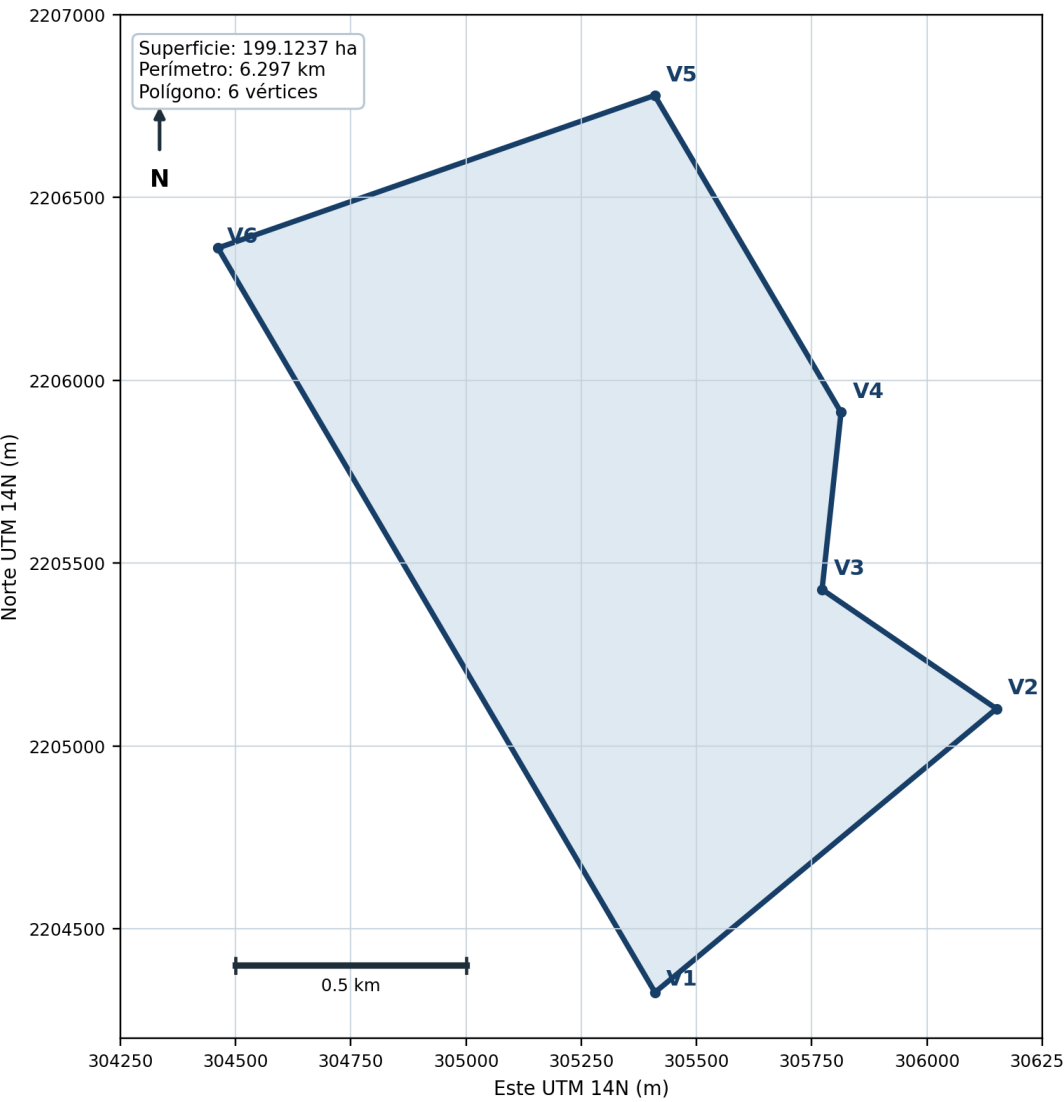
Vértice	Este	Norte	Latitud	Longitud
V1	305,409.91	2,204,326.03	19.92561471	-100.85910886
V2	306,150.85	2,205,101.91	19.93269634	-100.85211444
V3	305,772.53	2,205,428.21	19.93560578	-100.85576202
V4	305,813.68	2,205,912.50	19.93998403	-100.85542009
V5	305,409.34	2,206,779.44	19.94777376	-100.85937373
V6	304,461.61	2,206,362.13	19.94390958	-100.86838158

