MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
MODALIDAD PARTICULAR

REGULARIZACIÓN DE OBRAS Y ACTIVIDADES

LOS RÁPIDOS LAGOON CLUB

PROMOVENTE: RODOLFO VALLE VILLASEÑOR

RESPONSABLE LEGAL Y TÉCNICO:

MARÍA LUISA VILLARREAL SONORA

OCTUBRE DE 2026

INDICE

I. Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental 29
I.1. Datos generales del proyecto 29
I.1.1 Nombre del proyecto 29
I.1.2 Ubicación del proyecto 29
I.1.3 Duración del proyecto 32
I.2 Datos generales del promovente 32
I.2.1 Nombre o razón social 32
I.2.2 Registro Federal de Contribuyentes (RFC) 32
I.2.3 Nombre y cargo del representante legal 32
I.2.4 Dirección del promovente o de su representante legal para recibir notificaciones 32
I.2.5 Nombre del responsable técnico del estudio 32
II. Descripción del proyecto 33
II.1 Información general del proyecto 33
II.1.1 Naturaleza del proyecto 33
II.1.2 Ubicación y dimensiones 35
II.1.3 Inversión realizada 36
II.1.3.1. Inversión total aproximada por rubro 37
II.1.3.1.1 Construcción en Los Rápidos. Sección Canal de Los Rápidos. 37
II.1.3.1.2. Construcciones adicionales: establos y casa del velador 38
II.1.3.1.3. Construcciones y servicios en la sección “La Laguna” 38
Uso de madera para mantenimiento y autoconstrucción 39
II.1.3.1.4. Equipamiento 39
II.1.3.1.5.Operación 40
II.1.3.1.6. Inversión Consolidada 41
II.1.3.1.7. Costos ambientales: 42
Capacitación permanente para personal 42
Sensibilización de visitantes 42
Supervisión de sistemas 42
Acciones de limpieza y seguridad 43
Prevención de riesgos ambientales 43
Zonas de protección restringida 43
Conservación y señalización 43
II.1.4 Urbanización y servicios 44
II.2 Características particulares del proyecto 45
Los Rápidos Lagoon Club, Sección Canal de Xul Ha 45

Baños y departamentos..... 48
Planta baja..... 49
Área de Servicios Sanitarios..... 49
Departamento 1 Primera planta..... 49
Departamento 2. Segunda Planta..... 50
Cimentación..... 51
Palapa Lagunita..... 52
Terraza anexa al comedor y mirador elevado (Palapa salida)..... 54
Andador elevado zona litoral..... 55
Recepción, Oficinas y Cocina, Bar..... 58
Recepción..... 58
Bar..... 59
Cocina principal..... 59
Área de trabajadores (descanso y almacenamiento personal)..... 59
Área administrativa..... 59
Bodega 1, Lavado de platos..... 59
Zona de meseros y lavado de platos..... 59
Comedor del Restaurante (Palapa Principal)..... 60
Deck elevado y zona de vestidores..... 61
Departamento 3..... 63
Bodega y Taller de mantenimiento..... 64
Infraestructura auxiliar..... 65
Colgadores para chalecos salvavidas..... 65
Sombrillas de madera..... 66
Champa para hamacas..... 66
Escalones..... 67
Zona de lockers..... 67
Cuarto de transferencia de residuos..... 67
Balneario 2: La Laguna de Bacalar..... 68
Edificio de sanitarios y departamento..... 68
69
Imagen Plano II.12. Edificio de baños y departamento*. Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes La Laguna*..... 69
Muelle y Palapa..... 70
Restaurante y Cocina..... 70
Capilla de madera..... 71
Bodega de malla electrosoldada..... 72

Cochera / Artesanías....72
Sombrilla....73
Cuadro de Medidas y superficies de la infraestructura de ambos sitios 73
Infraestructura original del acta de PROFEPA de 2015.... 75
Antecedentes históricos y documentales de la infraestructura preexistente.... 76
Infraestructura adicional detectada en inspección de 2026 motivo de clausura de instalaciones.... 76
Madera rolliza 77
Sistema hidráulico.... 78
Fuente de abastecimiento.... 78
Condiciones generales del sistema.... 81
Operación.... 84
Fuente de abastecimiento 84
Sistema de bombeo y conducción.... 84
Almacenamiento primario y cloración.... 84
Almacenamiento secundario y distribución.... 84
Usos del agua.... 84
Monitoreo y control de calidad del agua.... 84
Mantenimiento.... 85
Estrategia de sensibilización ambiental para el uso eficiente y responsable del agua mediante el Grupo de Capacitación Ambiental Permanente.... 87
Sistema sanitario.... 88
Generación de aguas residuales.... 88
Conducción y separación.... 88
Tratamiento de aguas residuales.... 89
Disposición final.... 89
Jardinera de evapotranspiración 91
Caminos internos.... 92
II.2.1 Programa de trabajo.... 93
Programación histórica de desarrollo y operación (1992 – 2026).... 93
Cuadro cronológico de etapas (1992 – 2026) 95
Medidas ambientales: tiempos y responsables.... 97
II.2.2 Representación gráfica local 98
II.2.3 Etapa de preparación y construcción.... 98
1992 – 2000: Origen y adecuaciones familiares.... 99
2001 – 2010: Consolidación básica 99
2011 – 2014: Expansión progresiva.... 99

2015 – 2017: Desarrollo intensivo I 99
2018 – 2020: Desarrollo intensivo II (Pandemia I) 99
2021 – 2023: Mantenimiento y fortalecimiento ambiental (Pandemia II) 99
2024 – 2026: Consolidación actual 99
II.2.4 Etapa de operación y mantenimiento 100
Actividades actuales 100
Mantenimiento 100
II.2.5 Etapa de abandono 101
Plan tentativo 101
Fase 1 (Meses 1–12): Preparación y retiro inicial 102
Fase 2 (Meses 13–24): Desmontaje de infraestructura principal 102
Fase 3 (Meses 25–36): Restauración ambiental y cierre administrativo 102
Seguridad 102
Rehabilitación 103
1. Vegetación 103
2. Suelos 104
3. Paisaje e infraestructura 104
4. Compensación ambiental 104
Evidencias 104
II.2.6 Utilización de explosivos 105
II.2.7 Manejo de residuos y emisiones 105
Primera etapa: Apertura gradual del rancho familiar (aprox. 1990 – 2010) 105
Generación de residuos aproximada 105
Gestión 106
Segunda etapa: Primeros intentos de control mediante cobro simbólico (aprox. 2010 – 2014) 106
Generación aproximada de residuos: 106
Gestión 106
Tercera etapa: Estrategias de control y exclusivización (aprox. 2015 – 2020) 106
Generación de residuos, aproximada: 107
Gestión 107
Cuarta etapa: Consolidación del manejo y sostenibilidad (2021 – 2026) 107
Medidas clave 107
Resultados observados 108
Generación de residuos aproximada en temporada alta 108
Gestión 108
Medidas clave 108

Resultados 109
Contenedores de residuos 109
Bitácora electrónica de separación de residuos 109
Implementación del sistema de registro y seguimiento de residuos 109
Capacitación del personal y aplicación de los procedimientos 110
Limitaciones regionales para el aprovechamiento de los residuos separados 110
Alcances y relevancia ambiental del sistema 111
Manejo y disposición 113
a) Rutas de manejo 113
b) Destino final 114
c) Proveedores autorizados 114
d) Segregación y reciclaje 114
e) Prueba inicial de la bitácora electrónica 114
Continuidad del registro diario 115
Difusión y capacitación del personal de operación y mantenimiento 116
Situación del Registro Estatal de Generadores 116
Medidas de seguimiento y mejora continua 117
f) Análisis de la gestión de residuos a nivel regional 117
Análisis preliminares de operación de la bitácora ambiental de manejo de residuos 118
g) Aceites de cocina usados 119
h) Manejo de aguas residuales tratadas 120
Emisiones a la atmósfera 120
a) Fuentes fijas menores 120
b) Fuentes móviles 121
c) Fuentes fugitivas 121
d) Ruido ambiental 121
Estimación y evaluación de emisiones 121
Contexto del sitio 122
Fuentes potenciales de emisiones 122
Medidas preventivas y de gestión 122
Estrategias de mitigación y buenas prácticas 122
Impacto climático 123
III. VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURIDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN DEL USO DE SUELO 124
Marco Jurídico Federal Aplicable al Proyecto 124
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos 125
Artículo 4° 125

Artículo 27 125
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) 125
Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental 126
Ley de Aguas Nacionales (LAN) 126
Ley General de Bienes Nacionales (LGBN) 126
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) 126
Ley General de Vida Silvestre (LGVS) 127
Ley General de Cambio Climático (LGCC) 127
Normas Oficiales Mexicanas (NOM) aplicables 127
NOM-001-SEMARNAT-2021 127
NOM-002-SEMARNAT-1996 127
NOM-003-SEMARNAT-1997 127
NOM-004-SEMARNAT-2002 128
NOM-052-SEMARNAT-2005 128
NOM-083-SEMARNAT-2003 128
NOM-059-SEMARNAT-2010 128
NOM-120-SEMARNAT-2011 128
NOM-161-SEMARNAT-2011 128
Instrumentos de planeación y regulación 129
Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Othón P. Blanco 129
Congruencia del proyecto con la política ambiental de la UGA 29 131
Superficie intervenida, desmonte y conservación de vegetación 131
Densidades y parámetros de aprovechamiento turístico 131
Manejo del agua, aguas residuales y prevención de la contaminación 131
Arquitectura, diseño y adaptación ambiental 132
Congruencia del proyecto con la política ambiental de la UGA 30 132
Congruencia del proyecto Balnearios Los Rápidos con la UGA 31- Laguna de Bacalar 137
Relación territorial del proyecto con la UGA 31 138
Congruencia con la política de protección y el sistema geohidrológico 138
Conservación de ecosistemas y paisaje 138
Congruencia del proyecto Balnearios Los Rápidos con los Criterios Ecológicos de Aplicación General del Municipio de Othón P. Blanco 140
Congruencia con los criterios relativos al recurso prioritario: Agua 140
Congruencia con los criterios relativos al suelo y subsuelo 140
Congruencia con los criterios relativos a biodiversidad, flora y fauna 141
Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Golfo de México y Mar Caribe y la UGA 152 “Bacalar” 144

Enfoque preventivo en el manejo del agua y protección del sistema kárstico–lagunar..144
Uso del suelo, densificación controlada y contención de la expansión territorial 144
Conservación de biodiversidad y prevención de impactos ecológicos.....145
Manejo de residuos, emisiones y tecnologías limpias 145
Turismo sustentable y articulación conservación–uso recreativo.....145
Congruencia regional 145
Congruencia del proyecto “Los Rápidos Lagoon Club” con los criterios específicos del Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Golfo y el Caribe – UGA 152 147
1. Gestión del agua.....147
2. Conservación de biodiversidad y manejo de especies 147
3. Cambio climático y emisiones.....148
4. Manejo territorial y conservación de ecosistemas 148
5. Desarrollo urbano, infraestructura y riesgo.....148
6. Gestión de residuos y saneamiento 148
7. Captura de carbono y reforestación 149
8. Energía y eficiencia.....149
9. Agricultura, suelos y ordenamientos locales 149
10. Industria, transporte y desarrollo urbano.....150
11. Protección civil, desastres y construcción 150
12. Residuos y saneamiento.....150
13. Actividades petroleras, infraestructura y ANPs.....150
IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL.....152
Delimitación y caracterización del sistema ambiental para la evaluación de impactos 152
Relación espacial entre el área del proyecto, el área de influencia y el sistema Ambiental .152
1. Área de Influencia Directa (AID).....152
2. Sistema Ambiental (SA).....153
3. Predio 154
4. Área del proyecto sujeta a regularización.....155
Justificación cartográfica de la delimitación del Sistema Ambiental.....158
Criterios generales de delimitación 158
Criterios cartográficos específicos 158
a) Criterio de conectividad ecológica.....158
b) Criterio hidrológico y geohidrológico.....158
c) Criterio ecosistémico 159
d) Criterio normativo.....159
Contexto territorial de presiones ambientales. Caracterización del área de influencia directa 160

Posición hidrogeológica y vulnerabilidad del acuífero en la zona de influencia directa....163
Evidencia hidrogeológica regional en el área de influencia....163
Dirección regional del flujo subterráneo en el área de influencia....163
Relación entre las condiciones hidrogeológicas y las presiones territoriales....164
Geología y bancos de material en el área de influencia....165
Alumbramientos freáticos y exposición del acuífero en el área de influencia....165
Explosivos, ruido y vibraciones: antecedentes que requieren verificación en la zona de influencia....166
Transformación territorial y actividades agropecuarias en la zona de influencia....166
Conflictos y presiones socioambientales que requieren verificación....167
Relación entre las escalas de análisis....167
Antecedentes históricos de transformación del sitio e infraestructura preexistente....168
Antecedentes ambientales de la infraestructura carretera....168
Infraestructura carretera y evolución posterior del predio....170
Predio....171
Ecosistemas en el predio....171
Canal de Los Rápidos....173
Planicie Sedimentaria Baja (31.6 ha)....174
Geomorfología....175
Edafología....175
Hidrología....175
Vegetación....175
Sensibilidad ambiental....176
Servicios ambientales....176
Regulación hidrológica....176
Retención de sedimentos y nutrientes....176
Provisión de hábitat....176
Captura y almacenamiento de carbono....176
Amortiguamiento ecológico....176
Dinámica hidrológica estacional y transporte de materia orgánica. 176
Planicie Sedimentaria Alta (42 ha)....177
Geomorfología....177
Edafología....177
Hidrología....178
Vegetación....178
Función ecológica y servicios ambientales....178
Regulación hídrica....178

Provisión de hábitat 178
Sensibilidad ambiental 178
Vegetación Secundaria Baja con manchón de tular (38.9 ha) 178
Geomorfología 178
Edafología 179
Hidrología 179
Vegetación 179
a) Matriz dominante (vegetación secundaria baja): 179
b) Manchón de tular asociado al ojo de agua: 179
Función ecológica y servicios ambientales 180
Sensibilidad ambiental 180
Acahual Selva Baja (21.14 ha) 180
Geomorfología 180
Hidrología 181
Edafología 181
Vegetación 181
Función ecológica y servicios ambientales: 181
Regulación hídrica 181
Retención de suelo y nutrientes. 182
Provisión de hábitat 182
Captura de carbono 182
Acahual Joven (40.6 ha) 182
Geomorfología 182
Edafología 182
Hidrología 182
Vegetación 183
Función ecológica y servicios ambientales 183
Recuperación ecológica 183
Regulación hídrica 183
Provisión de hábitat 183
Captura de carbono 183
Desprovista de vegetación o huamil en recuperación (0.36 ha, 0.044 ha y 0.0357 ha) ... 183
Hidrología 183
Vegetación 184
Caminos internos 184
Medio Físico 185
Clima y Meteorología 185

Metodología y Fuentes de Información....185
Clasificación Climática....186
Análisis Comparativo de Temperatura....187
Régimen de Precipitación....189
Evaporación y Humedad....190
Geomorfología y Suelos....191
Unidades geológicas presentes en el predio....192
TmCz – Formación Bacalar (límite oriente del predio)....192
Qhoal – Depósitos aluviales holocénicos (límite poniente del predio)....193
Qholg – Depósitos lagunares holocénicos....194
Geología estructural y relación con la dinámica lagunar....196
Topografía....197
Caracterización Microtopográfica....198
Límite Norte del Predio....198
Porción Central del Predio (Eje Carretera-Laguna)....199
Límite Sur del Predio (Eje Carretera-Laguna)....200
Imagen IV-18. Límite Sur del Predio (Eje Carretera-Laguna)....201
Límite Sur (Interior del Predio a la Laguna)....202
Análisis Topográfico Integral del Predio Los Rápidos....202
Batimetría y Geomorfología del canal de Los Rápidos....203
Escala de profundidad y distribución batimétrica....204
Geomorfología del canal y dinámica hidrológica....204
Encajonamiento del flujo....205
Paredes irregulares y rugosidad latera....205
Relieve irregular del fondo....205
Microbialitos....206
Distribución y morfología....206
Relación con la hidrodinámica y la geología....207
Sedimentología y dinámica de depósito....207
Macroestructura: arrecifes y acumulaciones....208
Mesoestructura: trombolitos y oncolitos....209
Hidrología y dinámica de corrientes....210
Aislamiento físico y conservación ecológica....210
Conservación estructural vs. conservación funcional....211
Sistemas dinámicos vs. soluciones estáticas....211
Enfoque ecosistémico integral....211
Riesgo de simplificación causal....212

Consideraciones específicas para el canal de Los Rápidos 212
Hidrología 213
Aguas Superficiales 213
Cenote Los Rápidos 214
Laguna Bonanza 214
Manantial de Sac Há 214
Laguna de Bacalar y sistema lagunar asociado (influencia indirecta) 216
Aguas subterráneas 216
Química del agua 218
Caracterización fisicoquímica del agua de la Laguna de Bacalar 220
Contexto hidrogeoquímico 220
Parámetros fisicoquímicos del agua 221
Oxígeno disuelto (OD) 221
Sólidos disueltos totales (TDS) 221
Conductividad eléctrica (CE) 221
Turbidez 221
Salinidad 221
Potencial óxido-reducción (ORP) 221
Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) 221
Diferenciación espacial del sistema (enfoque hidrodinámico) 222
Zonas de flujo rápido (ej. canales y “Rápidos”) 222
Zonas de baja energía (cuerpo lagunar principal y áreas urbanizadas) 222
Evaporación 222
pH222
Dinámica de flujo superficial en la Laguna de Bacalar con énfasis en el sector de Los Rápidos 224
Corrientes hidrológicas y tiempos de residencia del agua en los rápidos y otras secciones de la laguna 224
Corrientes en los rápidos 225
Tiempo de residencia del agua 225
Régimen de corrientes en el canal de Los Rápidos 226
Distribución espacial de energía hidráulica 226
Interacción entre corrientes y bioconstrucción 226
Estabilidad hidráulica del sistema 226
Procesos de retroalimentación positiva, agradación y sucesión hidroseral en el canal de Los Rápidos 228
Retroalimentación positiva asociada al crecimiento de microbialitos 228

Agradación localizada y cambios en el perfil del canal....229
Sucesión hidroseral en microambientes someros....229
Interacción entre uso humano y procesos de retroalimentación....229
Línea base técnica verificable....230
Agradación localizada vs. colmatación sistémica....230
Conectividad hidráulica funcional....230
Ausencia de evidencia de tendencia acelerada....230
Naturaleza dinámica del sistema....231
Impacto hidrológico de infraestructura de confinamiento en zonas con microbialitos....231
Interacción entre estructuras y dinámica de corrientes....231
Impacto acumulativo de líneas de boyado extensivas....232
Medio Biológico....232
Vegetación....234
Vegetación en Planicies Sedimentarias....234
Tipos de vegetación identificados en la planicie sedimentaria baja y alta....234
Zonas inundables con vegetación hidrófila.....234
Manglar de franja....235
Manglar con pastizal hidrófilo....236
Petén de manglar / Manglar – Selva....237
Transición manglar / selva....240
Vegetación de Galería con Manglar....241
Vegetación secundaria y acahual....243
b) Caracterización estructural de la vegetación....244
Estratificación vegetal....244
Evidencias de perturbación....245
Funcionalidad ecológica....245
Pérdida de cobertura vegetal....245
Fragmentación de hábitats....246
Alteración de procesos sucesionales....246
Cambio en infiltración, recarga y microclima....246
Fauna Silvestre....247
Distribución por grupos faunísticos....248
Delimitación del área de estudio y caracterización de hábitats faunísticos....248
Tipos de hábitat por ecosistema....248
Sistema Ambiental....248
Predio Los Rápidos....249
Distribución espacial....249

Sistema Ambiental 250
Gradiente espacial de distribución de fauna 250
Sistema lagunar y humedales asociados (zona núcleo regional) 250
Zona de transición: humedales, tulares y planicies inundables 250
Selvas tropicales y acahuales (matriz terrestre regional) 250
Corredores ecológicos y conectividad regional 251
Integración con el predio Los Rápidos 251
Predio Los Rápidos 251
Relación con la vegetación 252
Composición de especies 252
Sistema ambiental 252
Mamíferos 252
Aves 253
Reptiles 254
Anfibios 254
Peces y fauna acuática 255
Invertebrados 255
Predio Los Rápidos 256
Mamíferos 256
Aves 257
Reptiles 258
Anfibios 260
Peces 260
Invertebrados 262
Riqueza, abundancia y diversidad 262
Riqueza por grupo 262
Estructura general de la riqueza taxonómica 263
Diferencia entre riqueza observada y estimada 263
Dominancia de la avifauna 264
Importancia del sistema acuático 264
Mamíferos y reptiles: indicadores de integridad ecológica 264
Invertebrados: componente subestimado 264
Síntesis ecológica del sistema 264
Índices de diversidad 265
Abundancia relativa y especies dominantes 265
Estructura de comunidades 265
Gremios tróficos 265

Nichos ecológicos....266
Especies clave....267
Especies indicadoras....267
Indicadores de calidad hídrica y funcionalidad del sistema acuático....267
Indicadores de integridad de hábitats húmedos....267
Indicadores de integridad del paisaje y conectividad ecológica....268
Integración ecológica de indicadores....268
Diagnóstico del estado de salud del sistema....268
Estado de conservación....269
Condición de hábitats....269
Fragmentación....270
Presión sobre poblaciones....270
Especies en estatus de protección oficial....271
Especies en peligro de extinción (P): indicadores de alta integridad ecológica....272
Especies amenazadas (A): sensibilidad a perturbaciones....272
Especies sujetas a protección especial (Pr): estabilidad del sistema....272
Integración por hábitat....272
Implicaciones ecológicas....272
Áreas críticas para la fauna....273
Canal de Los Rápidos y zona litoral (H7) - núcleo acuático funcional....273
Planicie Sedimentaria Baja (H1) - interfaz laguna–tierra....273
Cenote / ojo de agua con tular (H3) - nodo hídrico y de conectividad....273
Acahual de selva baja - estrato arbóreo (H4) - núcleo terrestre de biodiversidad....273
Franja de conectividad H1–H3–H4 - corredor funcional....273
Síntesis ecológica de las áreas críticas....274
Corredores biológicos....274
Rutas migratorias - aves....274
Factores de deterioro de la fauna silvestre....275
Presión turística y náutica sobre el sistema lagunar....275
Especies exóticas invasoras....275
Conectividad externa reducida....275
Riesgo de mesotrofización del canal como proceso ecológico asociado a la dinámica de los microbialitos....275
Implicaciones ecológicas del proceso....276
Papel de la planicie sedimentaria (H1)....276
Biodiversidad - análisis multiescalar....277
Diversidad alfa (local - predio Los Rápidos)....277

Diversidad beta (entre ecosistemas - gradiente del predio)....277
Diversidad gamma (regional - cuenca de Bacalar)....277
Comparación con región prioritaria....278
Ecosistemas y funcionalidad faunística....278
Relaciones tróficas....278
Interacciones flora-fauna....278
Rol en el ecosistema regional....279
Resiliencia....279
Metodología de caracterización....279
Técnicas utilizadas y fuentes de información....279
Consideraciones metodológicas....280
Técnicas utilizadas y fuentes de información....280
Esfuerzo de muestreo....281
Tapetes microbianos y biofilms....281
Retroalimentación positiva y bioturbación....282
Composición y funciones químicas del tapete....283
Composición y biodiversidad del tapete microbiano....284
Propiedades ecológicas clave del tapete....285
1. Redundancia funcional....285
2. Complementariedad metabólica....286
3. Interacciones tróficas y bioturbación microbiana....286
4. Acoplamiento biogeoquímico....286
Microbialitos y sucesión hidroseral....286
1. Fase pionera: microbialito activo....287
2. Fase de consolidación y sedimentación progresiva....287
3. Fase intermedia: colonización vegetal y transición hacia pantano....287
4. Fase madura: pantano consolidado....287
Retroalimentaciones clave....288
Crecimiento de microbialitos en zonas someras y márgenes del canal....288
Reducción del ancho y la profundidad efectiva del canal....288
Aceleración del flujo en el canal remanente....288
Condiciones favorables para la persistencia microbiana en los márgenes....288
Pérdida progresiva de profundidad y ancho....289
Medio Socioeconómico....289
Contexto regional....289
Relación con el turismo lagunar....290
Población y dinámica demográfica....290

Crecimiento acelerado....290
Actividades económicas....291
Turismo (principal motor)....291
Servicios asociados....292
Actividades primarias: presencia regional, ausencia local....292
Dinámica socioeconómica del Sistema Ambiental....293
Componente social....294
Población en situación de vulnerabilidad....295
Indicadores socioeconómicos relevantes....295
Othón P. Blanco....295
Bacalar....296
Análisis conjunto del sistema socioeconómico....296
Vulnerabilidad al cambio climático....296
Variaciones en el nivel del agua....297
Incremento en la intensidad de precipitaciones....297
Incremento en la intensidad de precipitaciones....297
Paisaje....297
Visibilidad....298
Calidad paisajística....298
Fragilidad del paisaje....298
Frecuencia de observación....299
Elementos singulares del paisaje....299
Diagnóstico ambiental....299
Condición ambiental actual....299
Vulnerabilidad ambiental....300
Indicadores funcionales del sistema....300
Capacidad de respuesta y resiliencia....300
Tendencias y presiones ambientales....300
Áreas ambientalmente vulnerables....301
Índice cualitativo de vulnerabilidad....301
Síntesis del diagnóstico....301
V. V. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES....302
Identificación de impactos....302
Adecuación del enfoque a un proyecto en operación....302
Diferenciación entre efectos locales y procesos regionales....302
Herramientas de análisis....302
Alcance del análisis....303

Identificación de los componentes del proyecto 303
Clasificación de componentes 303
Operación turística 303
Infraestructura existente y adecuaciones operativas 303
Sistemas de manejo ambiental....304
Mantenimiento y gestión operativa 304
Integración de componentes....304
Criterios para la selección de actividades en el análisis de redes causa–efecto 305
Selección basada en la matriz de interacciones 305
Relevancia ambiental del componente receptor 305
Capacidad de generar efectos encadenados 305
Incorporación de condiciones operativas y mecanismos de control....305
Consideración de procesos acumulativos....306
Desglose de actividades del proyecto sujetas a evaluación 306
Actividades de operación turística 306
Actividades asociadas a la infraestructura existente y adecuaciones operativas....307
Sistemas de manejo ambiental....307
Actividades de mantenimiento y gestión operativa 307
Integración para el análisis de impactos....307
Clasificación transversal de las actividades....308
Actividades de contacto directo con el medio....308
Actividades de soporte operativo 308
Funcionamiento de infraestructura en general 308
Actividades de control ambiental....308
Actividades de mantenimiento....309
Integración para el análisis de impactos....309
Identificación de los factores ambientales relevantes....309
Subsistema físico-natural....309
Componente abiótico 309
Componente biótico 310
Componente perceptual 310
Subsistema socioeconómico....310
Criterios de selección de factores 310
Listado de elementos del Sistema Ambiental susceptibles de afectación....311
Medio abiótico....311
Agua....311
Criterio de selección 311

Suelo 312
Geomorfología y topografía 313
Hidrología 313
Clima 314
Medio biótico 315
Vegetación 315
Fauna 315
Microbialitos 316
Ecosistema lagunar 317
Medio perceptual (paisaje) 317
Medio socioeconómico 319
Clasificación técnica 321
Matriz de identificación de interacciones causa–efecto 321
Enfoque metodológico 322
Los factores ambientales se organizan conforme a los componentes descritos en el Capítulo IV. 322
Evaluar la capacidad del sistema para absorber o amplificar perturbaciones 323
Tratamiento de impactos históricos en proyectos en operación 323
Criterios de valoración de la matriz de identificación de interacciones 324
Valor 0 = Sin interacción actual 325
Valor 1 = Interacción baja 325
Valor 2 = Interacción media 325
Signo del impacto (+ / -) 326
(+) Impacto positivo: 326
(-) Impacto negativo: 326
(0) Impacto neutro o no significativo: 326
Criterios cruzados para la valoración de interacciones 326
Explicación técnica de los criterios 326
Magnitud 326
Extensión 327
Reversibilidad 327
Fundamentación de la construcción y análisis de la matriz de interacciones causa–efecto 327
Definición de los elementos de la matriz 327
a) Actividades del proyecto 327
b) Factores ambientales 328
Criterios para la identificación de interacciones 328
Sistema de valoración 328

Criterios para la identificación de interacciones....328
Enfoque de regularización....329
Análisis de la matriz....329
Agua....329
Suelo....331
Biótico....332
Microbialitos....333
Análisis integrado....334
Análisis mediante redes de relación causa–efecto....335
Criterios para la selección de actividades en el análisis de redes causa–efecto....336
Tipología de redes causa–efecto identificadas....338
Análisis....339
Red de conservación y manejo: uso turístico ordenado → protección de microbialitos....339
Red hidrológica–calidad de agua (con control y autorregulación)....341
Red positiva: manejo ambiental....343
Red: Suelo – hidrología....344
Red socioeconómica (positiva)....345
Red acumulativa....347
Conclusiones....349
Comparación de la ocupación del predio con los parámetros del POEL (UGAs 29 y 30)....351
1. Umbrales normativos de ocupación y desarrollo....351
UGA 29 – Corredor Turístico Xul-Ha–Bacalar....351
UGA 30 – Occidente Xul-Ha....352
2. Comparación con las condiciones reales del predio....352
3. Interpretación técnica....352
4. Relación con la capacidad de carga ambiental....352
5. Consideración regional (UGA 31 – sistema lagunar)....353
Lectura comparativa de parámetros normativos y superficies....354
Datos de referencia del predio....354
Parámetros de referencia – UGA 29....354
Parámetros de referencia – UGA 30....355
Proporción de superficie predial....355
Comparación de superficies....355
Comparación de huella física y parámetros de ocupación....355
Uso del suelo....356
Intensidad de desarrollo....356

Interpretación técnica....356
Integridad funcional y capacidad de carga....356
VI. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN O CORRECTIVAS POR COMPONENTE AMBIENTAL....358
Sistema lagunar, calidad del agua y prevención de contaminación....358
Tapetes microbianos y estructuras microbialíticas....358
Fauna silvestre....359
Vegetación, humedales y áreas en regeneración....359
Residuos sólidos, limpieza y vigilancia ambiental....360
Prevención de incendios....360
Síntesis de correspondencia entre impactos y medidas....360
Impactos residuales....361
VII. PRONÓSTICO AMBIENTAL Y ALTERNATIVAS....362
7.1. Pronóstico con el proyecto....362
7.1.1. Sistema Ambiental (SA)....362
7.1.2. Área de Influencia Directa (AID)....363
7.1.3. Predio y área del proyecto....363
7.1.4. Pronóstico de los componentes ambientales prioritarios....364
Agua, sistema lagunar y conectividad kárstica....364
Microbialitos y tapetes microbianos....364
Vegetación, humedales, suelo y fauna....364
Residuos, emisiones y entorno socioeconómico....364
7.1.5. Trayectoria de conservación y continuidad del manejo....364
7.2. Pronóstico sin el proyecto....365
7.2.1. Sistema Ambiental (SA)....365
7.2.2. Área de Influencia Directa (AID)....365
7.2.3. Predio y área del proyecto....365
7.2.4. Comparación sintética de escenarios....366
7.3. Evaluación de alternativas....366
7.3.1. Alternativa A. Continuidad de la operación existente con las medidas de manejo....366
7.3.2. Alternativa B. Ampliación de la huella o intensificación del uso....366
7.3.3. Alternativa C. Suspensión de operación con retiro y restauración....367
7.3.4. Alternativa D. Venta del predio....367
7.3.5. Alternativas tecnológicas y operativas dentro del proyecto....368
Ordenamiento de circulación y protección de microbialitos....368
Manejo de aguas residuales....368
Abastecimiento de agua....369

Manejo de residuos 369
7.3.6. Resultado de la evaluación de alternativas 369
Integración con los demás capítulos 369
VIII. IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS Y ELEMENTOS TÉCNICOS QUE SUSTENTAN LOS RESULTADOS DE LA MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL 371
Presentación de la información 371
Cartografía y planos 371
Fotografías e imágenes 371
Instrumentos metodológicos para la evaluación de impactos 372
Estudios e informes técnicos y anexos 372
Literatura de referencia 373

INDICE DE TABLAS

Tabla I-1. Coordenadas geográficas en UTM o decimales (WGS84). Predio Los Rápidos. 29

Tabla II-1. Coordenadas geográficas en UTM o decimales (WGS84), predio los rápidos, ver plano correspondiente. 36

Tabla II.2. Conceptos de inversión en construcción Los Rápidos, Sección: Canal de Los Rápidos. Montos aproximados por inversión gradual a lo largo de 34 años. 37

Tabla II-3. Conceptos de inversión en construcción. Establos y casa del velador, límite con la carretera federal. Montos aproximados por inversión gradual a lo largo de 34 años. 38

Tabla II-4. Conceptos de inversión en construcción. Sección La Laguna. Montos aproximados por inversión gradual a lo largo de 34 años. 38

Tabla II-5. Conceptos de trabajo e inversión en materia ambiental. 43

Tabla II-6. Datos históricos y recientes de caudal (m^3/s) en sitios de la Laguna de Bacalar. 80

Tabla II-7. Coordenadas geográficas en UTM o decimales (WGS84). 93

Tabla II-8. Cuadro cronológico de etapas (1992 – 2026) 96

Tabla II-9. Cronograma de evolución de gestión ambiental 97

Tabla II-10.Etapas de operación y mantenimiento (1992–2026) 100

Tabla II-11. Cronograma Plan tentativo de abandono 102

Tabla II-12. Resumen de fuentes de emisión atmosférica en Los Rápidos Lagoon Club 122

Tabla III-1. Unidades de gestión ambiental en los que se localiza el predio Los Rápidos 130

Tabla III-2. Compatibilidad de Los Rápidos Lagoon Club (170 hectáreas) en la UGA 29 – Corredor Turístico Bacalar–Xul-Ha, del POEL OPB 133

Tabla IIII-3 Compatibilidad de Los Rápidos Lagoon Club (9.41 hectáreas) en la UGA 30 Occidente Xul Ha, del POEL OPB 136

Tabla III-4. Congruencia con los Criterios Ecológicos de Aplicación General. Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Othón P. Blanco. Proyecto: Balnearios Los Rápidos 141

Tabla III-5. Congruencia del proyecto Los Rápidos Lagoon Club en el POER Golfo de México y Mar Caribe – UGA 152 Bacalar – Zona de influencia Laguna de Bacalar 146

Tabla IV-1. Unidades de gestión ambiental en los que se localiza el predio los rápidos 157

Tabla IV-2. Unidades de Gestión Ambiental POEL municipal OPB que conforman el Sistema Ambiental 157

Tabla IV-3 Relación entre las escalas de análisis 167

Tabla IV-4 Tipos de ecosistema natural y hechos por el hombre y superficies que ocupan dentro de predio los rápidos. 171

Tabla IV-5. Red de caminos internos del predio Los Rápidos (Ver también Capítulo II). 184

Tabla IV-6. Datos de estaciones climáticas consultadas. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Juan Sarabia (23170) y estación Chetumal (23032) 186

Tabla IV-7. Comparativa de las estaciones Juan Sarabia (23170) y Chetumal (23032) 187

Tabla IV-8. Valores de Temperatura máxima (°C) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Chetumal (DGE) (23032) 188

Tabla IV-9. Valores de Temperatura máxima (°C) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Juan Sarabia (23170) 188

Tabla IV-10. Valores de Temperatura mínima (°C) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Chetumal (DGE) (23032) 188

Tabla IV-11. Valores de Temperatura mínima (°C) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Juan Sarabia (23170) 189

Tabla IV-12. Valores de Precipitación (mm) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Chetumal (DGE) (23032) 190

Tabla IV-13. Valores de Precipitación (mm) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Juan Sarabia (23170) .. 190

Tabla IV-14. Valores de Evaporación (mm) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Chetumal (DGE) (23032) .. 191

Tabla IV-15.Valores de Evaporación (mm) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Juan Sarabia (23170) 191

Tabla IV-16. Fichas geologica del predio Los Rápidos. Fuente de datos: Servicio Geológico Mexicano..... 195

Tabla IV-17. Ficha geológica del Estero de Chac. Predo en la zona de influencia de los Rápidos. Fuente de datos: Servicio Geológico Mexicano. 195

Tabla IV-18. Resumen Técnico de Pendientes del límite norte 199

Tabla IV-19. . Resumen Técnico de Pendientes de la zona centro del predio 200

Tabla IV-20. Resumen Técnico de Pendientes del eje carretera laguna (Límite Sur) 201

Tabla IV-21. Resumen Técnico de Pendientes del Límite Sur - Tramo Interno..... 202

Tabla IV-22. Tabla comparativa de pH en la Laguna de Bacalar..... 223

Tabla IV-23. Tiempo de residencia del agua 225

Tabla IV-24. Tabla comparativa de las UGA que integran el Sistema Ambiental del predio Los Rápidos..... 234

Tabla IV-25. Especies vegetales de la zona inundables con vegetación hidrófila. Fuente de información “Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo” (CONACYT–CINVESTAV–UNAM) y verificación de campo. 235

Tabla IV-26. Especies representativas del Manglar de franja – SisteLos Rápidos. Fuente de información “Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo” (CONACYT–CINVESTAV–UNAM) y verificación de campo. 236

Tabla IV-27. Especies representativas del Manglar con pastizal hidrófilo. Fuente de información “Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo” (CONACYT–CINVESTAV–UNAM) y verificación de campo..... 237

Tabla IV-28. Especies representativas del Petén de manglar / Transición Manglar–Selva . Fuente de información “Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo” (CONACYT–CINVESTAV–UNAM) y verificación de campo. 238

Tabla IV-29. Especies representativas de la Transición Manglar / Selva (Ecotono) . Fuente de información “Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo” (CONACYT–CINVESTAV–UNAM) y verificación de campo 240

Tabla IV-30. Especies representativas de la Vegetación de Galería con Manglar – Sistema lagunar de Bacalar 241

Tabla IV-31. Hábitats faunísticos del Sistema Ambiental Los Rápidos. 249

Tabla IV-32. Especies de mamíferos más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos 252

Tabla IV-33. Especies de aves más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos 253

Tabla IV-34Especies de reptiless más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos 254

Tabla IV-35Especies de anfibios más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos 254

Tabla IV-36 Especies de peces más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos 255

Tabla IV-37. Especies de invertebrados más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos 255

Tabla IV-38.Mamíferos registrados en el predio Los Rápidos. 256

Tabla IV-39. Aves representativas del predio Los Rápidos 257

Tabla IV-40. Reptiles registrados en el predio Los Rápidos. 258

Tabla IV-41. Anfibios registrados en el Sistema Ambiental Los Rápidos. 260

Tabla IV-42 Ictiofauna registrada en campo - Canal de Los Rápidos, cenote y zona litoral (H7 / H3). 261

Tabla IV-43. Grupos de invertebrados relevantes del Sistema Ambiental Los Rápidos. 262

Tabla IV-44. Riqueza de fauna registrada y estimada - Sistema Ambiental Los Rápidos. 263

Tabla IV-45. Análisi por grupo taxonómico de fauna silvestre en el predio Los Rápidos. 263

Tabla IV-46 Índices ecológicos calculados para el predio Los Rápidos (PRIMER v6.1.6). 265

Tabla IV-47. Gremios tróficos del Sistema Ambiental Los Rápidos. 266

Tabla IV-48. Especies indicadoras del estado de salud del predio Los Rápidos. 268

Tabla IV-49. Estado de conservación de los hábitats faunísticos - Sistema Ambiental Los Rápidos. 269

Tabla IV-50. Especies en estatus de protección en el predio Los Rápidos. 271

Tabla IV-51. Áreas críticas identificadas para la fauna - Sistema Ambiental Los Rápidos. 274

Tabla IV-52. Métodos y fuentes de información utilizados en la caracterización faunística. 280

Tabla IV-53. Síntesis de composición microbiana (basada en estudios en Bacalar y sistemas similares)..... 285
Tabla IV-54. Estructura funcional del tapete (organización vertical simplificada)..... 285
Tabla IV-55. Indicadores socioeconómicos relevantes (Othón P. Blanco)..... 295
Tabla V-1. Criterios cruzados de magnitud, extensión y reversibilidad de interacciones ambientales..... 327
Tabla V-2. Evaluación de interacciones – Componente agua..... 329
Tabla V-3. Evaluación de interacciones – Componente suelo..... 331
Tabla V-4. Evaluación de interacciones – Componente biótico..... 332
Tabla V-5. Evaluación de interacciones – Componente microbialitos..... 333
Tabla V-6. Matriz de interaccionesFactores ambientales / Actividades predio Los Rápidos..... 335
Tabla V-7. Tabla comparativa: POEL vs condiciones reales del predio..... 353

INDICE DE FOTOS

Foto II-1. Baños y Departamentos..... 48
Foto II-2. Sanitarios..... 49
Foto II-3. Planta Baja. Departamento 1. Área de vigilante..... 49
Foto II-4. Departamento 2 en segunda planta del edificio de departamentos y baños..... 50
Foto II-5. Deck asoleadero, vista poniente - oriente..... 52
Foto II-6. Deck asoleadero, vista sur a norte..... 53
Foto II-7. Detalle Deck asoleadero y Palapa..... 53
Foto II-8 Detalle Palapa salida, escalera de acceso desde el restaurante..... 55
Foto II-9. Detalle de andador mirador..... 55
Foto II-10 Detalle techo de la palapa..... 55
Foto II-11. Detalles del andador elevado en la zona del canal de Xul Ha (tramo o sección Los Rápidos..... 57
Foto II-12. Detalle del andador elevado. Foto dron..... 57
Foto II-13 Recepción..... 58
Foto II-14 Bar..... 59
Foto II-15 Cocina..... 59
Foto II-16 Área administrativa..... 59
Foto II-17Área de lavado de platos..... 59
Foto II-18. Área de meseros..... 60
Foto II-19 Detalle del techo de papalpa, construida con materiales de la región..... 60
Foto II-20 Deck elevado..... 62
Foto II-21 Departamento 3..... 63
Foto II-22 Vestidores..... 63
Foto II-233 Bodega..... 64
Foto II-24 Taller de mantenimiento..... 64
Foto II-25 Colgador de Chalecos 2..... 65
Foto II-26 Colgador de chalecos 3..... 65
Foto II-27 Champa para hamacas..... 66
Foto II-28 Capilla de madera..... 71
Foto II-29 Bodega de malla electrosoldada..... 72

INDICE DE IMÁGENES

Imagen I-1 Polígono Los Rápidos en el título de propiedad 30

Imagen II-1 Ubicación de la autopista Chetumal – Bacalar obra del gobierno del estado entre 1992 y 1994. 1.74 km de la obra atravesaron el predio Los Rápidos, trazando, desmontando y rellenando por la constructora contratada por parte de gobierno. Fuente de imagen Google Earth 2026 34

Imagen II-2. Microlocalización Los Rápidos Lagoon Club (Canal Xul Ha y Laguna de Bacalar) en el predio Los Rápidos. Fuente de imagen: Google Earth 2026 35

Imagen III-1. UGA del POEL municipio OPB en el predio Los Rápidos. Fuente: Datos POEL OPB, Creación Propia 129

Imagen IV-1Contexto regional del área de influencia directa (ejido Juan Sarabia) y su relación espacial con Xul-Há, Bacalar, Huay-Pix, Río Hondo y la Bahía de Chetumal. La figura representa el contexto territorial de referencia y no constituye, por sí sola, una delimitación hidrogeológica de precisión predial.....161

Imagen IV-2 Interpretación satelital de la zona de influencia directa: superficies transformadas, banco principal y zonas de humedal. Elaboración de trabajo a partir de imágenes aportadas. Los polígonos y categorías deben validarse mediante análisis multitemporal y verificación de campo. 162

Imagen IV-3Cartografía hidrogeológica regional del sur de Quintana Roo, con vectores de circulación del agua subterránea. El círculo rojo señala la zona aproximada de incidencia del territorio de Juan Sarabia. Fuente: Sánchez-Sánchez et al. (2015), figura reproducida de la publicación consultada.....164

Imagen IV-4 Banco de material y puntos de alumbramiento freático identificados en el trabajo cartográfico. Los puntos constituyen una capa de investigación que debe validarse mediante coordenadas y levantamiento de campo. 166

Imagen IV-5. Antecedentes históricos del trazo de la autopista Chetumal Bacalar antes de 1992 y despues de 1992. Fuente: Google earth. 169

Imagen IV-6Estructura del Canal de los Rápidos. Elaboración propia sobre fotografia de dron (2025) 173

Imagen IV-7. Planicie Sedimentaria Baja Los Rápidos (31.6 ha).....175

Imagen IV-8. Planicie Sedimentaria Alta (42 ha) Los Rápidos.....177

Imagen IV-9. Vegetación Secundaria Baja con manchón de tular (38.9 ha)Los Rápidos- 178

Imagen IV-10. Acahual Selva Baja (21.14 ha) Los Rápidos. 181

Imagen IV-11. Acahual joven 182

Imagen IV-12. Desprovista de vegetación o huamil.....183

Imagen IV-13. Caminos interiores en el predio los Rápidos. Creación propia. Imagen Google Earth. 185

Imagen IV-14. Unidades geológicas presentes en el predio. Fuente: Datos: Servico Geológico Nacional. Creación propia. 192