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

Datum: WGS84
Proyección: UTM zona 14N
Unidades: metros
EPSG: 32614

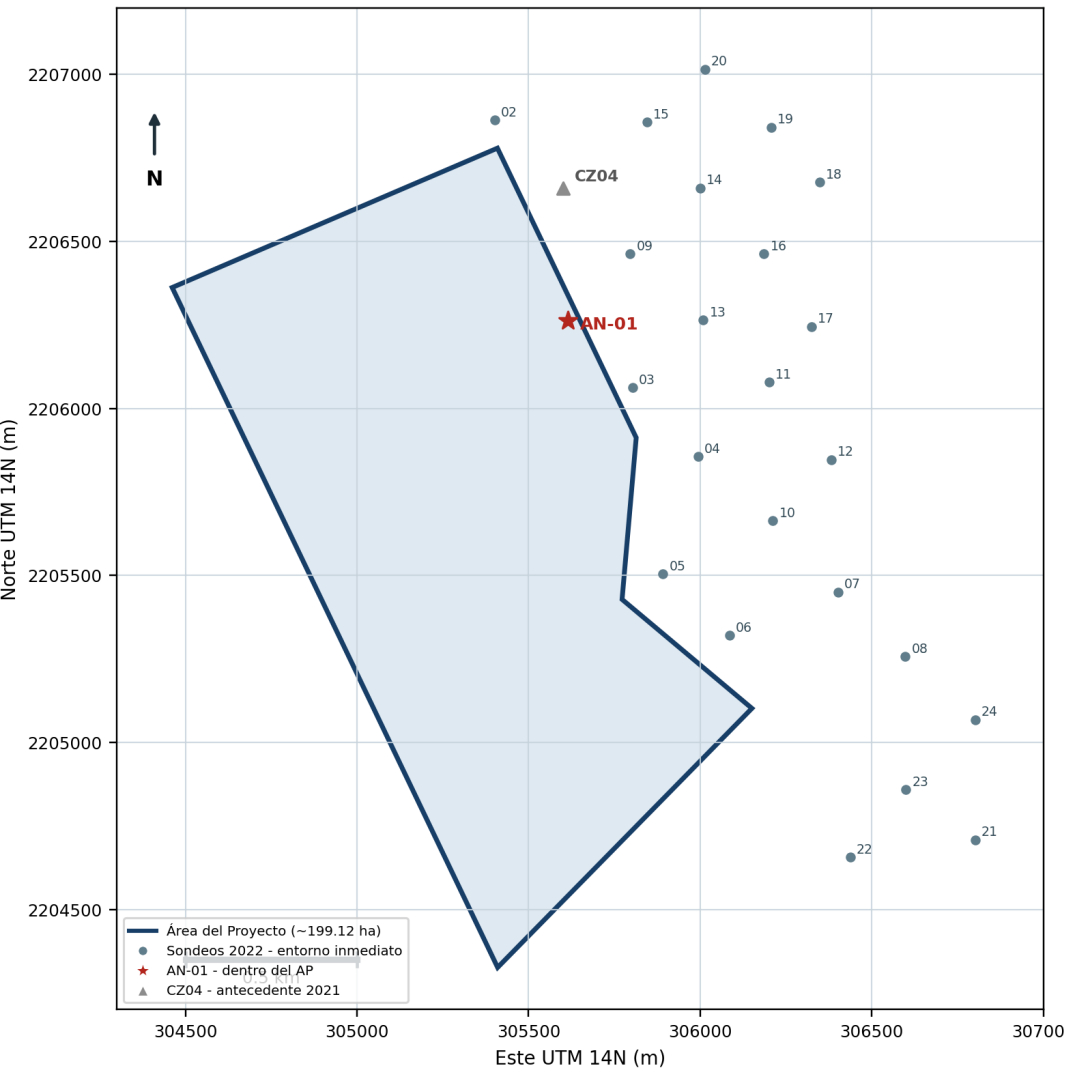
NOTA TÉCNICA

Este plano delimita exclusivamente el Área del Proyecto acuática objeto de la presente representación cartográfica. La geometría corresponde al polígono vigente de seis vértices utilizado en la MIA Regional.



PLANO GEORREFERENCIADO - AP Y ANTECEDENTES TÉCNICOS DE CAMPO

Área del Proyecto: Lago de Cuitzeo, Michoacán, México (199.1237 ha)
Referencia geográfica y campañas históricas: sector Andocutín, Acámbaro, Guanajuato



SÍNTESIS DE ANTECEDENTES

Campaña Andocutín 2022

- 24 sondeos verticales
- 512.2 m perforados
- 255 muestras
- Profundidad: 21.0–21.6 m
- Recuperación media: 94.55%

RELACIÓN CON AP VIGENTE

- AN-01: dentro del AP
- 13 sondeos adicionales: ≤500 m del límite
- Todos los sondeos AN: <1 km del límite
- Distancia máxima: ~0.81 km
- CZ04: ~0.12 km del AP

USO AMBIENTAL

Antecedente local para espesor, continuidad física y variabilidad vertical. La información se integra como evidencia complementaria para orientar la verificación ambiental por celda y la interpretación del medio físico.

CRS

WGS84 / UTM zona 14N
EPSG: 32614