Imagen IV-15. Sistema de fallas de la Laguna de Bacalar (Sistema Rio Hondo Bacalar) que atravieza el predio. 196

Imagen IV-16. Perfil de elevación del límite norte del predio los Rápidos. Fuente de datos e imagen: Google Earth. 198

Imagen IV-17. Porción Central del Predio (Eje Carretera-Laguna). Fuente de datos para análisis e imagen: Google earth. 200

Imagen IV-18. Límite Sur del Predio (Eje Carretera-Laguna) 201

Imagen IV-19. Modelo 3D de batimetría del Canal de los Rápidos. Fuente: Estudio batimétrico de Los Rápidos. 203

Imagen IV-20. Vista lateral izquierda y derecha de la modelación tridimensional batimétrica del área de estudio. Fuente: Elaboración propia del estudio batimétrico. 205

Imagen IV-21. Morfologia de microbialitos en el canal. Imagen de dron, creación propia. 206

Imagen IV-22. Cenote Los Ráidos. Funte de imagen: Google earth, elaboración propia. 214

Imagen IV-23. Laguna Bonanza al sur de Los Ra´pidos. Fuente Imagen Google Earth. Elaboración Propia. 215

Imagen IV-24. Canal de Sac Ha 215

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración II-1 Infografia difundida entre elpersonal a traves del grupo de capacitación. Elaboración propia con información del área ambiental de los Rápidos. Imagen elaborada cona poyo de IA. .. 87

Ilustración II-2 Infografía funcionamiento de la PTAR de los rápidos 90

Ilustración II-3 Infografia de capacitación para Manejo de bitácora electrónica para el personal de los Raídos (Ambos balnearios). Elaboración de datos propios con ilustracion creada con IA..... 111

Ilustración II-4 Resultados prueba de b bitacora electrónica de residuos 112

Ilustración II-5 Bitácora La Laguna. Registro y anáisis del manejo interno de residuos sólidos. Periodo mayo a octubre 2026. Datos propios de base de datos de bitácora electrónica de manejo de residuos del balneario La Laguna. Generación de ilustración con apoyo de IA. 118

Ilustración II-6. Bitácora Los Rápidos. Registro y anáisis del manejo interno de residuos sólidos. Periodo mayo a octubre 2026. Datos propios de base de datos de bitácora electrónica de manejo de residuos del balneario Los Rápidos. Generación de ilustración con apoyo de IA. 118

Ilustración II-7. Material de capacitación acerca de grasas de cocina usadas. Información propia, ilustración con apoyo de IA. 119

Ilustración IV-1. Relación espacial ente el Sistema ambiental, el área de influencia directa, predio y área delproyecto. Imagen generada con IA con información proporconada. 155

Ilustración IV-2. Jerarquización e interrelación de criteros para delimitación acrtográfica del SA. Ilustracion generada con IA basada en la información del texto. 159

Ilustración IV-3 Evolición morfodinámica del canal de Los Rápidos. Fuente: Villarreal-Sonora (2025). Los Rápidos Bacalar. Geología y Ecología. 288

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

I.1. Datos generales del proyecto

I.1.1 Nombre del proyecto

Regularización de obras y actividades de Los Rápidos Lagoon Club

I.1.2 Ubicación del proyecto

El predio se ubica en el kilómetro 8 del tramo Xul Ha – Bacalar, sobre la Carretera 307 Chetumal, Puerto Juárez. Municipio de Othón P. Blanco. Estado de Quintana Roo. México, Tramo Xul Ha – Bacalar (Ver Plano I.1. Polígono del predio Los Rápidos. Fuente: Título de propiedad; en Anexo Planos)

Tabla I-1. Coordenadas geográficas en UTM o decimales (WGS84). Predio Los Rápidos.

LADO	AZIMUT (GGC/MM/SS.SSS)	DISTANCIA (m)	X (m)	Y (m)
3065 – 6	119°18'30.314"	1023.247	347040.203	2057415.534
6 – 7	000°52'27.675"	461.323	348001.703	2057027.498
7 – 8	208°14'40.334"	542.46	349252.34	2057082.61
8 – 9	217°35'52.404"	538.732	349040.338	2056555.815
9 – 3069	233°57'28.954"	667.386	348720.498	2056140.706
3069–3068	308°33'24.675"	814.545	348178.455	2055747
3068–3057	027°44'30.452"	233.416	347955	2056000
3057–3066	250°08'01.508"	408.79	347705	2056300
3066–3065	062°49'31.554"	1051.08	347320	2056800

Fuente: Título de propiedad. 000000002359. Del 09 de abril de 2012. Registro ante RPP con fecha del 27 de abril del 2012.

Este es un estudio de Evaluación de Impacto Ambiental para la regularización de obras y actividades de Los Rápidos Lagoon Club, el cual es parte del cumplimiento del expediente administrativo PFPA/29.3/2C.27.5/0096-15, en materia de Impacto Ambiental, en el acuerdo de trámite 0320/2022 por la PROFEPA y del ACUERDO DE EMPLAZAMIENTO NO. 0309/2026 para regularización en materia de Impacto Ambiental de operaciones y de la Infraestructura de Los Rápidos.

La infraestructura incluida en el presente estudio comprende la infraestructura del Club de Laguna el cual está integrado a su vez en dos secciones de Balneario / Restaurante dentro del predio. Los dos polígonos que conforman los restaurantes/balnearios del complejo turístico de Los Rápidos, son: El balneario / restaurante colindante con el canal de Xul Ha (tramo Los Rápidos) que se localiza en un área de 2,960 m2, y el ubicado en la colindancia norte del predio con la laguna de Bacalar (La Laguna), el cual se ubica en un área de 3,615 m2.

Estas dos zonas en su conjunto ocupan un total de 6,575m2, equivalente a .37% (punto treinta y siete por ciento - una tercera parte de 1%) de la superficie total del predio, que cuenta con una superficie total de 179 hectáreas, 41 áreas y 79.71 centiáreas (o 1,794,897.08 m2) (Ver Imagen II.2.

Macrolocalización Los Rápidos Lagoon Club -Canal Xul Ha y Laguna de Bacalar- en el predio Los Rápidos. Fuente de imagen: Google Earth 2025, en Anexo Imágenes).

El predio cuenta con una delimitación territorial claramente definida mediante colindancias y medidas lineales que lo vinculan con elementos naturales y vías de comunicación relevantes en la región (Imagen I.1. Polígono Los Rápidos en el título de propiedad):

- Al noreste, el predio colinda con la parcela 77 en una extensión de 1,025.247 metros, así como con la Laguna de Bacalar en un tramo de 461.323 metros, ofreciendo un contacto directo con la ribera de este importante cuerpo de agua. Para || total de 1,486.57 metros.
- Hacia el sureste, limita con el Canal de Xul-Ha a través de una línea quebrada compuesta por tres segmentos que miden 562.460 metros, 538.732 metros y 667.386 metros, respectivamente. Para un total de 1,768.578 metros lineales.
- En el suroeste, también en línea quebrada, colinda con la parcela 79, mediante tramos de 618.545 metros, 238.416 metros y 488.790 metros. Un total de 1,345.751 metros.
- Finalmente, en su frontera noroeste, el predio limita con la Carretera Federal 307 Chetumal–Bacalar, con una longitud de 1,051.090 metros.

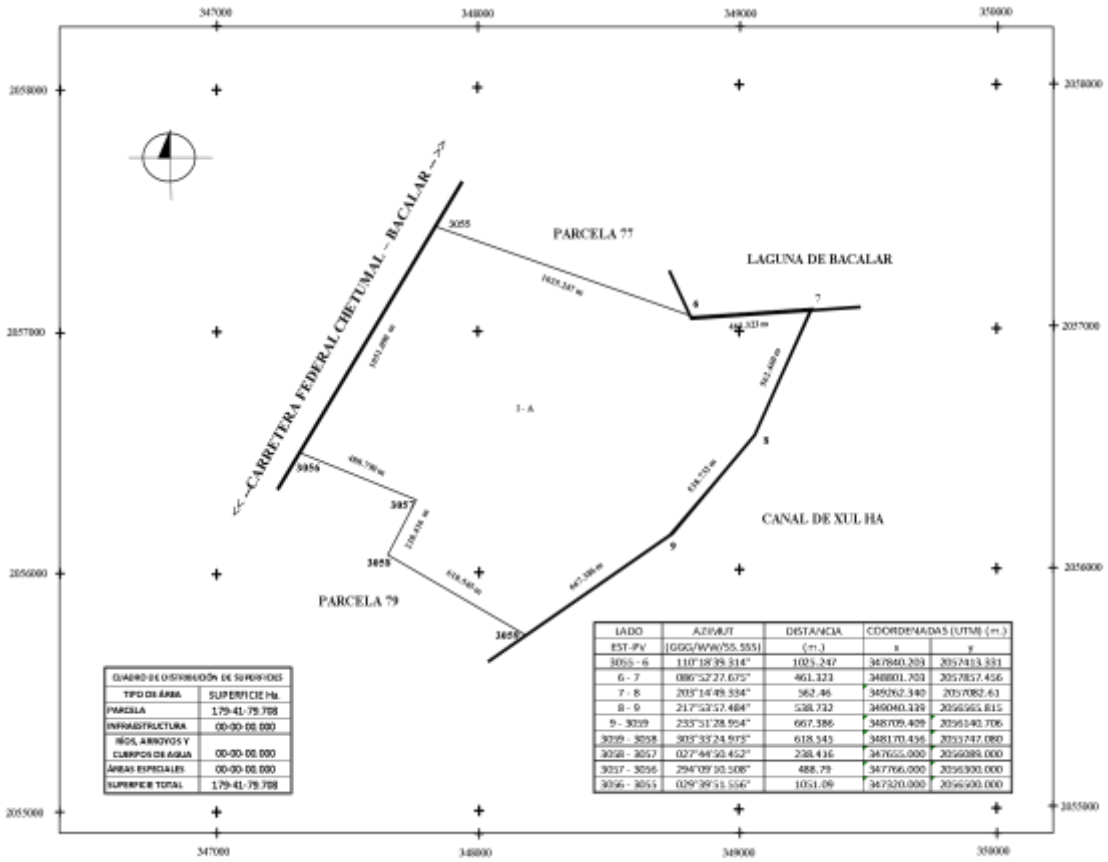


Imagen I-1 Polígono Los Rápidos en el título de propiedad

Localidades Cercanas a Los Rápidos (Croquis I.1). En un radio aproximado de 25 kilómetros alrededor de los Rápidos de Bacalar, se localizan diversos asentamientos humanos y sitios de interés turístico que contribuyen al dinamismo regional.

- Al sur inmediato, a tan solo 5 km, se encuentra Xul-Ha, una pequeña localidad litoral asentada sobre la misma línea litoral de la Laguna de Bacalar, específicamente sobre el cenote/laguna de Xul Ha. Su cercanía y acceso directo a los cuerpos de agua la convierten en un punto clave para actividades recreativas y de ecoturismo.
- Hacia el norte, aproximadamente a 9.5 km, se localiza el Pueblo Mágico de Bacalar, cabecera del municipio homónimo. Esta localidad es el centro turístico y económico de la región, con una infraestructura consolidada para recibir visitantes nacionales e internacionales. Con una población aproximada de 12,527 habitantes[1].
- En dirección sureste, a una distancia de 27 km, se sitúa la ciudad de Chetumal, capital del estado de Quintana Roo. Esta ciudad constituye el nodo urbano más relevante en términos de servicios, conectividad y administración gubernamental en la zona sur del estado. Esta localidad cuenta con una población estimada de 169,028 habitantes[2].

Cuerpos de Agua (Croquis I.1). El predio en el que se ubican los Rápidos presenta una alta conectividad con cuerpos de agua de gran importancia ecológica y turística de sus colindancias:

- Al noreste, colinda directamente con la Laguna de Bacalar, en un tramo de 461.323 metros lineales, lo que proporciona acceso privilegiado a este sistema lagunar único por su belleza escénica y biodiversidad.
- Hacia el sureste, limita con el Canal de Xul-Ha, mediante una línea quebrada compuesta por tres segmentos que miden 562.460 m, 538.732 m y 667.386 m respectivamente. Este canal forma parte del sistema hídrico interconectado entre las lagunas de Bacalar y Xul-Ha, y es fundamental para el flujo de agua dulce en la región.

Vías de acceso (Croquis I.1)

- El acceso principal al predio se realiza desde el poniente, a través de la carretera federal 307, una vía pavimentada de alta capacidad que conecta Chetumal con Cancún y otros destinos turísticos del Caribe Mexicano. El acceso se encuentra a la altura del kilómetro 8 desde el entronque conocido como Km 19 hacia Bacalar.

El predio cuenta con una red interna de caminos compuesta por vialidades de terracería y brechas, las cuales permiten el acceso y la conectividad entre distintos puntos del terreno. En total, se dispone de aproximadamente 3.1 kilómetros de caminos interiores permeables (terracería) y 3.4 kilómetros de brechas, lo que facilita el tránsito tanto para actividades operativas como de mantenimiento y vigilancia dentro del área.

En cuanto a los rasgos físicos del entorno, destaca un elemento geológico de gran relevancia compartido por los predios localizados a lo largo de la ribera de la Laguna de Bacalar: la presencia de una importante falla geológica asociada al origen tectónico del cuerpo lagunar. De acuerdo con información del Atlas Nacional de Riesgos del CENAPRED, la formación de la laguna está vinculada a una serie de discontinuidades estructurales en la corteza terrestre, cuya expresión superficial se manifiesta en notables desniveles del terreno.

En el caso particular del predio, se identifican dos fallas geológicas que lo atraviesan (Croquis I.1): 1. La Falla Arroyo Hondo, la cual constituye la pared poniente de la Laguna de Bacalar y representa una de las principales estructuras responsables del hundimiento que dio origen al sistema lagunar. Y, 2. Una falla normal secundaria, que cruza la planicie de sedimentación del predio, generando una ligera inclinación del terreno. Estos rasgos físicos serán descritos con mayor detalle en la sección correspondiente a la caracterización del sistema ambiental local.

[1] Fuente: Censo de Población y vivienda INEGI 2020: https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html?texto=Bacalar

[2] Fuente: Censo de Población y vivienda INEGI 2020. https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html?texto=Chetumal

Se anexa Croquis I.1. Ubicación. incluye: Límites del predio, localidades cercanas, cuerpos de agua, Vías de acceso, límites políticos., incluye: Límites del predio, Localidades cercanas, cuerpos de agua, Vías de acceso (carreteras, caminos), Límites políticos y rasgos físicos del entorno. Ver Anexo Planos.

I.1.3 Duración del proyecto

El proyecto inició de forma orgánica como rancho agropecuario y balneario familiar alrededor del año 1986, en una parcela que era propiedad social del ejido Juan Sarabia; en1992 fue cedido a otro ejidatario y actual propietario, y posteriormente entró en proceso de dominio pleno (acta de asamblea general 26 de noviembre de 2006) junto con parcelas de otros ejidatarios, obteniendo el titulo de propiedad en el año 2012 (VerTítulo de Propiedad, en Anexo Documentos legales).

A principios de los 1990, este y otros predios fueron considerados por el gobierno del estado de Quintana Roo como parte del trazo por donde pasaría una, autopista para acortar y modernizar el tránsito vehicular entre Chetumal y Bacalar, este proyecto gubernamental abrió un camino de acceso que va desde el límite con el canal de Xul ha a la carretera 307, dentro del polígono, posteriormente el proyecto gubernamental fue abandonado de manera controversial tras el cambio de mandato en 1993, como detallaremos en otras secciones de este documento.

Despues del parcelamiento de 2006 y la titulación (dominio pleno) llevado a cabo por el ejido en 2012 se comenzó a abrir de manera intermitente al público con el establecimiento gradual de infraestructura a lo largo de aproximadamente 13 años. Desde 2015 opera de forma continua como zona de esparcimiento. Se espera pueda mantenerse en operación al menos por otros 50 años. Por tanto, el periodo total estimado del proyecto es de aproximadamente 70 años**.**

I.2 Datos generales del promovente

I.2.1 Nombre o razón social

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

II. Descripción del proyecto

II.1 Información general del proyecto

El presente documento corresponde a un estudio de Evaluación de Impacto Ambiental en modalidad Particular para regularización de obras y actividades del proyecto denominado Los Rápidos Lagoon Club. El proyecto objeto de regularización consiste en un conjunto turístico-recreativo tipo balneario/restaurante, desarrollado históricamente dentro de un predio de propiedad privada con una superficie total de 179.41 hectáreas (ciento setenta y nueve, punto cuarenta y un hectáreas). La infraestructura se concentra en dos polígonos específicos: uno colindante con el Canal de Xul-Ha y otro con la Laguna de Bacalar, los cuales en conjunto ocupan una superficie de 6,575 m², equivalente al 0.37% (punto treinta y siete por ciento) de la superficie total del predio.

El desarrollo del sitio ha ocurrido de manera progresiva a lo largo de más de tres décadas, partiendo de su uso original como rancho agropecuario, hasta su configuración actual como espacio turístico de baja densidad. Este proceso ha mantenido una ocupación territorial limitada, conservando la mayor parte del predio como zona de amortiguamiento y conservación.

Durante el periodo comprendido entre el inicio del procedimiento administrativo en 2015 y la integración del presente estudio, el sitio ha mantenido su operación, incorporando acciones de adecuación operativa y medidas de manejo ambiental, orientadas a mejorar la seguridad de los usuarios, el control de accesos y la protección de elementos ecológicos sensibles y para responder a requerimientos y exigencias de otras autoridades.

Estas acciones corresponden a intervenciones predominantemente construidas con materiales naturales y sistemas constructivos reversibles, tales como estructuras de madera sobre pilotes. Su implementación responde a criterios de manejo adaptativo del sitio y no implica expansión de la superficie ocupada, cambio en el uso de suelo ni incremento en la capacidad instalada del proyecto.

En este sentido, las adecuaciones realizadas se entienden como parte de un proceso de ordenamiento funcional del espacio previamente intervenido, cuyo objetivo principal ha sido reducir la presión directa sobre zonas sensibles, mejorar la seguridad de los visitantes y optimizar la operación del conjunto, manteniendo la compatibilidad del proyecto con su entorno ambiental.

II.1.1 Naturaleza del proyecto

De acuerdo con la constancia emitida el 23 de octubre de 2015 por el Comisariado Ejidal del ejido Juan Sarabia, las instalaciones que existían en el predio conocido como Los Rápidos eran

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

derechos ejidales y la posesión de su trabajador sobre la parcela de uso común, incluyendo expresamente las construcciones que ya había realizado tanto en la zona de Los Rápidos como en la zona colindante con la laguna de Bacalar.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

modificaciones, rellenos de humedales, desmontes ni daños a los manglares de las áreas señaladas. Asimismo, la constancia refiere que las instalaciones eran conocidas y habían sido utilizadas por los ejidatarios para reuniones y eventos, y que las obras actualmente visibles se

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Actualmente el proyecto es tipo turístico, de subtipo: balneario / restaurante. El predio conocido como Rancho Los Rápidos se encuentra ubicado en el municipio de Bacalar, Quintana Roo, y tiene una superficie total de 179 hectáreas, 41 áreas y 79.71 centiáreas, equivalente a 1,794,897.08 m² (un millón setecientos noventa y cuatro mil ochocientos noventa y siete metros cuadrados con ocho centímetros cuadrados) Ver polígono del predio, en anexo: planos.

Dentro de este polígono, desde hace 34 años un rancho agropecuario familiar se fue transformando poco a poco en un proyecto denominado "Los Rápidos Lagoon Club", el cual consiste en la instalación y operación de un conjunto turístico-recreativo que incluye zonas de restaurante y balneario. La infraestructura se compone de dos secciones claramente definidas (Ver Imagen II.1):

- La primera sección se localiza en el extremo este del rancho, en colindancia directa con la zona federal litoral del Canal de Xul-Ha. Conocida como “Los Rápidos” (Los Rápidos junto al canal de Xul Ha).
- La segunda sección se ubica al noreste del predio, colindante con la zona federal marítimo-terrestre de la Laguna de Bacalar. Conocida puntualmente como “La Laguna” (La Laguna de Los Rápidos).

Ambas secciones están dentro del mismo predio y forman una unidad operativa identificada conjuntamente como Los Rápidos Lagoon Club. Juntos, ocupan una superficie total de 6,575 m², lo que representa un 0.37% (cero punto treinta y siete por ciento) de la superficie total del predio.

Este pequeño complejo tienen 34 años de desarrollo orgánico, el cual se transformó y consolidó con la finalidad de:



Imagen II-1 Ubicación de la autopista Chetumal – Bacalar obra del gobierno del estado entre 1992 y 1994. 1.74 km de la obra atravesaron el predio Los Rápidos, trazando, desmontando y rellenando por la constructora contratada por parte de gobierno. Fuente de imagen Google Earth 2026 .

- Brindar servicios turísticos básicos y complementarios que fortalezcan la economía local y diversifiquen la oferta recreativa de la región.
- Garantizar la seguridad de los usuarios, reduciendo riesgos asociados con la dinámica del canal y con la superficie resbaladiza de los tapetes.
- Ordenar y controlar el acceso de visitantes a zonas ecológicamente sensibles, como las zonas de humedales y como los tapetes microbiolíticos en la ribera.

En el año 2015, el predio Rancho Los Rápidos recibió una visita de inspección por parte de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la cual dio origen al expediente administrativo PFPA/29.3/2C.27.5/0096-15, en materia de impacto ambiental. Esta acción formó parte de un procedimiento de revisión técnica orientado a verificar el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable a las actividades e infraestructura desarrolladas dentro del predio.

Paralelamente, en 2016, personal del área de verificación industrial de la misma Procuraduría llevó a cabo una inspección específica en materia de manejo de aguas residuales, por denuncia de un grupo de ejidatarios del mismo ejido Juan Sarabia, con el objetivo de constatar las condiciones de operación de los sistemas de tratamiento, manejo y disposición de aguas residuales implementados. Para este caso, y como resultado de dicha verificación del manejo de aguas residuales, se determinó que las instalaciones se encontraban en cumplimiento con la normatividad vigente, por lo que se emitió una resolución de cierre favorable bajo el expediente administrativo PFPA/29.2/2C.27.1/0041-16.

Otra inspección que se ha llevado a cabo en años recientes fue por inspectores de CONAGUA, quienes llevaron a cabo una verificación del sitio en el tema de zona federal – se cuenta con gestión del trámite con antelación (solicitud 22 de mayo de 2012) - y de uso de aguas nacionales, lo que consta en el expediente.

II.1.2 Ubicación y dimensiones



Imagen II-2. Microlocalización Los Rápidos Lagoon Club (Canal Xul Ha y Laguna de Bacalar) en el predio Los Rápidos. Fuente de imagen: Google Earth 2026 .

El predio se ubica en el kilómetro 8 del tramo Xul Ha – Bacalar, sobre la Carretera 307 Chetumal, Puerto Juárez. Municipio de Othón P. Blanco. Estado de Quintana Roo. México (**Tabla II.1**, abajo e **Imagen II.2**).

Tabla II-1. Coordenadas geográficas en UTM o decimales (WGS84), predio los rápidos, ver plano correspondiente.

LADO	AZIMUT (GGC/MM/SS.SSS)	DISTANCIA (m)	X (m)	Y (m)
3065 – 6	119°18'30.314"	1023.247	347040.203	2057413.534
6 – 7	000°52'27.675"	461.323	348001.703	2057027.498
7 – 8	208°14'40.334"	542.46	349252.34	2057082.61
8 – 9	217°35'52.404"	538.732	349040.338	2056555.815
9 – 3069	233°57'28.954"	667.386	348720.498	2056140.706
3069–3068	308°33'24.675"	814.545	348178.455	2055747
3068–3057	027°44'30.452"	233.416	347955	2056000
3057–3066	250°08'01.508"	408.79	347705	2056300
3066–3065	062°49'31.554"	1051.08	347320	2056800
Fuente: Título de propiedad 2359 del 9 de abril de 2012.				

La Tabla II.1 presenta las coordenadas geográficas y las dimensiones lineales que delimitan el polígono del predio descrito en el Título de propiedad. Las mediciones están expresadas en sistema de coordenadas UTM (WGS84), con indicación de los vértices, azimuts y distancias correspondientes a cada lado. El predio cuenta con una superficie total de 179 hectáreas, 41 áreas y 79.71 centiáreas (o 1,794,897.08 m2).

II.1.3 Inversión realizada

Dado que la superficie donde ubican los balnearios se localizaron en la zona del relleno realizado por el proyecto de Gobierno del estado, algunas de las construcciones ya estaban comenzadas[3] cuando se tomó posesión del predio por el actual propietario, el proceso de construcción y operación en el sitio conocido como Los Rápidos Lagoon Club se ha desarrollado de manera gradual a lo largo de varias décadas, con antecedentes que se remontan a la década de 1980, cuando aún era una parcela ejidal, antes de obtener el dominio pleno y ser titulado. Durante este periodo, la propiedad funcionaba principalmente como un rancho familiar, en el que ya existían estructuras básicas que servían para alojamiento, almacenamiento y actividades recreativas, reflejando un uso modesto y funcional del terreno.

En 1992, cuando se adquirió formalmente la propiedad, gran parte de esta infraestructura inicial ya se encontraba en pie. A partir de ese momento, se emprendió un proceso de consolidación, de las instalaciones, integrando elementos que hoy conforman el club a lo largo de 34 años. Este desarrollo paulatino ha permitido que la infraestructura se adapte progresivamente a las necesidades del sitio, respetando el entorno natural y aplicando criterios de construcción de bajo impacto ambiental. La distribución de la inversión y de las obras a lo largo de los años refleja un enfoque de crecimiento sostenible, evitando alteraciones masivas del paisaje y asegurando la integración de cada componente con el ecosistema circundante.

En consecuencia, la infraestructura actual es el resultado de un proceso histórico de más de 34 años (tomando en consideración los caminos, potreros y la infraestructura generada cuando era un rancho agropecuario en la década de los ochentas; es decir, combina las construcciones originales del rancho familiar con las mejoras posteriores, siempre con atención a la conservación del entorno y la funcionalidad operativa del club). A la fecha solo el 0.37% (punto treinta y siete por ciento) del

[3] Constancia autoridades Ejido Juan Sarabia. Octunre 23 de 2015. En Anexos.

predio, incluye infraestructura y los caminos ocupan 3.1 hectáreas lo que equivale a 1.7% de la superficie del predio. Un total de 3.75 hectáreas o un 2.09% del predio.

La inversión aplicada para Los Rápidos se considera aproximada debido a que el proyecto se ha desarrollado gradualmente y de manera orgánica a lo largo de 34 años, de los cuales los primeros 20 fueron como un rancho familiar agropecuario, integrando e intercalando fases de construcción, operación, mantenimiento, mejora y de conservación.

Los costos se ajustan a precios promedio en la Península de Yucatán, a 2026, considerando mano de obra local y materiales típicos de la región. Se debe destacar que 90 hectáreas de antiguos potreros están en proceso de regeneración natural, de donde se obtiene madera para autoabasto en la construcción y mantenimiento, aprovechada como consumo doméstico, lo que reduce significativamente el costo directo de materiales.

II.1.3.1. Inversión total aproximada por rubro

II.1.3.1.1 Construcción en Los Rápidos. Sección Canal de Los Rápidos.

La tabla a continuación (**Tabla II.2**), muestra un desglose del presupuesto estimado para la construcción e infraestructura de un proyecto turístico, desglosando los costos por rubros y subconceptos. Se distinguen tres categorías principales: construcciones, sistemas e infraestructura auxiliar. Este rubro contempla la edificación de los espacios principales del proyecto en el balneario

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

II.1.3.1.2. Construcciones adicionales: establos y casa del velador

Esta tabla (**Tabla II.3**) muestra la inversión destinada a las construcciones complementarias dentro del predio, ubicadas principalmente en el límite con la carretera federal. Incluye dos establos destinados a actividades agropecuarias y la casa del velador, esta infraestructura fue construida durante las primeras etapas de la década de los noventas para apoyar la vocación agropecuaria cuando la tenía el rancho. Actualmente sirve como alojamiento y espacio de control para el personal responsable de la vigilancia, bodegas y mantenimiento del rancho. Los montos reflejados corresponden a inversiones graduales realizadas a lo largo de 33 años, con materiales y técnicas constructivas ajustadas a la funcionalidad requerida y al cuidado del entorno.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

II.1.3.1.3. Construcciones y servicios en la sección “La Laguna”

La Tabla siguiente (**Tabla II.4**) describe las inversiones realizadas en infraestructura y servicios en la sección conocida como “La Laguna”, incluyendo edificaciones, muelles, palapas, instalaciones de servicios y jardineras. Los montos indicados corresponden a inversiones graduales efectuadas a lo largo de 33 años y reflejan la integración de materiales y técnicas constructivas que permiten un funcionamiento adecuado de las instalaciones

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Observaciones

- Temporalidad: Los costos se distribuyen en más de tres décadas, por lo que los precios se ajustan a estimaciones promedio y no reflejan pagos exactos históricos.
- Material propio: La utilización de madera regenerada de los acahuales reduce significativamente los costos de construcción y mantenimiento.
- Variabilidad de costos: Precios de materiales y mano de obra pueden fluctuar, por lo que los montos presentados son referencias de planificación.
- Sostenibilidad: El uso de materiales naturales y técnicas de bajo impacto ambiental garantiza la integración armónica de la infraestructura al entorno y la conservación de los recursos regenerativos.

Uso de madera para mantenimiento y autoconstrucción

En las instalaciones de Los Rápidos se ha utilizado madera proveniente de la vegetación secundaria existente dentro del propio predio para atender necesidades de reparación, mantenimiento, sustitución de elementos deteriorados y autoconstrucción de infraestructura y componentes auxiliares.

El aprovechamiento ha sido puntual y de acuerdo con las necesidades de mantenimiento del sitio, utilizando únicamente los recursos maderables disponibles que resultan adecuados para estos fines. Esta práctica se encuentra vinculada al uso doméstico de los recursos forestales, conforme a lo establecido en el artículo 7, fracción LXXIX, de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, que contempla dentro de este concepto el aprovechamiento sin propósitos comerciales para satisfacer necesidades de vivienda y otras necesidades básicas.

Asimismo, el artículo 33 del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable establece que el aprovechamiento de recursos y materias primas forestales para uso doméstico no requiere autorización, salvo los casos previstos en las disposiciones aplicables. La madera obtenida del propio predio se ha destinado a la reparación y mantenimiento de las instalaciones existentes, así como a trabajos de autoconstrucción de letreros, cercos, contenedores para residuos, colgadores de chalecos e infarestructura similar, realizados en el mismo sitio.

De manera complementaria, cuando las necesidades de mantenimiento y construcción requieren madera adicional o de características específicas, ésta se adquiere a proveedores forestales formales. Parte de esta madera proviene del Ejido Noh Bec, y su traslado y procedencia se acredita mediante las remisiones forestales correspondientes, adquiridas por el prestador de servicios especializado.

II.1.3.1.4. Equipamiento

El equipamiento (**Tabla II.5**) de los balnearios constituye un componente esencial para su operación y para la prestación de servicios turísticos de calidad. A lo largo de los años, la inversión en mobiliario, sistemas de cocina y bar, vigilancia, energía, transporte acuático y áreas de servicio ha sido gradual y se ha complementado con renovaciones y mantenimiento constante.

Este apartado detalla los principales rubros de inversión en equipamiento, presentando los costos aproximados destinados a garantizar tanto la funcionalidad como la seguridad de las instalaciones.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

II.1.3.1.5.Operación

La operación de los balnearios (**Tabla II.6**) comprende el conjunto de actividades, recursos humanos y servicios necesarios para mantener la funcionalidad, seguridad y calidad de la experiencia de los visitantes. Incluye los costos asociados a personal, consumibles, traslado de agua tratada, mantenimiento de instalaciones, seguros y promoción. Los montos reportados reflejan una estimación anual promedio, considerando variaciones estacionales y eventos extraordinarios,

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Notas importantes:

- Las cantidades trataron de homologarse a valores aproximados para la Península de Yucatán en 2026 y pueden variar según proveedores y capacidad de equipos.
- La operación anual incluye salarios, consumibles, traslado de agua, servicios, mantenimiento, publicidad y seguros.
- La operación varía de temporada en temporada y ha variado a lo largo del tiempo, por lo que los montos expresados son promedio.
- La inversión inicial contempla equipamiento completo de todas las áreas de infraestructura, mobiliario, cocina, bar, oficinas, vigilancia, electricidad, taller, planta de tratamiento, habitaciones, área de caja, kayaks y pontón.

II.1.3.1.6. Inversión Consolidada

El equipamiento de ambos balnearios ha ido variando a lo largo de los años; se le da mantenimiento periódico y se han realizado cambios o mejoras conforme a las necesidades de operación y servicio (**Tabla II.7**). Los costos de operación presentados son aproximados, dado que no fue diseñado o construido como un proyecto lineal de turismo, sino que fue adaptándose de un rancho familiar a servicio de alimentos y balneario, poco a poco, de manera orgánica. Los costos calculados se presentan en tabla a parte dado que son montos recurrentes, promediados para los ultimos tres años, ya que pueden variar ampliamente según la temporada, la afluencia de visitantes y eventos extraordinarios (**Tabla II.8**).

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

II.1.3.1.7. Costos ambientales:

Para estimar la inversión destinada a medidas de prevención, mitigación o compensación ambiental, es importante señalar que estas acciones forman parte de los costos de operación del personal que actualmente trabaja en ambos balnearios, y no se contabilizan como un concepto aparte (**Tabla II.9**). Las obligaciones ambientales incluyen:

Capacitación permanente para personal

Como parte de los costos ambientales del proyecto, se implementa una estrategia de capacitación y comunicación ambiental dirigida al personal de Los Rápidos Lagoon Club y de las áreas operativas vinculadas con la laguna, mediante la difusión de infografías, materiales gráficos, instrucciones operativas y mensajes a través del grupo de WhatsApp denominado “LR ambiental y capacitación”.

Esta estrategia aborda temas relacionados con la conservación de la flora, fauna y ecosistemas de la Laguna de Bacalar y del canal de Los Rápidos, la importancia de los microbiolitos y tapetes microbianos, la identificación de posibles señales de contaminación, la separación y registro de residuos sólidos, la prevención de vertimientos y el manejo adecuado de las aguas residuales. La comunicación digital facilita la distribución de información, la atención de dudas, el reforzamiento de las buenas prácticas y el seguimiento de las observaciones ambientales del personal.

Los materiales de capacitación y las evidencias de comunicación se integran al expediente ambiental como parte de las acciones de prevención, sensibilización y mejora continua, contribuyendo a reducir los riesgos ambientales asociados con la operación del establecimiento y a fortalecer la participación del personal en la protección del entorno natural.

Sensibilización de visitantes

El personal operativo (meseros, encargados de kayaks, mantenimiento y otros) recibe la instrucción de recordar a los visitantes la importancia de no utilizar bloqueadores, bronceadores u otros químicos que afecten la salud de la laguna. Asimismo, se les explica la relevancia de proteger los microbialitos que se encuentran en el canal y en la laguna al norte del predio.

Supervisión de sistemas

El área de mantenimiento da seguimiento al correcto funcionamiento del sistema de tratamiento y disposición de aguas residuales, el cual se opera a través de camiones de empresas autorizadas.

Acciones de limpieza y seguridad

El personal levanta la basura que algunos visitantes dejan en las instalaciones o caminos de acceso, verifica el buen estado de los sistemas en funcionamiento y apoya en campañas de recolección de residuos. También se encarga de recalcar a los visitantes la necesidad de respetar los límites de velocidad en los caminos internos, los cuales, al ser de terracería permeable, han permitido evitar incidentes con fauna silvestre.

Prevención de riesgos ambientales

El personal de mantenimiento realiza rondines para prevenir connatos de incendios o en su caso desincentivar la extracción ilegal de materiales, reportando cualquier hallazgo para que la empresa pueda presentar la denuncia correspondiente.

Zonas de protección restringida

Existen áreas críticas como el cenote y el manantial que se mantienen cerradas al público por tratarse de ecosistemas frágiles. Aunque poseen un alto valor turístico, los propietarios han decidido no abrirlas al acceso general, limitando el ingreso únicamente a la persona responsable del área ambiental.

Conservación y señalización

Como parte del programa permanente de conservación ambiental, se han colocado señaléticas en distintas zonas de los balnearios. Además, el personal interviene cuando algún visitante, por desconocimiento o distracción, pone en riesgo los microbialitos u otros elementos naturales.

En conjunto, estas medidas -apoyadas también por algunos miembros del personal - entre los meseros, host y otro personal- permiten contar con un programa de conservación ambiental permanente, que integra la protección de los ecosistemas con las operaciones diarias de los balnearios.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

II.1.4 Urbanización y servicios

El predio cuenta con una infraestructura de servicios desarrollada de manera gradual y adaptada a las condiciones rurales del mismo. Dado que no existían servicios hace más de 30 años, no hay redes municipales de agua potable ni drenaje, los servicios fueron gestionados y construidos directamente por el propietario, garantizando así el funcionamiento de las áreas recreativas y operativas de ambos balnearios.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Rubro	Servicios existentes	Servicios construidos	Responsables de operación
Agua	Inicialmente se abastecía con pipas; lo que era costoso e ineficiente. Se solicitó concesión para extracción directa de la laguna.	Se contaba con un pozo en la zona agropecuaria, pero venció la concesión hace más de una década y no era para uso de un balneario. Redes internas de distribución de agua en baños, cocina y áreas de servicio, financiadas por el propietario.	Propietario
Electricidad	Conexión a la red pública.	Instalación de red y transformador realizada por CFE con inversión del propietario.	CFE (suministro) / Particular (construcción y operación interna).
Drenaje / Saneamiento	No existe red municipal.	Los Rápidos: planta de tratamiento y disposición mediante empresa autorizada. Se buscará tramitar un permiso de descarga como riego (tramitar ante CONAGUA, cumpliendo con la norma) para reducir emisión de polvo en el camino, a mediano plazo. La Laguna: extracción de aguas residuales con pipas, sin planta de tratamiento..	Propietario con apoyo de empresa de servicios

II.2 Características particulares del proyecto

La planeación, desarrollo y operación de Los Rápidos Lagoon Club (Canal de Xul Ha y La Laguna) ha sido orgánica, respondiendo progresivamente a las necesidades crecientes de una iniciativa que pasó de un rancho familiar agropeuario a una zona de restaurante / balneario reconocida y bien posicionada en la región. En el predio no se desarrollan actividades de uso habitacional permanente ni existen casas habitación. Se cuenta únicamente con unidades tipo departamento, que fueron utilizadas por el propietario original antes de 1992 como uso familiar y durante los primeros años despues de la adquisición del rancho con el mismo fin, por el propietario actual.

Al inicio del proyecto para familiares e invitados de los propietarios lso utilizaban para pernoctar, actualmente son utilizadas de forma accesoria para almacenamiento y estancia temporal de personal operativo de vigilancia (veladores) durante jornadas nocturnas. Esta iniciativa ha estado acompañada desde sus inicios por la aplicación progresiva de medidas ambientales orientadas a solucionar problemáticas especificas a medida que fueron presentándose, al final pudieron garantizar la compatibilidad del proyecto con el entorno natural y social. Estas acciones se han implementado de manera escalonada a lo largo de más de tres décadas.

Las medidas respondieron a necesidades específicas, con un enfoque de prevención, mitigación y compensación, priorizando la utilización de materiales locales y técnicas constructivas de bajo impacto, así como la instalación de infraestructura clave para el manejo responsable de los recursos, como la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Asimismo, se establecieron mecanismos de mantenimiento, y disposición adecuada de residuos, con la participación de personal operativo, consultores externos y autoridades ambientales competentes.

Los Rápidos Lagoon Club, Sección Canal de Xul Ha

La parcela conocida como Los Rápidos formaba parte originalmente de un conjunto de terrenos bajo régimen ejidal hacia finales de la década de 1980 e inicios de los años noventa, llamado

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

de ahí se llevó a cabo un proceso de solicitud de dominio pleno, acordado por la asamblea general del ejido Juan Sarabia (2006), pasó a ser propiedad privada (2012).

Originalmente, estas tierras estaban destinadas principalmente a actividades agropecuarias, vocación predominante del ejido en esa época, con presencia de cultivos básicos y cría de ganado. Para su aprovechamiento contaban con caminos internos que funcionaban como rutas saca cosechas y accesos entre potreros, de uso era estrictamente particular y no estaba orientado a actividades públicas. Tras la cesión del predio por nuevos propietarios (1992), el sitio se mantuvo en sus primeros años como un rancho familiar con vocación agropecuaria, conservando los caminos internos y utilizándolos en actividades productivas y de uso doméstico, sin finalidad turística a terceros.

De manera gradual y orgánica, el rancho fue incorporando actividades de carácter turístico, proceso que se detalla en el cronograma incluido más adelante en este capítulo. Sin embargo, es importante destacar que solo un porcentaje muy reducido de las 179.41 hectáreas del predio original, se encuentra actualmente destinado al turismo: poco mas de 6,000 m2 (0.37%), y a red de caminos permeables con 3.1 hectáreas (1.7%), mientras que el resto permanece como zona de amortiguamiento y conservación. En el caso particular de los caminos, se tomó la decisión de mantenerlos en estado permeable, evitando su pavimentación, con el propósito de preservar la capacidad natural de infiltración del suelo y la calidad ambiental del entorno.

La sección conocida como Los Rápidos, ubicada en la porción este del predio, colindante con el canal de Xul-Ha (Canal de Los Rápidos), cuenta con infraestructura establecieda principalmente sobre el antiguo trazo de un camino que fue construido entre los años 1992 y 1994 por el Gobierno del Estado de Quintana Roo, como parte del fallido proyecto de autopista entre Chetumal y Bacalar[4]. Este proyecto, posteriormente abandonado, dejó una franja lineal de terreno que ha sido aprovechada como acceso y base para la instalación de equipamiento turístico de bajo impacto, respetando el trazo original.

La zona se caracteriza por un polígono angosto que sigue el eje del antiguo camino, en una superficie aproximada de 2,960m2 , colindante en uno de sus extremos con el canal de Xul-Ha. A lo largo de este tramo, de oriente a poniente, se ha desarrollado una serie de estructuras construidas la mayoría con materiales naturales y de bajo impacto, como la madera, a fin de minimizar la alteración del entorno natural, particularmente en zonas de alta sensibilidad ecológica donde existen formaciones de microbialitos.

Las estructuras son (Ver Imagen Plano II.1, Plano en Anexos):

- Baños y departamentos (Departamentos 1 y 2).
- Mirador de madera, ubicado en el extremo sur-oriente del sitio, que funciona como punto escénico y de observación del canal.
- Andador elevado de madera, que recorre la colindancia con el canal. Una palapa mirador
- Comedor techado con terraza de madera tipo deck, que conecta con las áreas de recepción, oficina administrativa, cocina y bar.
- Área de lockers para los visitantes
- Palapa hamacas.
- Terraza-asoleadero de madera,
- Segunda palapa mirador techada con zacate.
- Edificio donde se encientra caja, recepción, bar, cocina y bodegas.

[4] Dictamen del informe de la Contraloría de Gobierno sobre la concesión de la obra vial Autopista Chetumal–Bacalar, fechado el 6 de enero de 1994 y Decreto 113, fechado el 23 de mayo de 1995 y publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado el 31 de mayo de 1995, en Anexos

- Planta de tratamiento de aguas residuales
- Estructura de paneles solares,
- Departamento 3
- Bodega de personal de mantenimiento
- Taller de mantenimiento
- Zona de PTAR (Los Rápidos)



Imagen Plano II.1. **Conjunto Los Rápidos.**

Los materiales se adquirieron en tiendas especializadas. La madera utilizada se adquirió del ejido Noh Bec, que cuenta con uno de los programas de manejo forestal mas renombrados en el sureste de México y proporciona la documentación legal necesaria. La palizada y madera rolliza se obtuvo del mismo terreno que cuenta con al menos 90 hectáreas de acahuales donde solían estar los potreros y zonas agropecuarias. Cada uno de estos componentes será descrito con mayor detalle en las subsecciones siguientes, acompañados de planos y fotografías que permitan valorar su escala, función, y compatibilidad con el entorno ecológico y paisajístico de Los Rápidos en la zona del Canal de Xul Ha (en esta sección también conocido como el Canal de Los Rápidos).

Como parte del proceso de operación continua del sitio y en atención a las condiciones ambientales observadas, así como a recomendaciones técnicas, se implementaron diversas acciones de adecuación operativa dentro de las áreas previamente intervenidas del proyecto.

Estas acciones tuvieron como objetivo principal:

- Reducir impactos asociados al tránsito desordenado de visitantes

- Proteger elementos ecológicos sensibles, particularmente zonas con presencia de microbialitos
- Mejorar las condiciones de seguridad para los usuarios
- Optimizar la funcionalidad de las áreas de servicio existentes

Las adecuaciones realizadas se caracterizan por:

- Uso de materiales naturales (principalmente madera)
- Sistemas constructivos ligeros y reversibles (estructuras piloteadas sin cimentación rígida)
- Ubicación dentro de áreas previamente utilizadas o intervenidas
- Ausencia de incremento en la huella total del proyecto

Entre las principales acciones implementadas se encuentran:

- Instalación de andadores elevados para canalizar el flujo de visitantes y evitar el pisoteo directo sobre zonas sensibles
- Reconfiguración de terrazas y áreas de estancia para concentrar la carga de uso en espacios controlados
- Incorporación de infraestructura auxiliar móvil o de bajo impacto (sombras, accesos, señalización)

En particular, el andador elevado constituye una medida de manejo ambiental relevante, ya que permite disminuir la compactación del suelo y la erosión, evitar el contacto directo con formaciones microbialíticas, ordenar el acceso al canal en puntos específicos y reducir riesgos de accidentes asociados a superficies resbalosas. En conjunto, estas acciones no representan ampliaciones del proyecto, sino medidas de ajuste y manejo dentro de su configuración existente, orientadas a mejorar su desempeño ambiental y operativo.

Baños y departamentos



Foto II-1. Baños y Departamentos

Se localiza al costado izquierdo entrando a las instalaciones **(Foto II.1. y Foto II.2; Plano II.2: Baños y Departamentos**. Los Rápidos, ver Anexos: Plano Arquitectonicos Departamentos y baños y Fachadas y Cortes Departamentos y baños).

Este edificio se construyó alrededor del año 1992 y se terminó alrededor de 1996, comenzó como una casa familiar con un par de habitaciones para que la familia se hospedara mientras visitaban la zona del canal, con el tiempo fue modificándose para ir acoplándose a las nuevas necesidades de visitantes.

Finalmente, la planta baja del edificio se utiliza con una vocación mixta, integrando dos funciones claramente diferenciadas pero complementarias: una zona de servicios sanitarios de acceso público y un módulo habitacional tipo departamento.

Los departamentos tienen la función de albergar a usuarios cotidianos al tiempo que se genera un espacio habitable flexible que permite recibir trabajadores, consultores, familiares o amigos que tengan que pernoctar, dado que las instalaciones no ofertan servicio nocturno. La estructura presenta una altura máxima de 4.00 metros hasta la cumbrera y una altura de desplante de muros de 2.20 metros, lo que garantiza que la obra mantenga un perfil bajo, minimizando la intrusión visual en el paisaje natural.



Foto II-2. Sanitarios.



Foto II-3. Planta Baja. Departamento 1. Área de vigilante

Planta baja

Área de Servicios Sanitarios

Ubicada en el sector oriental del edificio, en la primera planta; esta zona está compuesta por un conjunto de baños para hombres y mujeres (**Foto II.2**, **Imagen Plano II.2: Baños y Departamentos. Los Rápidos**, **Plano** en Anexos Plano Arquitectónicos Departamentos y baños y Fachadas y Cortes Departamentos y baños).

Baños de mujeres: El acceso se realiza a través de una puerta de 1.02 metros de ancho, que garantiza un flujo cómodo y accesible. En el interior, se disponen seis cubículos individuales equipados con inodoros, alineados de manera eficiente para facilitar la circulación. Este cubículo tiene una medida de 3.48m de rente por 4.45m de fondo.

Baños de hombres: Este módulo tiene acceso independiente por una puerta de 1.00 metro de ancho. Su distribución incluye dos cubículos con inodoros, dos urinarios montados en pared y tres lavabos.

El diseño busca eficiencia en el uso del espacio, al mismo tiempo que asegura privacidad y accesibilidad. Las medidas de este baño son 2.47m de frente por 4.45m de fondo.

Departamento 1 Primera planta

Del lado occidental del edificio (lado derecho del plano), se desarrolla un módulo habitacional compacto (5.85m de frente x 4.45m de fondo), pero funcional, que originalmente funcionaba como habitación principal para que la familia pernoctara cuando visitaba la zona y que fue adaptándose al final para ser utilizado por visitantes temporales, principalmente empleados (**Foto II.3**, **Plano II.2: Baños y Departamentos. Los Rápidos**, Ver anexos: Plano Arquitectonicos Departamentos y baños y Fachadas y Cortes Departamentos y baños) dado que no hay servicio de hospedaje regular o pernocta en el sitio. Esta unidad ofrece autonomía respecto al resto del edificio y una distribución que aprovecha eficientemente el espacio disponible. Se trata de un departamento compuesto de una zona de descanso, una cocineta y un baño (que incluye sanitario, lavabo y regadera). Actualmente se utiliza como área del vigilante.

Departamento 2. Segunda Planta

En la segunda planta del edificio se ubica un departamento independiente, diseñado para brindar privacidad y autonomía a sus ocupantes (**Foto II.4**, **Plano II.2: Baños y Departamentos. Los Rápidos** Ver anexos: Plano Arquitectonicos Departamentos y baños y Fachadas y Cortes Departamentos y baños**)**. El acceso a este espacio se realiza mediante una escalera exterior ubicada en el costado oriental del inmueble, lo que permite una circulación completamente segregada respecto a las funciones que se desarrollan en planta baja. Esta escalera conduce directamente a un porche de acceso que marca el umbral de entrada al conjunto habitacional.



Foto II-4. Departamento 2 en segunda planta del edificio de departamentos y baños

El cuerpo principal del departamento ocupa una superficie de 26.59 m², con dimensiones generales de 5.16 metros de ancho por 5.15 metros de fondo. Su altura libre alcanza los 3.80 metros, lo cual genera un ambiente amplio y bien ventilado. La distribución interior contempla una zona general multifuncional (que puede adaptarse como sala-comedor o dormitorio), una cocina integrada y un baño completo

El porche de acceso se encuentra dirigido hacia el oriente y cuenta con una superficie aproximada de 5.16 m²**,** con 1.72 metros de ancho por 6.88 metros de largo**,** y una altura libre de 2.85 metros. Este espacio cubierto sirve como antesala al departamento, proporcionando protección contra las inclemencias del clima y funcionando como área de estancia o transición exterior-interior. El techo está resuelto mediante una estructura de madera y paja, lo que le confiere una estética cálida, vernacular y perfectamente integrada al entorno.

Desde el interior del recinto a través de la circulación perimetral, se accede a una terraza ubicada al norte, con una superficie útil de aproximadamente 5.58 m², con dimensiones de 2.08 metros de ancho por 3.50 metros de largo y una altura de 3.20 metros. Esta terraza proporciona iluminación natural, ventilación cruzada y una zona ideal para actividades recreativas o contemplativas.

Su disposición estratégica ofrece vistas hacia el patio posterior o elementos naturales del predio. El baño cuenta con una superficie de 4.16 m² (1.60 m x 2.60 m), y está equipado con regadera, sanitario y lavabo, distribuidos de forma funcional para maximizar el confort y la eficiencia en su uso. El espacio se encuentra ventilado naturalmente, lo que garantiza condiciones óptimas de higiene y habitabilidad.

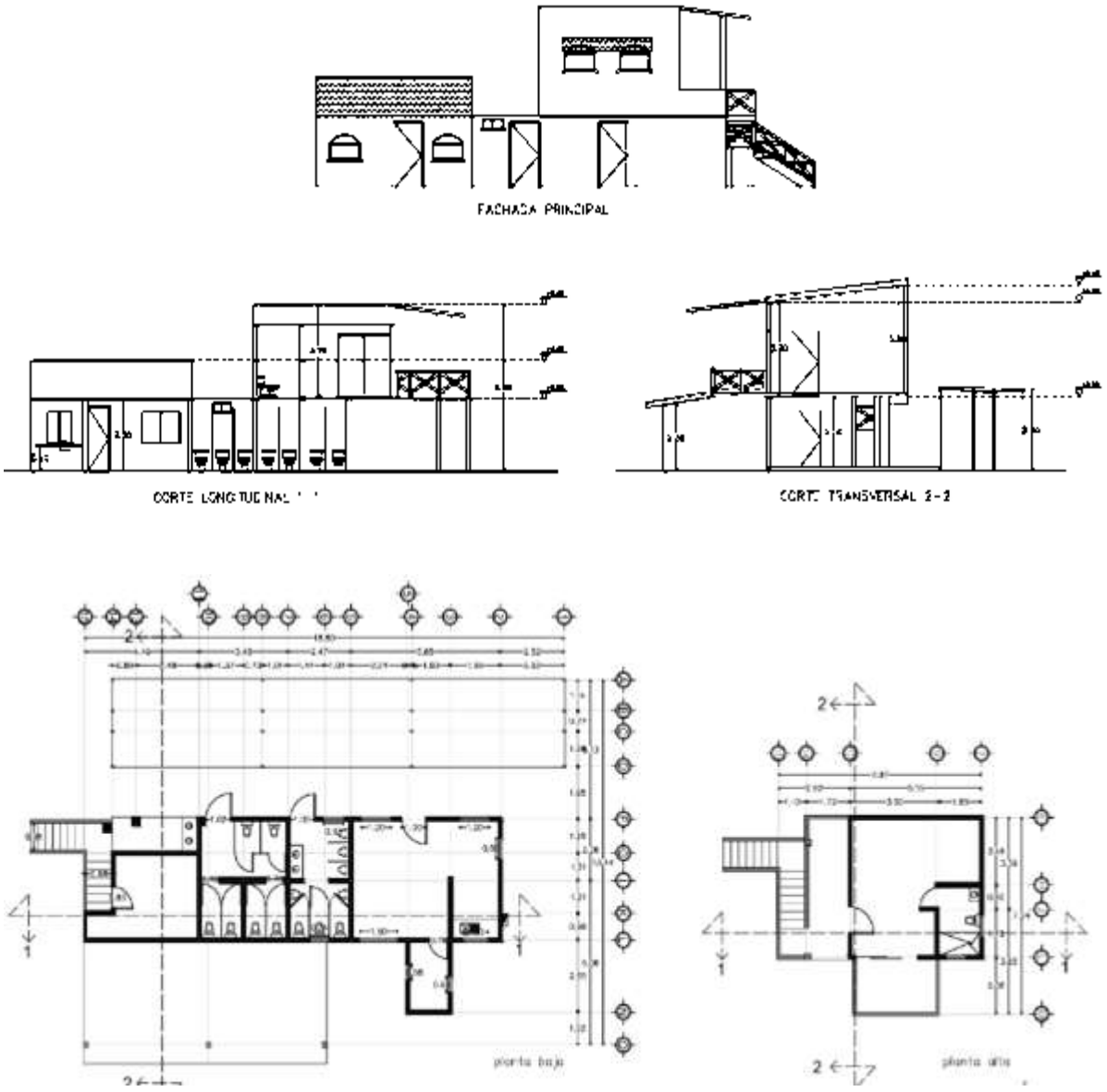


Imagen Plano II.2. **Área de servicios sanitarios.y departamento en primera planta. Ver Anexos Plano Arquitectonicos Departamentos y baños y Fachadas y Cortes Departamentos y baños**

Cimentación

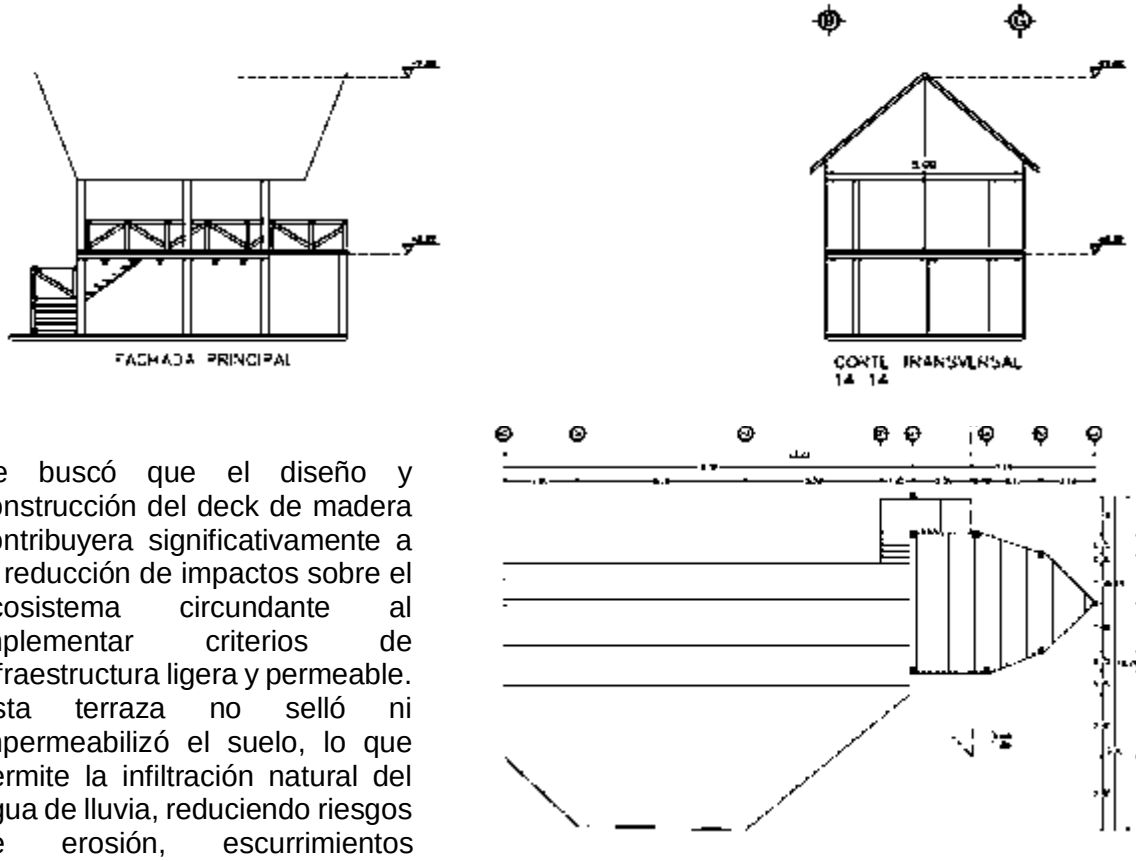
Aunque la construcción se levantó hace más de 25 años, el propietario es ingeniero civil, y l sistema de cimentación, tal como se detalló en el plano estructural, se ejecutó para establecer una base firme y segura para el proyecto de casa familiar de fin de semana que terminó convirtiéndose en el edificio de los baños y departamentos.

Palapa Lagunita



Foto II-5. Deck asoleadero, vista poniente - oriente.

Ubicada en el extremo norte del polígo no, esta estructura forma parte del conjunto de áreas de uso anexas al restaurante **(Fotos II.5, II.6 y II.7; Imagen Plano II.3: Palapa Lagunita,** Ver anexos: Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes). Consiste en una terraza de madera tipo deck, utilizada como terraza asoleadero y base para una palapa de dos niveles con 2.37 m en el primer nivel y con un segundo nivel para llegar a una altura de 7.42m, que funciona a la vez como mirador. La terraza tiene una superficie aproximada de 23.20 metros de largo por un promedio de 12.7 metros de ancho, y se construyó sobre terreno firme, sin utilizar concreto, apoyándose completamente en pilotes de madera, con el fin de minimizar el impacto sobre el suelo natural y favorecer la filtración del agua de lluvia.



Se buscó que el diseño y construcción del deck de madera contribuyera significativamente a la reducción de impactos sobre el ecosistema circundante al implementar criterios de infraestructura ligera y permeable. Esta terraza no selló ni impermeabilizó el suelo, lo que permite la infiltración natural del agua de lluvia, reduciendo riesgos de erosión, escurrimientos superficiales y pérdida de capacidad de recarga hídrica.

Imagen Plano II.3. **Palapa Lagunita. Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes**

El uso de pilotes de madera sin cementante, utilizado como sistema de soporte eliminó la necesidad de excavaciones profundas o cimentaciones rígidas, lo que se tradujo en una alteración mínima del

suelo natural y evito la compactación excesiva que podría afectar la aireación y el desarrollo de la vegetación en la periferia.



Foto II-6. Deck asoleadero, vista sur a norte

Al elevarse sobre el nivel del terreno, el deck también mantiene la continuidad ecológica del entorno, permitiendo el flujo natural de fauna pequeña y el crecimiento de la vegetación baja su estructura. Además, al integrarse como asoleadero y área de descanso, concentra la estancia de los visitantes en un espacio delimitado, lo que disminuye la dispersión del pisoteo y con ello el deterioro del suelo y la vegetación aledaña.

De manera complementaria, la estructura cumple una función ambiental adicional al generar sombra y refugio en el canal adyacente, lo que contribuye a la regulación térmica del agua en áreas puntuales. Este efecto resulta benéfico para las comunidades de especies acuáticas, reduciendo el estrés térmico y favoreciendo la disponibilidad de microhábitats esenciales para la biodiversidad local.



Foto II-7. Detalle Deck asoleadero y Palapa

La estructura de la palapa está fabricada completamente en madera de Tzalam resistente a la intemperie, y su diseño contempla una planta baja techada y una planta alta tipo mirador, lo que permite una vista panorámica del entorno sin afectar la cobertura vegetal o la integridad de los elementos geológicos presentes. Esta instalación constituye un componente clave dentro del diseño paisajístico del balneario, integrándose armónicamente con el medio natural. A pesar de que son solo piedras, los microbialitos de esta zona no fueron tocados.

La construcción del deck y asoleadero con una palapa elevada de dos niveles respondió a la necesidad de resolver dos problemáticas ambientales y operativas en los extremos oeste y noreste del polígono del balneario Los Rápidos. Estas infraestructuras se concibieron como elementos de ordenamiento del uso turístico, protección de las formaciones rocosas y los tapetes de microbialitos, y vigilancia de las actividades que se desarrollaban en el entorno inmediato del establecimiento.

En la porción noroeste, una de las principales dificultades era, y continua siendo, la presencia recurrente de embarcaciones y visitantes ajenos al balneario que ingresaban al canal, anclaban en las inmediaciones y caminaban sobre las formaciones rocosas situadas hacia el noreste del polígono.

A ello se suma el tránsito de usuarios procedentes de otros establecimientos turísticos que utilizan la zona federal (el humedal y el canal del límite del predio) para desplazarse hacia el sur y después dejarse llevar por la corriente del canal en dirección norte. Algunos de estos visitantes acceden a través de los humedales, entre los manglares y sobre las piedras, apoyándose en las raíces y ramas de la vegetación para avanzar. Aunque el libre tránsito por la zona federal debe distinguirse del acceso a las instalaciones privadas y del consumo de servicios del balneario, estas dinámicas generan dificultades para el control de los usuarios, riesgos para la vegetación y las formaciones

naturales, y una presión mediática que frecuentemente atribuía al establecimiento la responsabilidad por actividades realizadas por personas que no eran clientes del establecimiento.

La segunda problemática se localiza en la porción noreste del polígono, donde existía un área con formaciones de microbialitos y una zona de pasto utilizada por los visitantes para sentarse, descansar y tomar el sol. La proximidad entre el espacio de recreación y las formaciones rocosas favorecía que algunas personas caminaran o se recostaran sobre ellas, provocando situaciones de riesgo para estas estructuras naturales y generando quejas y señalamientos públicos sobre su posible deterioro.

Ante estas circunstancias, se determinó construir una plataforma elevada tipo deck, con un área de asoleadero y una palapa de dos niveles. La intervención buscó ofrecer a los visitantes un espacio definido para permanecer y observar el entorno sin necesidad de ocupar directamente las superficies rocosas. Al elevar la estructura sobre pilotes, se procuró reducir la ocupación directa del terreno y establecer un punto de estancia diferenciado de las áreas naturales que requerían mayor protección. La plataforma también permitió concentrar parte de las actividades recreativas en un espacio acondicionado para ese propósito, disminuyendo la necesidad de que los usuarios se dispersaran sobre las formaciones rocosas.

La altura de la palapa proporcionó, además, un punto de observación con mayor alcance visual hacia las áreas exteriores del balneario, particularmente hacia el sector noreste, donde se presentaban los conflictos asociados con embarcaciones, visitantes externos y el tránsito de personas sobre las piedras.

Esta función adquirió relevancia para la vigilancia cotidiana del entorno, la identificación de situaciones de riesgo y la atención de incidentes relacionados con usuarios que eran arrastrados por la corriente del canal hacia el norte. Cuando se detectaban embarcaciones ancladas o personas realizando actividades potencialmente perjudiciales para las formaciones naturales, el personal podía intervenir mediante avisos y, cuando correspondía, reportar los hechos a la Capitanía de Puerto. De esta manera, la infraestructura contribuyó a diferenciar las actividades bajo control del establecimiento de aquellas que se desarrollaban fuera de su operación directa, pero de la que se nos hace responsables.

Terraza anexa al comedor y mirador elevado (Palapa salida)



Al sur de la palapa principal del comedor, colindante con el canal de Xul-Ha, se encuentra una terraza palapa anexa que cumple funciones complementarias al área de consumo de alimentos (Ver **Fotos II.8**, **II.9** y **II.10**; **Imagen Plano II.4: Extensión restaurante,** Ver anexos: Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes).

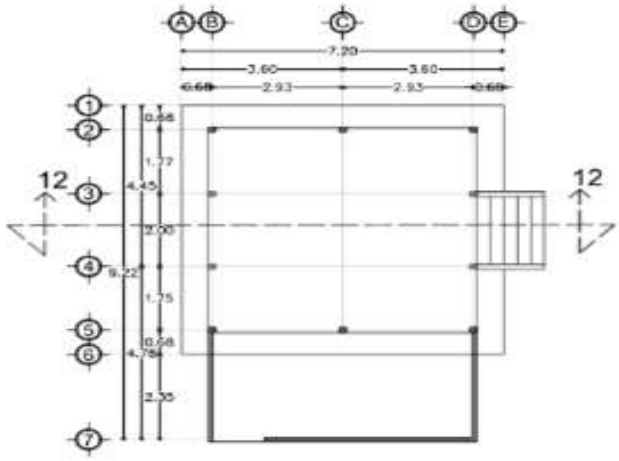


Imagen Plano II.4. **Palapa salida. Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes**

Se le conoce como la Palapa de salida a los microbialitos (porque en la laguna de Bacalar no existen microbialitos). Esta estructura cuenta con una dimensión principal de 5.84 m por 5.52 m, a la que se suma una terraza adicional de 2.35 m por 5.84 m, generando un área total techada de aproximadamente 38 metros cuadrados, incluyendo los aleros de la cubierta.

La estructura se encuentra elevada sobre pilotes de madera, sin interrumpir el flujo de agua que corre por debajo de la estructura. Desde esta terraza parte un andador elevado de madera, con forma de “L”, que se proyecta hacia el oriente y luego al sur.

Este andador / mirador tiene 1.5 metros de ancho por 15 metros de largo, y conecta con el andador elevado de madera que bordea la zona litoral del canal de Xul-Ha, hacia el sur.



Foto II-8 Detalle Palapa salida, escalera de acceso desde el restaurante





Foto II-9. Detalle de andador mirador



Foto II-10 Detalle techo de la palapa

Andador elevado zona litoral

El diseño de este andador y su integración con el paisaje fueron desarrollados tomando en cuenta las recomendaciones de la bióloga especialista en estromatolitos Dra. Luisa Falcón, quien en 2015, sugirió construir un andadorde este tipo, con el uso exclusivo de materiales naturales y pilotes sin concreto para garantizar la mínima intervención sobre el ecosistema acuático (**Fotos II.11 y 12; Imagen Plano II.5: Andador elevado zona Litoral los Rapidos**, Planos en Anexos) .

Los rápidos han sido un sitio atractivo y diferenciado como producto turístico durante al menos diez años. A lo largo de este tiempo, diversos grupos ambientalistas, autoridades y grupos de choque con intereses particulares promovieron un discurso alrededor de los microbialitos de la Laguna de Bacalar, identificados erróneamente como estromatolitos, buscando establecer un control sobre estos ecosistemas mediante proyectos de investigación y programas internacionales, y un área natural protegida, con fines que beneficiaban sus propios intereses. No obstante, un movimiento social y comunitario evitó que estas iniciativas se concretaran.

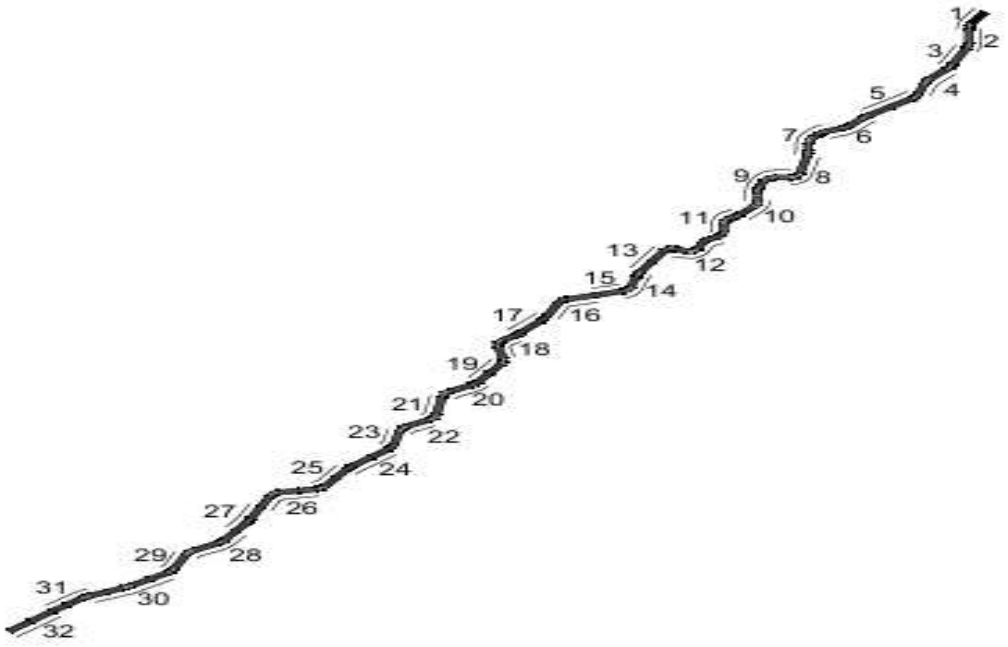


Imagen Plano II.5. **Andador elevado zona litoral, los Rápidos. Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes**

Alrededor del año 2015, un grupo de promotores y académicos, entre ellos la doctora Luisa Falcón, especialista en genética de microorganismos formadores de piedras, así como algunos funcionarios del gobierno municipal durante la administración de Eduardo Espinoza Abuxapqui, visitaron el predio y realizaron una prospección del sitio. Sugirieron la urgencia de crear corredores o miradores para evitar que las personas “pisaran” las piedras, y expresaron su intención de establecer un parque acuático o un área natural protegida bajo administración gubernamental. Ante la aclaración de que el predio colindante con el canal era privado, manifestaron su decepción y comenzaron a presionar para alcanzar sus objetivos, recurriendo incluso a estrategias mediáticas para influir en la opinión pública.

A pesar de los esfuerzos por conservar el sitio, limitar el acceso y proteger los ecosistemas, los ataques y críticas hacia el balneario y el rancho han continuado.

La dinámica de la corriente del canal, que va de sur a norte, obligaba a los visitantes a desplazarse de manera cuidadosa caminando sobre un sendero hacia el sur, para lanzarse al agua y regresar con la corriente, práctica que se mantiene hasta la fecha.Para evitar erosionar el atolon debido al tránsito de visitantes, al estar construido de sedimentos y carbonato de calcio y siguiendo las recomendaciones de la propia doctora Falcón, se levantó un andador alejado de la orilla y de los tapetes microbialíticos en la orilla, en la zona poniente más cercana al pantano. Esta medida ha

resultado altamente efectiva, ya que ha prevenido la erosión de las piedras, favorecido la acumulación de sedimentos y mejorado la biodiversidad local, al reducir el tránsito directo de personas sobre los atolones.



Foto II-11. Detalles del andador elevado en la zona del canal de Xul Ha (tramo o sección Los Rápidos



Foto II-12. Detalle del andador elevado. Foto dron

Además, redujo significativamente los incidentes de visitantes resbalando sobre el tapete microbilaítico. Porque uno de los aspectos críticos de los tapetes microbialíticos, poco difundido, es que presentan una superficie extremadamente resbalosa. En toda la Laguna de Bacalar, los accidentes de visitantes y locales relacionados con esta característica son frecuentes. Por esta razón, resultaba prioritario implementar medidas que salvaguardas en la integridad física de los visitantes, sin comprometer la conservación de los ecosistemas.

El diseño del andador con tablas separadas aproximadamente una pulgada permite que la luz solar penetre, y aunque inicialmente no existían tapetes microbialíticos activos bajo el área donde se estableció el corredor, a la fecha, despues de 5 años los pilotes, y la zona en contacto con hasta los tapetes microbialíticos debajo de la estructura, lo que ha resultado efectivo toda vez que los tapetes han migrado hacia los pilotes donde colonizaron y crecen de manera activa. Esta separación asegura que los microorganismos continúen recibiendo irradiancia suficiente para su actividad fotosintética, ya que estudios muestran que las cianobacterias pueden tolerar cierta reducción de luz sin comprometer su funcionalidad (González & García-Pichel, 2023; Sinha & Häder, 2008).

De esta manera, el andador de madera constituyó una solución equilibrada que combina conservación, protección de la integridad física de los visitantes, y de los microbialitos trombolíticos del canal, asegurando que el ecosistema continúe su desarrollo natural mientras los visitantes interactúan de forma controlada con el entorno (Ver . Método de selección del área para la

instalación de un andador elevado de madera sobre el atolón de microbialitos en Los Rápidos, en Anexos)

La ubicación estratégica del andador, entre la orilla del canal, la roca caliza y la zona pantanosa, asegura que los impactos sobre el suelo, la vegetación y los tapetes microbiolíticos se mantengan al mínimo, permitiendo un acceso controlado al canal sin comprometer los procesos ecológicos y geológicos del área. La inclusión de accesos intermedios a lo largo del recorrido facilita la distribución del flujo de visitantes, evitando la concentración en puntos críticos y reduce el riesgo de desgaste localizado sobre las formaciones sensibles. Esta estrategia contribuye a la conservación de la biodiversidad y de los procesos ecológicos locales, proporcionando seguridad y accesibilidad a los usuarios sin comprometer la integridad del ecosistema

El andador elevado fue construido con materiales locales, principalmente madera dura utilizada para muelles, de la región (Tzalam) , y cuenta con las siguientes características: Ancho: 80 centímetros y Longitud total: 175 metros. Es una estructura: piloteada sin uso de concreto, manteniendo suficiente elevación para evitar contacto directo con las formaciones sensibles del canal. Sus cokindancias:

- Al este, la orilla del canal con tapetes microbiolíticos activos.
- Al centro, la roca caliza expuesta sin presencia de tapetes.
- Al oeste, una zona pantanosa rica en materia orgánica, poco apta para tránsito peatonal.

A lo largo del recorrido, el andador cuenta con tres salidas o accesos intermedios que permiten a los visitantes ingresar o salir del canal sin necesidad de recorrer toda la longitud de la estructura. Esta distribución facilita un uso más equitativo y evita la concentración de personas en un solo punto.

Recepción, Oficinas y Cocina, Bar

El edificio principal (**Fotos II.13 a II.17, Imagen Plano II.6 Recepción, Oficinas y Cocina, Bar,** Plano en Anexos) de esta sección se concibe como un centro operativo y de atención al visitante. Alberga funciones esenciales tanto para la g estión administrativa como para el servicio de alimentos y bebidas, y constituye el núcleo funcional del conjunto. Su diseño y construcción buscan armonizar con el entorno natural, minimizando el impacto ambiental sin comprometer la operatividad.

La edificación cuenta con una superficie construida de aproximadamente 392 m², distribuida en una planta rectangular de 23.0 metros de largo por 11.18 metros de ancho. Se organiza en varias secciones funcionales que operan de manera integrada pero con espacios definidos



Foto II-13 Recepción

Recepción

Dimensiones: 5.60 m x 7.93 m. Se trata del área de atención al público. Dentro de este espacio se encuentra integrada una sección cerrada para la caja, con dimensiones de 3.08 m x 2.94 m, que permite el manejo de ingresos y control de accesos con seguridad. Las divisiones internas se realizaron con madera tratada y tablaroca, manteniendo la estética rústica y funcional.



Foto II-14 Bar

Bar

Dimensiones: 3.06 m x 2.90 m. Es una barra destinada al servicio de bebidas, construida con base de concreto y cubierta de mad era, ubicada estratégicamente para complementar tanto el área de comedor como las terrazas exteriores. Cuenta con instalaciones básicas para refrigeración, fregadero y almacenamiento.

Cocina principal

Dimensiones: 8.52 m x 7.91 m. Esta área está diseñada para la preparación profesional de alimentos, equipada con mobiliario de acero inoxidable, una cámara fría y barra de trabajo de concreto.



Foto II-15 Cocina

Las paredes están revestidas con tablaroca de tipo retardante al fuego, como medida de seguridad y conforme a la normatividad en instalaciones alimentarias. El techo a dos aguas favorece la ventilación y evita acumulación de calor.

Área de trabajadores (descanso y almacenamiento personal)

Dimensiones: 2.96 m x 1.97 m. Es un espacio sencillo, diseñado para que el personal de servicio pueda tomar alimentos, descansar brevemente o almacenar pertenencias personales como mochilas o maletas.



Foto II-16 Área administrativa

Área administrativa

Dimensiones: 2.90 m x 5.90 m . Este espacio cerrado con muros de madera y tablaroca se destina a la gestión operativa del balneario, con mobiliario de oficina básico, conexión eléctrica y acceso restringido al personal autorizado.

Bodega 1, Lavado de platos.



Foto II-17Área de lavado de platos

Dimensiones: 3.06 m x 7.21 m. Posee un cuarto adicional para almacenamiento. Utilizada para el almacenamiento de in sumos no perecederos, materiales de limpieza y utensilios del restaurante.

Zona de meseros y lavado de platos.

Dimensiones: 6.20 m x 8.40 m. Esta zona cumple funciones de entrega de trastes sucios al área de lavado de trastes, se usa también para almacenar equipo de mantenimiento general y acceso a la bodega de insumos.



Foto II-18. Área de meseros

El edificio fue construido sobre una base de piedras sobre el área compactada de la antigua carretera que se rellenó en el proyecto de 1992. Toda la superestructura estaba hecha con columnas de madera en su mayoría pero se deterioraban con facilidad y fueron sustituidas a lo largo de los años con columnas vaciadas más resistentes, dado que el techo esta fabricado con madera o vigas metállicas lo que se facilitó dado que las tejas están fabricadas con materiales ligeros.

El techo a dos aguas fabricado con estructura de madera y cubierta impermeabilizante (lámina) permite un drenaje adecuado y ofrece ventilación natural a los espacios interiores.Las divisiones internas para áreas sensibles como la oficina administrativa, caja y cocina están realizadas en tablaroca y madera, buscando mantener la seguridad estructural sin comprometer el diseño ecológico.

Comedor del Restaurante (Palapa Principal)



Foto II-19 Detalle del techo de papalpa, construida con materiales de la región



Foto II-20 Detalle de palapa comedor

El comedor del restaurante está constituido por una palapa principal de gran formato **(Fotos II.19 y II.20**, **Imagen Plano II.7 Restaurante,** Plano en Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes), diseñada para brindar servicio de alimentos en un entorno abierto, fresco y en armonía con el paisaje natural circundante. Su construcción sigue principios de arquitectura tradicional de la región, utilizando materiales locales y técnicas de bajo impacto ambiental.

La estructura presenta unas dimensiones totales de 11.00 metros de ancho por 16.10 metros de largo, incluyendo los alerones o volados de techo que proporcionan sombra adicional y protección contra la lluvia. La dimensión de luz libre interna, es decir, el espacio útil sin considerar alerones, es de 14.30 metros por 9.20 metros, lo que permite una distribución eficiente de mesas, pasillos y áreas de tránsito.

La palapa está construida completamente con madera. El techo está formado por una estructura de madera y de zacate entretejido que proporciona ventilación natural, aislamiento térmico y una integración visual con el entorno ecológico.La edificación se encuentra montada sobre una plataforma elevada, con una altura promedio de 40 centímetros sobre el nivel natural del terreno, lo que permite aislarla de la humedad

del suelo y reduce el riesgo de encharcamientos. Esta plataforma está piloteada con madera, sin uso de concreto, en coherencia con una estrategia de construcción de bajo impacto ambiental.

La edificación del restaurante se concibe como una estructura destacada, con una huella arquitectónica que abarca aproximadamente 16.17 metros de longitud y 11.00 metros de ancho , según se detalla en la Planta Arquitectónica a escala 1:100.

El diseño se caracteriza por su elevación sobre el nivel de referencia, siendo el Nivel de Piso Terminado (N.P.T.) del área principal de comedor o servicio ubicado a +2.00 metros. Esto le confiere una posición elevada, ideal para un entorno que requiere vistas panorámicas (posiblemente debido al nombre "Los Rápidos") o protección contra crecidas.

La altura máxima de la estructura, vista en la fachada principal y en el corte longitudinal , alcanza una cota de +6.50 metros en la cubierta. Esta altura, combinada con una cota intermedia de +2.80 metros (la altura del faldón de la cubierta o la viga perimetral), muestra un diseño de gran volumen interior y de impacto visual significativo.

La distribución interna se articula mediante una modulación clara, definiendo espacios con dimensiones específicas como el eje principal con una longitud de 4.60 metros y ejes transversales que modulan el espacio con medidas de 5.30 metros , 4.40 metros , y 4.80 metros donde se acmodan las mesas del comedor principal. Hay un cambio de nivel interno en la planta arquitectónica, marcado por la cota +0.90, es un escalón que delimita este comedor como una terraza elevada.

El espacio del comedor funciona como zona principal de consumo de alimentos, y puede configurarse con mesas individuales, familiares o comunales, según la afluencia y el tipo de servicio. Su diseño abierto, sin muros cerrados, favorece la ventilación cruzada y permite a los visitantes disfrutar de una experiencia gastronómica al aire libre, resguardados del sol y la lluvia.

Deck elevado y zona de vestidores

Entre el área del comedor (palapa principal) y el edificio que alberga la cocina, recepción y caja, se encuentra una terraza elevada tipo deck (**Fotos II.21,** Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes**)**. Construido íntegramente con madera dura, material característico de la región por su durabilidad y estética natural. Esta plataforma tiene una superficie aproximada de 140 metros cuadrados y adopta la forma de un trapecio irregular, adaptándose a las condiciones topográficas y al diseño arquitectónico general del sitio.



Foto II-21. Detalle del deck y vestidores

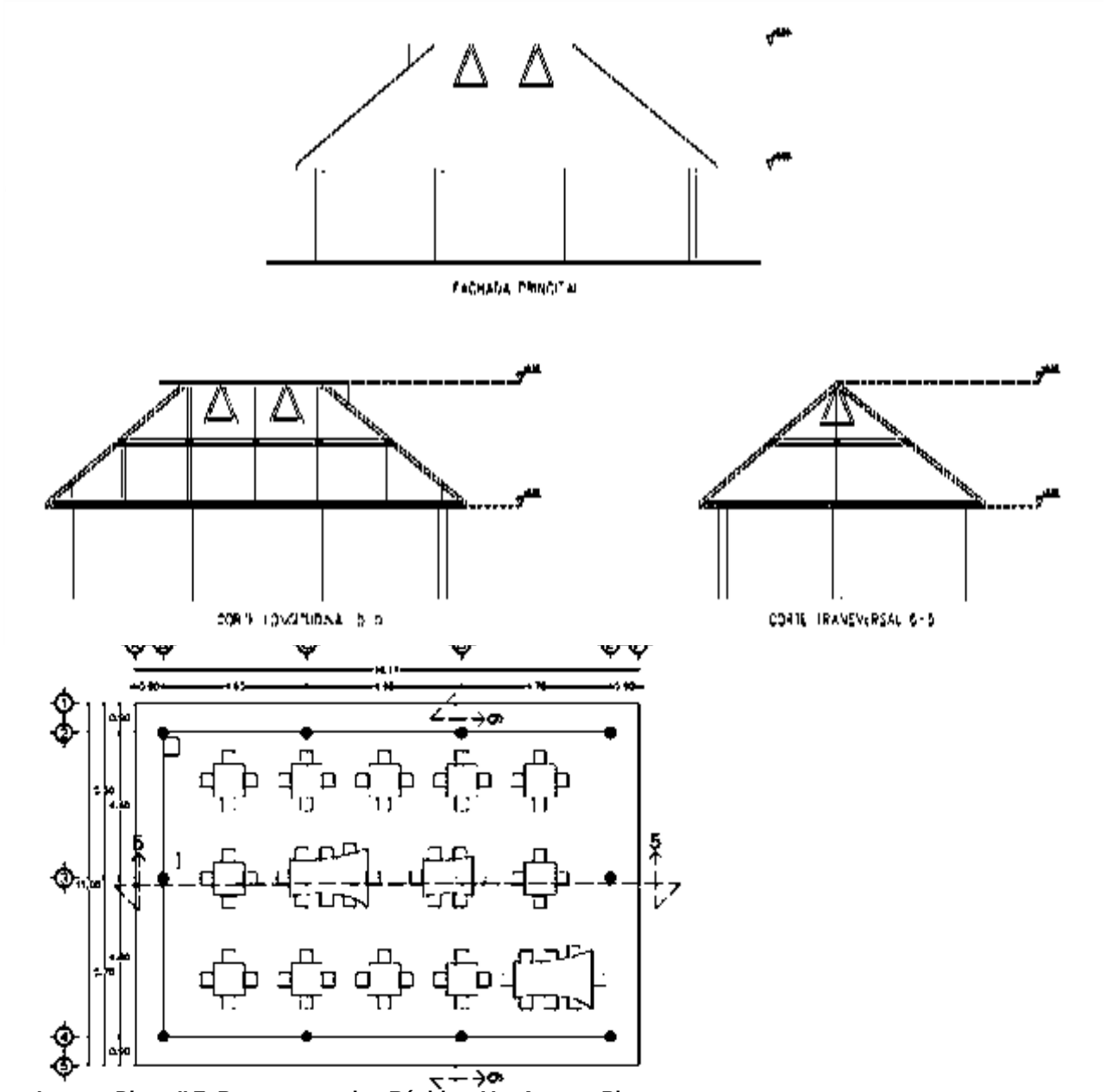
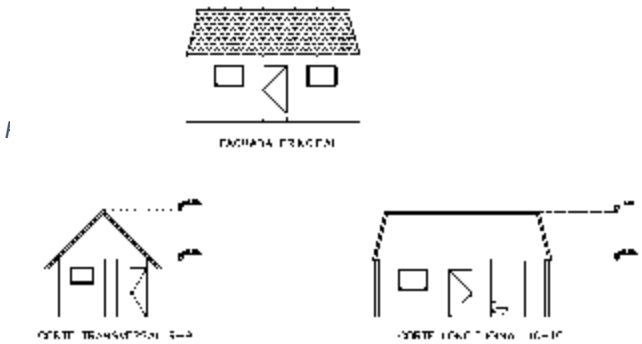


***Imagen Plano II.7. Restaurante*, los Rápidos. Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes**

El deck elevado cumple una función versátil dentro del conjunto: En periodos de alta afluencia, se habilita como área adicional para comensales, colocándose sobre él mesas y mobiliario temporal.Además, sobre esta plataforma se encuentra la zona de vestidores, pensada para uso de los visitantes.

Los vestidores están construidos también con materiales locales como palizada en concordancia con el estilo arquitectónico general. Se trata de dos pequeños módulos de forma cuadrada, con techo de lámina semitransparente plástica, y con una dimensión aproximada de 1.20 metros por lado, cada uno. Están diseñados para ofrecer privacidad básica para el cambio de ropa, manteniendo una estructura ligera y de bajo impacto visual.

Departamento 3



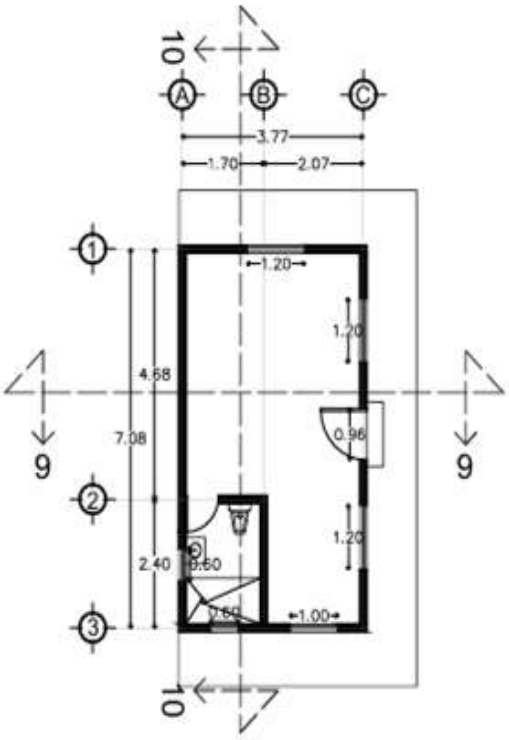


Imagen Plano II.8. Departamento 3, Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes



Foto II-21 Departamento 3

El Departamento 3 es una construcción aislada ubicada en el límite sur del estacionamiento principal (**Foto II.22,Imagen Plano II.8, plano Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes**). Construida alrededor del año 2010, su posición periférica le permite operar de manera independiente, lo cual lo hace funcional tanto para el alojamiento de personal como para almacenamiento de herramientas o insumos, o incluso como espacio de descanso para visitantes temporales. La estructura tiene una superficie aproximada de 3.70 metros de largo, con distribución interior compacta que incluye un sanitario privado. El módulo está construido con bloques de concreto tipo block, un material resistente y térmicamente eficiente, comúnmente utilizado en la región para edificaciones pequeñas.

El techo está recubierto con zacate, siguiendo una técnica tradicional que permite mantener la frescura interior y armoniza visualmente con el resto de la arquitectura del sitio. Esta cubierta también contribuye a minimizar el impacto visual en el entorno natural y a conservar la estética rústica del conjunto. El Departamento 3 se utiliza de forma multifuncional, sirviendo como alojamiento ocasional para trabaja-dores o visitantes, y también como área de almacenamiento

auxiliar. Su independencia del resto de las instalaciones permite su operación flexible según las necesidades del sitio.

Bodega y Taller de mantenimiento

Esta infraestructura se creo completamente de madera alrededor de 2007. Esta elección de material implica un menor impacto ambiental en comparación con sistemas de concreto y acero, tiene un largo de 18.55 m y un ancho de 4.75 m, con una superficie total de desplante de 88.11 m².
La bodega está ubicada entre los ejes A y C (21.75 m² aprox.), diseñada para el resguardo seguro de insumos, con muros de madera que ofrecen aislamiento térmico natural, el taller es un área abierta/semi-abierta con un espacio de 12.75 m de largo (ejes D a G) que permite la ventilación natural, crucial para las actividades de mantenimiento y la dispersión de posibles emisiones volátiles (**Fotos II.23 y II.24 Imagen Plano II.9, plano en anexos**) .

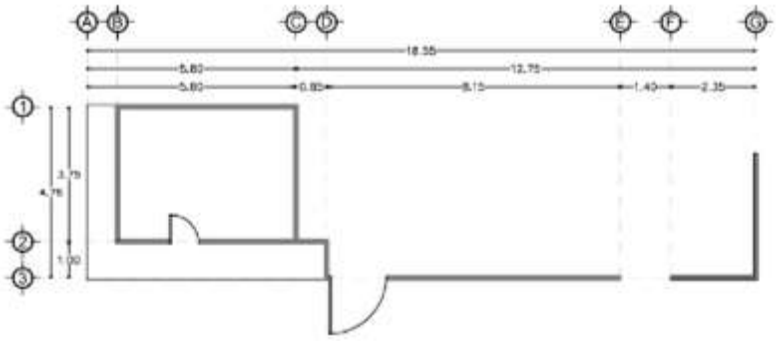


Imagen Plano II.9. Bodega y Taller de mantenimiento



Foto II-233 Bodega



Foto II-24 Taller de mantenimiento

Infraestructura auxiliar

Con el objetivo de garantizar la funcionalidad del proyecto Rápidos Lagoon Club sin comprometer la integridad del entorno natural, se diseñó la infraestructura auxiliar empleando materiales sustentables, principalmente madera, que permiten su remoción y reubicación según sea necesario. Esta estrategia busca minimizar los impactos ambientales permanentes sobre el suelo y la vegetación circundante, al tiempo que facilita la adaptación del espacio a las condiciones estacionales y a las necesidades operativas del club.

Los elementos incluidos bajo este apartado son diversos y cumplen funciones complementarias para la operación y la experiencia de los visitantes. Entre ellos se encuentran colgadores para chalecos salvavidas, puestos de venta de alimentos como crepas, sombrillas y champas para hamacas, portakayaks, escalones de acceso a la zona frente al canal y contenedores de residuos. Cada uno de estos componentes se ha diseñado considerando criterios de movilidad, durabilidad y bajo impacto ambiental, asegurando que su instalación no requiera alteraciones permanentes del suelo ni de los ecosistemas circundantes.

Colgadores para chalecos salvavidas



Foto II-25 Colgador de chalecos 1



Foto II-25 Colgador de Chalecos 2



Foto II-26 Colgador de chalecos 3

Existen tres colgadores de chalecos en el sitio (**Fotos II.25 a 27**). La zona de porta chalecos está diseñada para ofrecer un acceso ordenado y seguro a los chalecos salvavidas por parte de los visitantes. Los colgadores se construyeron en madera, un material sustentable y resistente, y están protegidos por un techado de zacate rojo, que resguarda los chalecos de la exposición directa al sol y la lluvia, prolongando su vida útil.

Esta infraestructura permite a los usuarios colocar y retirar los chalecos con facilidad, fomentando una

experiencia más cómoda y segura, al mismo tiempo que mantiene un impacto ambiental mínimo sobre la zona circundante, para resolver una problemática recurrente: algunos visitantes dejaban los chalecos dispersos por todo el sitio: en el canal, sobre los microbialitos, incluso en las inmediaciones del humedal. Se les indica colocar los chalecos en las zonas de colgadores, lo cual ha reducido considerablemente esta problemática añeja

Sombrillas de madera



Foto II-8. Sombrillas de madera y zacate rojo 1 y 2

Las sombrillas se construyeron con postes de madera y techado de zacate rojo, proporcionando sombra natural y estética armoniosa con el entorno (**Fotos II.28**). Inicialmente se evaluó la posibilidad de utilizar sombrillas de loneta con mástil metálico, pero se dañaban rápidamente, manchándose con humedad (hongo) y oxidándose lo cual implicaba el potencial de uso de químicos, por lo que se decidió hacerlas de postes de madera y zacate. Dado que el zacate es un excelente aislante térmico, mantiene la sombra fresca y cómoda incluso bajo sol intenso.

Cada sombrilla está diseñada para albergar hasta seis sillas, ofreciendo a los visitantes un espacio cómodo para descanso y recreación. Su estructura removible permite adaptar o reubicar las sombrillas según las necesidades del club, aunque no ha habido necesidad de reubicarlas, minimizando impactos permanentes sobre el suelo y la vegetación circundante.

Champa para hamacas



Foto II-27 Champa para hamacas

El canal de Los Rápidos es una zona que, como su nombre o dice, el agua se mueve de manera rápida, para algunos usuarios del club (adultos mayores y niños pequeños) la caleta al norte del club ofrece un espacio tranquilo y apropiado donde pueden nadar o descansar (**Foto II.29**). La champa instalada a principios de 2016, está conformada por cuatro postes de madera que sostienen un techo de zacate rojo, ofreciendo un espacio protegido y ventilado para colocar hamacas. Se ubica en la zona de nado frente al canal principal, dentro de la caleta interna al norte del balneario, permitiendo a los visitantes descansar y disfrutar del entorno acuático con seguridad y comodidad.

Escalones



Foto II-30Escalones zona sur

A un costado del comedor principal existe una entrada para los bañistas puedan reincorporarse al área del club. Se colocaron escalones de madera para acceder continuado en un pequeño andadorde aproximadamente 2 metros de largo. Está fabricado con madera. Una segunda escalera se encuentra en la zona norte del balneario en el área de la champa de hamacas (**Foto II.30**).

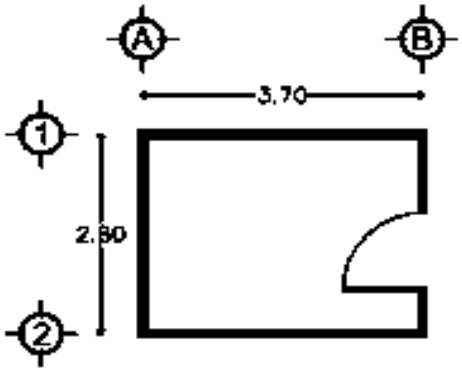


Imagen Plano II.10. Ver Plano Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes

Zona de lockers



Foto II-31 Area de LOckers

El área destinada a lockers cuenta con aproximadamente 20 m² y está equipada con casilleros para que los visitantes guarden sus pertenencias de manera segura. La estructura está construida en madera sobre una base delgada de concreto y cubierta con un techo de lámina, lo que brinda funcionalidad y resguardo básico a los usuarios (**Fotos II.31, Imagen II.6.** Ver Imagen Plano II.6 Recepción, oficina y cocina. Ver Anexos Planos Arquitectónico y Fachadas y Cortes).

Cuarto de transferencia de residuos

Esta infraestructura de madera, está diseñada específicamente para el almacenamiento temporal y la gestión de residuos sólidos antes de su disposición final, para evitar la dispersión de materiales al entorno natural. Al igual que el resto del proyecto, esta unidad se integra mediante un sistema constructivo de madera**.**

El cuarto presenta una planta rectangular simple: Longitud (Ejes A-B): 3.70 metros, Ancho (Ejes 1-2): 2.80 metros Ocupa un área de 10.36 m², lo que representa una huella de construcción mínima y localizada.

Balneario 2: La Laguna de Bacalar

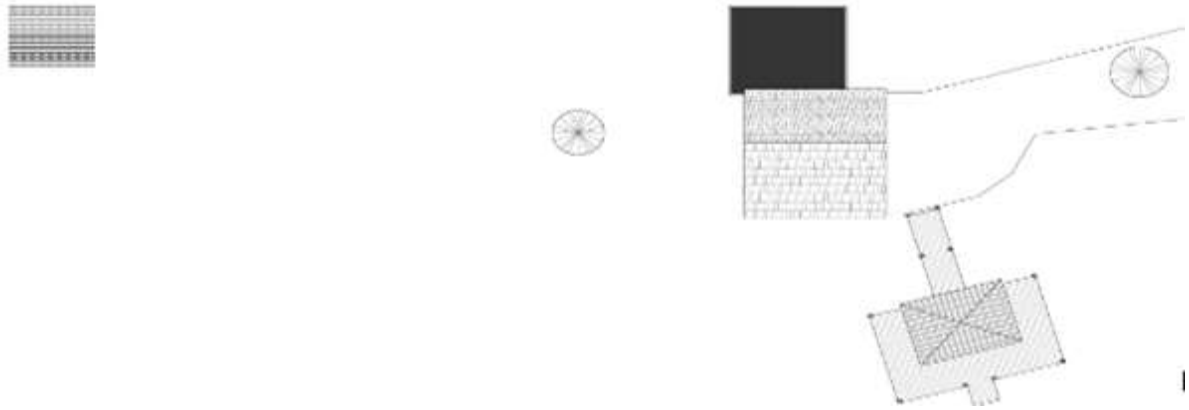


Imagen Plano II.11. **Conjunto La Laguna. Ver Anexos Plano de Conjunto La Laguna.**

La sección conocida como “La Laguna” se ubica en el extremo noreste del predio, en un área total de 3,615 metros cuadrados, y colinda directamente con el canal que conecta con la Laguna de Bacalar, en una zona de alto valor paisajístico y ecológico. Esta área cuenta con infraestructura de servicio básico, diseñada para atender tanto a visitantes como al personal operativo. Esta sección presenta una infraestructura de menor escala en comparación con la zona del canal de Xul-Ha. Esta área está destinada principalmente al descanso y la convivencia familiar, y ha sido desarrollada con un enfoque de bajo impacto ambiental y simplicidad arquitectónica, priorizando materiales naturales y funcionalidad básica.

Entre los elementos que conforman esta sección se encuentra una palapa principal sobre un muelle en forma de “T”, que se extiende hacia la laguna, permitiendo el acceso seguro al cuerpo lagunar sin generar impactos directos sobre la vegetación ribereña o las formaciones acuáticas sensibles. Esta palapa funciona como área de sombra y descanso, además de cumplir con funciones recreativas para los visitantes. Asimismo, la zona cuenta con una cocina-comedor techada, utilizada para la preparación y consumo de alimentos, y un edificio de dos niveles que alberga servicios sanitarios en la planta baja y departamentos en la planta alta, los cuales han sido utilizados tanto para alojamiento temporal como para fines operativos del personal.

Edificio de sanitarios y departamento



Foto II-31 Edificio sanitarios y departamento

En el centro de esta sección se encuentra un edificio de dos niveles construido alrededor del año 2010, de bloque y concreto (**Foto II.31, Imagen de plano II.12**. Ver Anexos Plano Arquitectónicos y Fachadas y Cortes La Laguna). Ocupa un área de 7.15 metros por 7.94 metros. Su planta baja está destinada al servicio sanitario, con acceso frontal mediante s escalones. La fachada presenta una puerta doble que divide claramente los espacios para sanitarios de hombres y mujeres, cada uno con lavabos exteriores.

- Baño de mujeres: tres cabinas individuales de inodoro y tres espacios de vestidores.

- Baño de hombres: tres cabinas individuales de inodoro, tres vestidores y tres mingitorios adicionales.

El diseño funcional de esta planta permite una circulación eficiente y cómoda para los usuarios, con materiales resistentes al uso intensivo y a la humedad del entorno. Departamento en segundo nivel. Una escalera exterior, ubicada en el costado poniente del edificio, conduce al segundo nivel, donde se ubica un departamento privado con una superficie de 6.18 metros por 7.94 metros.

Este espacio cuenta con dos habitaciones y un baño completo, y está destinado a diversos usos: Como alojamiento ocasional para personal de apoyo o guardias en caso de requerirse servicio nocturno. Como vivienda temporal para miembros de la familia propietaria durante temporadas vacacionales.

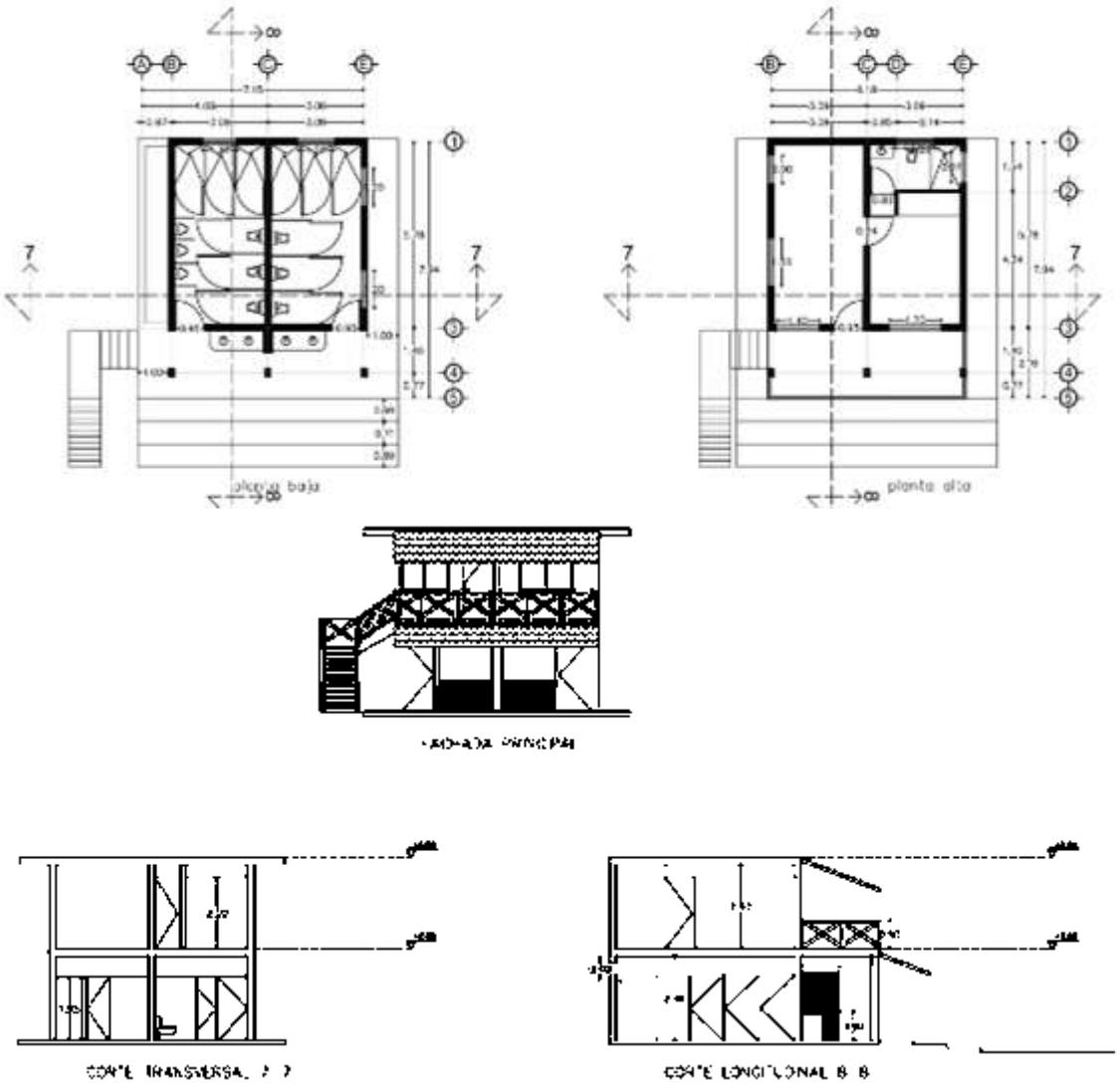


Imagen Plano II.12. Edificio de baños y departamento*. Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes La Laguna*

Muelle y Palapa



Foto II-32 Muelle y palapa. La laguna

En la zona que colinda con el cuerpo lagunar se encuentra un muelle en forma de "T", cuya longitud total es de aproximadamente 14.35 metros (**Foto II.32, Imagen de plano II.13.** Ver Anexos Plano

Arquitectónicos y Fachadas y Cortes La Laguna), extendiéndose desde el límite de la zona federal hasta el extremo distal dentro de la laguna. El ancho máximo de la estructura en su parte frontal alcanza los 10.4 metros, lo que permite un espacio funcional para el acceso acuático y actividades recreativas.

Sobre este muelle se ubica una palapa de sombra construida en madera de la región, con una superficie de 3.90 metros por 5.67 metros, diseñada para brindar protección solar a los usuarios y servir como punto de descanso, ascenso y descenso de visitantes a embarcaciones y observación del entorno lacustre.

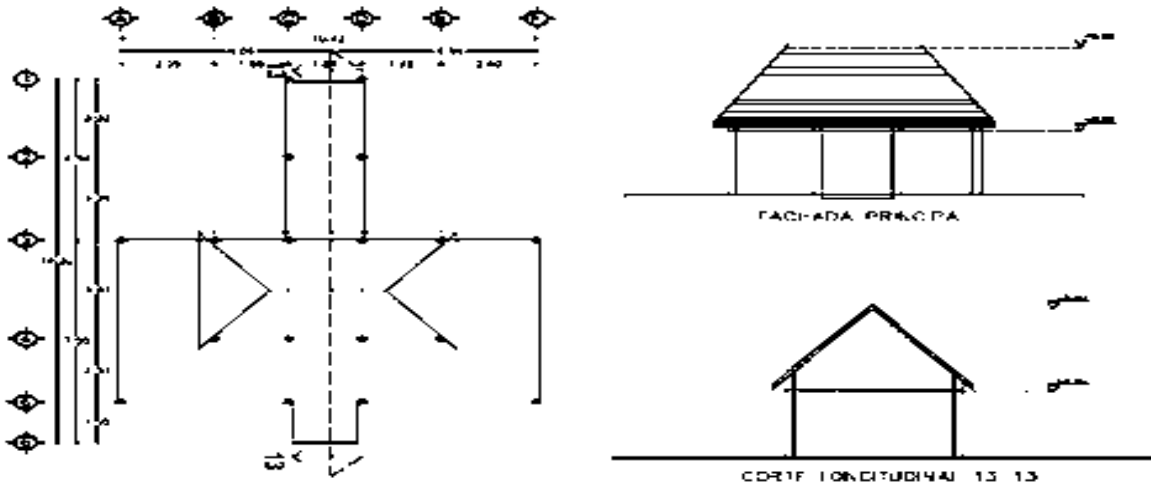


Imagen Plano II.13.Muelle y Palapa*. Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes La Laguna*

Restaurante y Cocina



Foto II-33 Restaurante y área de cocina

El área de restaurante y cocina está conformada por una estructura sólida construida con bloques de concreto y acabados de cemento, que ocupa una superficie de 9.24 metros por 14.84 metros, proporcionan do un espacio amplio y funcional para el servicio de alimentos y bebidas (**Foto II.33, Imagen de plano II.14**. Ver Anexos Plano Arquitectónicos y Fachadas y Cortes La Laguna)

Dentro de este conjunto se localiza la cocina, con dimensiones aproximadas de 5.92 metros por 5.0 metros, también edificada con concreto, y equipada con instalaciones adecuadas para la preparación de alimentos.

Complementando esta zona se encuentra una palapa contigua de 8.5 metros por 7.65 metros, que sirve como extensión del área de comedor, generando un ambiente fresco y tradicional para los comensales.

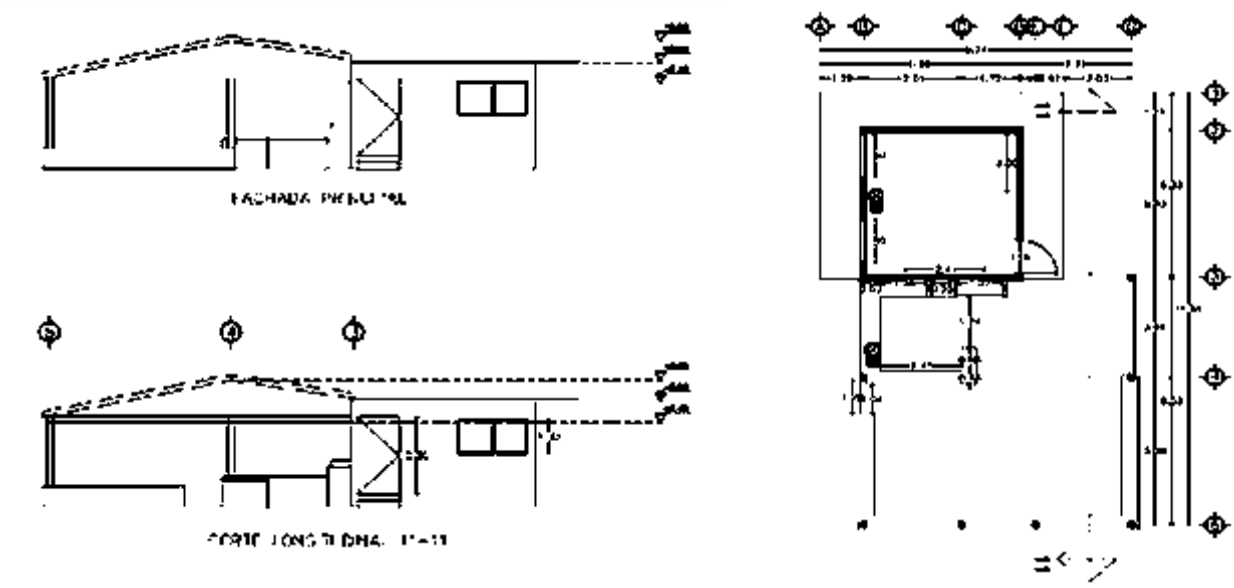


Imagen Plano II.14. Restaurante y Cocina*. Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes La Laguna*

Capilla de madera



Foto II-28 Capilla de madera

Dentro del área se identifica una estructura ligera de madera, destinada a funcionar como **capilla o espacio abierto para actividades de carácter religioso y de reunión**. La construcción presenta una planta rectangular de aproximadamente **2.00 m de ancho por 3.00 m de largo**, con una altura aproximada de **2.40 m (Foto II.34)**.

La estructura está conformada principalmente por **elementos verticales y horizontales de madera**, con cubierta inclinada a dos aguas. La techumbre está constituida por piezas de madera y material de acabado tipo lámina o teja, proporcionando protección contra la radiación solar y la precipitación.

La construcción se caracteriza por ser **abierta en sus cuatro lados**, sin muros perimetrales cerrados, lo que permite la ventilación e iluminación natural y mantiene una relación visual directa con el entorno vegetal. Se encuentra integrada dentro de un área ajardinada con cobertura de pasto y vegetación arbórea y ornamental circundante.

Por sus dimensiones reducidas, sistema constructivo ligero y ausencia de cimentaciones o elementos constructivos de gran volumen visibles en superficie, se considera una **estructura de bajo impacto físico**, destinada principalmente al resguardo y permanencia temporal de personas.

Bodega de malla electrosoldada



Foto II-29 Bodega de malla electrosoldada

Se trata de **una estructura destinada al almacenamiento y resguardo de materiales**, construida principalmente con **malla metálica electrosoldada**. La estructura se encuentra instalada a la intemperie y presenta un sistema constructivo ligero, conformado por elementos metálicos que funcionan como postes y bastidor de soporte, sobre los cuales se encuentra fijada la malla electrosoldada (**Foto II.35**)

La bodega cuenta con cerramiento perimetral de malla metálica, incluyendo un acceso mediante puerta del mismo material. El cerramiento permite la **ventilación permanente y el paso de iluminación natural**, manteniendo los materiales almacenados protegidos y delimitando físicamente el área.

La estructura se encuentra integrada al área exterior, sobre una superficie de suelo natural o previamente acondicionada, y está rodeada por vegetación arbórea y herbácea existente. Por sus características constructivas, se trata de una **instalación ligera y abierta**, sin elementos visibles de edificación convencional como muros de mampostería o losas de concreto.

Cochera / Artesanías



Foto II-6 Cochera / Artesanías

Es una **estructura ligera de uso mixto, destinada al resguardo de vehículos y al establecimiento de un espacio para la exhibición y venta de artesanías**.

La construcción presenta una planta de configuración rectangular y se encuentra conformada principalmente por **elementos de madera**, con postes verticales que soportan una cubierta inclinada a dos aguas. La techumbre proporciona protección contra la radiación solar y la precipitación, mientras que los laterales permanecen predominantemente abiertos, favoreciendo la ventilación e iluminación natural (**Foto II.36**)

En su parte frontal y lateral se observan elementos de madera utilizados como barandal o cerramiento parcial**,** delimitando el área sin constituir muros cerrados. El espacio interior es de carácter abierto y multifuncional, permitiendo tanto el estacionamiento o resguardo temporal de vehículos como la colocación y exhibición de productos artesanales.

La estructura se encuentra integrada al entorno natural, con vegetación arbórea en su perímetro inmediato y una superficie de acceso constituida por suelo natural y/o material pétreo. No se observan elementos constructivos de gran volumen ni cerramientos convencionales de mampostería.

Sombrilla

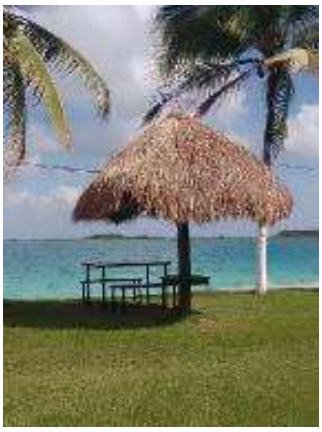


Foto II-37 Sombrilla

Es una estructura ligera tipo sombrilla o palapa individual, destinada principalmente a proporcionar sombra y protección a los usuarios del área exterior (**Foto II.37**).

La estructura está conformada por un poste vertical central, aparentemente de madera, que sostiene una cubierta de forma aproximadamente circular elaborada con material vegetal de zacate rojo, dispuesta en pendiente para facilitar el escurrimiento del agua de lluvia.

La estructura se encuentra completamente abierta en su perímetro y no presenta muros, cerramientos ni elementos constructivos permanentes. Se localiza sobre un área de césped, próxima a la zona de playa y al cuerpo de agua, integrada visualmente al paisaje.

En el espacio cubierto se observa una mesa de tipo picnic con asientos, destinada al descanso, convivencia y permanencia temporal de los usuarios.

Cuadro de Medidas y superficies de la infraestructura de ambos sitios

Los Rápidos

Componente	Ancho	Largo	m2	Alto
Edificio	17.26	7.1	122.546	5.8
Planta baja				
Bodega	4.45	3.37	7.82	2.5
Baño mujeres	4.45	3.48	7.93	2.5
Baño hombres	4.45	2.47	6.92	2.5
Departamento 1	3.25	5.85	9.1	2.5
Baño depro 1	2.65	1.5	4.15	2.5
Techo lamina trasero	3.87	9.44	13.31	2.3
Techo estacionamiento	3.16	17.82	20.98	2.85
Lavabo exterior	1.25	3.51	4.3875	2.5
Planta alta				
Departamento 2	5.16	5.15	10.31	3.8
Terraza Dpto 2	2.08	3.5	5.58	3.2
Porche Dpto 2	5.16	1.72	6.88	2.85

Recepción, Oficinas y cocina

Componente	Ancho	Largo	m2	Alto
Recepción, Oficinas y cocina				
Edificio	23.92	11.18	267.4256	4
Bodega 1	3.64	8.07	29.3748	2.2
Bodega 2	3.06	7.22	22.0932	2.2
Lobby	5.74	7.93	36.5218	4

Caja	3.06	2.94	8.9964	4
Bar	3.06	3.97	12.1482	4
Oficina administrativa	2.96	5.96	17.6416	4
Area descanso	2.96	1.97	5.8312	4
Cocina	8.52	7.93	67.5636	2.2
Cuarto frío	1.5	2.16	3.24	2.2

Restaurante

Componente	Ancho	Largo	m2	Alto
Restaurante				
Restaurante (Comedor)	11	16.17	177.87	6.5

Departamento

Componente	Ancho	Largo	m2	Alto
Departamento 3				
Edificio	3.77	7.08	26.6916	4.85
Baño	1.7	2.4	4.08	4.85

Palapa salida Estromatolitos (asi lo rotulo el arquitecto: son microbialitos)

Componente	Ancho	Largo	m2	Alto
Palapa salida estromatolitos				
Edificio	7.2	9.22	66.384	5
Escalera	2			

Palapa lagunita

Componente	Ancho	Largo	m2	Alto	Forma irregular
Palapa lagunita					
Plataforma	9.45	16.05	151.6725		113
Plataforma 2	5.2	7.15	37.18		40.67
Palapa lagunita	5.2	7.15	37.18	7.48	40.67

La laguna					
Componente	**Ancho (m)**	**Largo (m)**	**m² aprox.**	**Alto (m)**	**Forma irregular**
Baños, planta baja	7.15	7.94	56.7	2.4	Sí, con escaleras y descansos
Departamento, planta alta	6.18	7.94	49	3	Sí, con terraza y escaleras
Restaurante y cocina	9.24	14.84	137	2.4	Sí
Muelle y palapa, conjunto	10.42	14.35	149	2.5	Sí

La laguna					
Componente	**Ancho (m)**	**Largo (m)**	**m² aprox.**	**Alto (m)**	**Forma irregular**
Capillita	3	3	9	3	Sí

Sitio	Infraestructura (m²)
Los Rápidos, incluido el andador, la PTAR y la jardinera de evapotranspiración	1,039.77
La Laguna	400.7
TOTAL DE AMBOS SITIOS	1,440.47 m²

Resultado: la superficie preliminar inventariada para ambos sitios es de 1,440.47 m².

La infraestructura y las instalaciones asociadas a las actividades turísticas se concentran en dos polígonos específicos, uno colindante con el Canal de Xul-Há y otro con la Laguna de Bacalar, que en conjunto abarcan una superficie de 6,575 m², equivalente al 0.37 % de la superficie total del predio.

El inventario preliminar de infraestructura de ambos sitios suma 1,440.47 m² de lso 6,575 m2,, considerando edificaciones, palapas, plataformas, muelle, andador sobre los microbialitos, PTAR y jardinera de evapotranspiración. **Esta superficie representa aproximadamente el 21.91 % de los dos polígonos operativos (6,500 m2) y el 0.08 % de la superficie total del predio**.

Infraestructura original del acta de PROFEPA de 2015

Núm.	Estructura o elemento descrito en el emplazamiento de 2015 que continuaron sin modificación en 2026	Dimensiones asentadas	Superficie calculada
1	Estructura rústica de madera, con piso natural, paredes descubiertas y techo de lámina	6.40 × 4.40 m	28.16 m²
2	Estructura rústica de madera, con tres paredes de madera y techo de lámina	6.50 × 5.00 m	32.50 m²
3	Construcción de un nivel, de block, piso de cemento y techo de lámina, con habitación y baño	6.20 × 4.20 m	26.04 m²
4	Segunda construcción de un nivel, de block, piso de cemento y techo de lámina, con habitación y baño	6.20 × 4.20 m	26.04 m²
5	Construcción de dos niveles, con habitaciones y baños	8.00 × 4.50 m por planta	72.00 m², considerando ambas plantas
6	Cocina con barra de servicio, habilitada como restaurante	13.00 × 3.20 m	41.60 m²
7	Tinglado de madera con paredes descubiertas y techo de lona	Sin dimensiones explicadas	No calculable
8	Palapa tipo palafito, con piso de madera y techo de zacate	8.70 × 6.00 m	52.20 m²

Núm.	Estructura o elemento descrito en el emplazamiento de 2015 que continuaron sin modificación en 2026	Dimensiones asentadas	Superficie calculada
9	Tres jardineras de mampostería	2.00 m de diámetro cada una	9.42 m² en conjunto, si son circulares
10	Muelle de madera en forma de “T”, con palapa y techo de zacate	El acuerdo describe sus secciones, pero debe verificarse el cálculo sin traslapes	
Fuente: Expediente PROFEPA PFPA/29.3/2C.27.5/0096-15,			

Antecedentes históricos y documentales de la infraestructura preexistente

La antigüedad de parte de la infraestructura del predio se encuentra respaldada por la *Constancia expedida por el Comisariado Ejidal del Ejido Juan Sarabia*, de fecha 23 de octubre de 2015. En sus páginas 2 y 3, las autoridades ejidales hacen constar que el 22 de julio de 1992 Vicente Castro Luna cedió a Rodolfo Valle Villaseñor sus derechos ejidales y la posesión correspondiente, incluyendo las construcciones que había realizado tanto en la zona de Los Rápidos como en el área de la Laguna de Bacalar.

La misma constancia señala que Rodolfo Valle comenzó a usufructuar dichas obras desde esa fecha, limitándose inicialmente a realizar sus acabados, sin efectuar modificaciones, rellenos de humedales, desmontes ni daños a los manglares, según lo manifestado por las autoridades ejidales. Este documento constituye un antecedente para acreditar que las construcciones referidas ya existían en julio de 1992, aunque no determina individualmente la fecha de construcción ni la antigüedad exacta de cada elemento. **Fuente:** Constancia del Comisariado Ejidal del Ejido Juan Sarabia, 23 de octubre de 2015, páginas 2–3.

Por su parte, el acta de inspección de la PROFEPA de fecha 21 de octubre de 2015, correspondiente al expediente PFPA/29.3/2C.27.5/0096-15, documenta las estructuras que fueron identificadas durante aquella diligencia. La comparación entre dicha acta y el Acuerdo de Emplazamiento núm. 0309/2026 permite diferenciar la infraestructura previamente registrada de las obras que PROFEPA identificó expresamente como adicionales durante la verificación de 2026. Respecto del periodo comprendido entre 1992 y 2015, así como del periodo de 2015 a 2026, el promovente refiere que las instalaciones han recibido trabajos de acabado, mantenimiento, conservación, reparación y remodelación.

Infraestructura adicional detectada en inspección de 2026 motivo de clausura de instalaciones

Obras adicionales observadas durante la visita de verificación de 2026 levantadas entre 2015 y 2026			
Núm.	**Obra adicional descrita por PROFEPA**	**Dimensiones**	**Superficie**
1	Palapa construida con materiales de la región, madera y techo de zacate, con piso de madera, habilitada como comedor para visitantes	15 × 10 m	150 m²
2	Deck de madera anexo a la palapa anterior para reducir erosión del área de acceso	17 × 13 m	221 m²

Obras adicionales observadas durante la visita de verificación de 2026 levantadas entre 2015 y 2026			
Núm.	**Obra adicional descrita por PROFEPA**	**Dimensiones**	**Superficie**
3	Pergolado de madera habilitado para el resguardo de lockers	5 × 4 m	20 m²
4	Andador de madera piloteado, paralelo al humedal lagunar costero para protección de microbialitos	175 m × 0.80 m	140 m²
5	Deck de madera piloteado al interior de la laguna, que contiene una palapa de madera con techo de zacate para resguardo de zona de microbialitos	15 × 10 m	150 m²
6	Palapa de madera y techo de zacate contenida en el deck anterior	6 × 5 m	30 m²
Fuente: Acuerdo de Emplazamiento núm. 0309/2026, página 6 del PDF, párrafo que comienza «asimismo como obras adicionales se observaron». Las dimensiones y superficies se transcriben de la imagen proporcionada.			

En el Acuerdo de Emplazamiento núm. 0309/2026, derivado del expediente administrativo PFPA/29.3/2C.27.5/0096-15, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) refiere que, durante la visita de verificación efectuada el 24 de febrero de 2026, se observaron obras adicionales a las circunstanciadas en el acta de inspección del 21 de octubre de 2015. Entre estas obras se describen una palapa de madera y techo de zacate, con una superficie de desplante de 150 m², habilitada como comedor para visitantes; un deck de madera anexo de 221 m²; un pergolado de madera de 20 m² destinado al resguardo de lockers; un andador de madera piloteado de 175 m de longitud por 0.80 m de ancho, equivalente a 140 m², dispuesto paralelamente al humedal lagunar costero; y un deck de madera piloteado al interior de la laguna, de 150 m², que contiene una palapa de madera con techo de zacate de 30 m².

El resto de la infraestructura existente en el establecimiento corresponde a instalaciones previamente desarrolladas, que a lo largo de los diez años transcurridos entre las inspecciones de 2015 y 2026 han sido objeto de actividades de mantenimiento, conservación, reparación y remodelación, según las necesidades de operación y uso. Estas intervenciones deben distinguirse de la construcción de obras nuevas, ya que el mantenimiento o la renovación de componentes de estructuras preexistentes no implica necesariamente la incorporación de nueva superficie construida.

Para efectos de la presente Manifestación de Impacto Ambiental, se presenta un inventario integral que diferencia las obras adicionales referidas por PROFEPA de la infraestructura preexistente y sus modificaciones posteriores, considerando sus características, superficies y relación con el entorno. La identificación de las fechas y el alcance de cada intervención se sustentará, en la medida en que se disponga de ellos, en antecedentes documentales, registros fotográficos y demás elementos de comprobación pertinentes.

Madera rolliza

Es importante denotar que si bien la mayor parte de la madera terminada (labrada, aserrada) proviene del ejido Noh Bec y de otras fuentes, adquirida de manera legal, la madera rolliza se ha obtenido de los acahuales (ex potreros) en regeneración, dentro del predio. El predio cuenta con 90 hectáreas de regeneración forestal de un promedio de 15 años, en su mayoría se trata de antiguos potreros que han desarrollado mediante regeneración natural en acahuales de selva mediana subperennifolia. Si tomamos en consideración datos de investigaciones científicas como las del estudio de González y De Jong (2010), en acahuales de 15 años en la región de Calakmul, Campeche, se estima la generación de un promedio de 15.8 Mg ha^{-1} de biomasa aérea, lo que

implica que el predio podría contener aproximadamente 1,422 Mg (entre 1,778 y 3,555 m^3 ha^{-1}), de biomasa total.

Durante los últimos 33 años, se ha utilizado madera proveniente de troncos, ramas y puntas de las zonas de regeneración para la construcción de cercos, barandales, postes y techos de palapas. El volumen total utilizado se estima un aproximado de ~24 m^3, distribuidos de la siguiente manera:

Construcción	**Volumen (m^3)**
Cercos	5.25
Postes para palapas	0.65
Techos de palapas	18.15
Total general	24

Comparando con el volumen disponible, el porcentaje de aprovechamiento es mínimo: Porcentaje utilizado: (24m^3 / 2,187 m^3) X 100 = 1.09%). Este uso resalta la sostenibilidad y racionalidad del manejo doméstico: solo una fracción mínima de la biomasa regenerada se ha aprovechado de manera doméstica, garantizando que más del 98.9% de la madera disponible permanezca para el crecimiento natural, la regeneración y futuros usos del predio. El uso doméstico se encuentra alineado con los principios de manejo forestal sustentable establecidos en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, considerando que el aprovechamiento no compromete la cobertura vegetal ni la productividad ecológica del sitio.

Sistema hidráulico

Fuente de abastecimiento

Durante los primeros 29 años de operación de Los Rápidos Club, el abastecimiento de agua potable se realizó mediante suministro externo, principalmente a través de pipas provenientes de otros ranchos del mismo propietario, así como del suministro disponible en la vivienda ubicada en la entrada del predio.

Inicialmente, el volumen disponible para las actividades del balneario junto al canal de Los Rápidos fue de aproximadamente 2,500 litros, el cual posteriormente se incrementó hasta alcanzar un volumen aproximado de 5 m^3 (5,000 litros). Este volumen se destina exclusivamente a labores básicas de limpieza, uso de sanitarios y actividades de cocina. Para el caso del balneario colindante con La Laguna de Bacalar el consumo continua siendo de 5,000 litros cada tercer o cuarto día, para cocina, limpieza y baños.

En ambos casos, el agua suministrada era clorada previamente a su uso, y posteriormente almacenada en tinacos ubicados en la parte superior del edificio de departamentos y baños localizado en la entrada del predio. Desde dichos tinacos, el agua se distribuía por gravedad a través de tuberías de 2 pulgadas hacia las distintas áreas de servicio, principalmente:

Posteriormente, con el retiro de las actividades agropecuarias y la modificación en el uso del predio, el pozo dejó de operar. Durante ese periodo de transición, y con el objetivo de no interrumpir el funcionamiento básico de los balnearios, el suministro de agua se realizó de manera temporal y complementaria mediante el traslado de agua desde pozos ubicados en otras propiedades del

mismo propietario, utilizando tinacos adaptados en remolques. Esta medida se implementó como una solución provisional, mientras se resolvía la situación administrativa del abastecimiento definitivo.

Cabe señalar que desde el año 2012 se inició formalmente ante la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) el trámite para la obtención de la concesión de zona federal lagunar, sin que hasta la fecha, 14 años después, se haya emitido una resolución definitiva por parte de la autoridad competente. Ante la prolongada ausencia de respuesta administrativa, y considerando la necesidad operativa de contar con una fuente de abastecimiento ambientalmente más adecuada y técnicamente viable, se analizó la alternativa de extracción directa de agua superficial de la laguna, evitando con ello una mayor presión sobre el acuífero subterráneo y reduciendo los impactos indirectos asociados al transporte continuo de agua.

En este contexto, y actuando bajo el principio de continuidad del servicio, buena fe y regularización administrativa, se inició el uso de agua superficial de la laguna, de manera controlada, como medida transitoria, mientras se avanzaba en los procesos formales de autorización. Finalmente, a finales de 2024 se determinó iniciar de manera expresa un proceso de regularización del aprovechamiento de agua superficial, y el trámite correspondiente para la concesión de extracción de agua de la laguna fue ingresado formalmente ante CONAGUA a mediados de 2025, encontrándose actualmente en espera de resolución (Ver Anexos).

Todo lo anterior se ha realizado con el objetivo de regularizar plenamente el uso del recurso hídrico, garantizar la protección ambiental del sistema lagunar y dar cumplimiento a la normatividad aplicable, en tanto la autoridad competente emite la resolución correspondiente. LO anterior después de realizar un análisis ambiental y legal, ya que las instalaciones se encuentran dentro de un entorno kárstico altamente vulnerable, caracterizado por suelos de alta permeabilidad, conexión cercana y en muchos casos directa entre cuerpos de agua superficiales y el acuífero, nivel freático somero en la zona de los balnearios, y una dinámica hidrológica natural asociada a la laguna.

Lo anterior permitió determinar que resultaba ambientalmente viable, técnicamente sustentable y proporcional a la capacidad del sistema, sin generar impactos significativos sobre la dinámica hidráulica ni sobre los procesos ecológicos de la Laguna de Bacalar. Estas condiciones permitieron tomar la decisión de seleccionar un esquema de abastecimiento hídrico que minimizara impactos ambientales, redujiera riesgos al acuífero y fuera operativamente viable. Con los datos en mano, se realizó una comparación de alternativas de abastecimiento, siendo estas:

a) El transporte diario de agua desde otras propiedades del propietario que venía realizándose con antelación. El suministro mediante acarreo diario de agua desde otros predios presentaba y presenta múltiples desventajas:

- Incrementaba la huella ambiental indirecta, debido al uso constante de vehículos, consumo de combustibles fósiles y emisiones asociadas.
- Aumentaba el riesgo de percances, de derrames, fugas y manejo inadecuado del agua durante el transporte.
- Representaba un esquema operativamente ineficiente e insostenible a largo plazo, especialmente para un uso recreativo continuo.
- No constituía una solución permanente ni técnicamente recomendable para instalaciones de uso público.
- Desde el punto de vista ambiental, este método traslada el impacto en lugar de mitigarlo, y no se alinea con principios de eficiencia hídrica ni de manejo sustentable del recurso.

b) La extracción de agua subterránea mediante pozo existente que se realizó durante los primeros años cuando pasaba de rancho agropecuario a turismo en la parte cercana a la carretera

- La extracción de agua mediante un pozo previamente activo en la parte alta del predio implicaba riesgos ambientales relevantes:
- La explotación de agua subterránea en un sistema kárstico incrementa la presión directa sobre el acuífero, que es el mismo que alimenta a la laguna.
- Existe mayor probabilidad de afectación a la calidad del agua, debido a la rápida infiltración y escasa capacidad de filtración natural del suelo.
- El uso de pozos en zonas elevadas puede alterar gradientes hidráulicos locales, favoreciendo movimientos indeseados del agua y posibles procesos de contaminación cruzada.
- Reactivar o mantener un pozo requiere concesión vigente de CONAGUA, monitoreo continuo y mayor complejidad administrativa.
- Desde una perspectiva ambiental preventiva, esta alternativa resultaba menos recomendable, ya que incrementaba el riesgo de impactos indirectos sobre la laguna y el acuífero regional.

3. Viabilidad de la extracción directa de agua de la laguna

En 2024, la investigación de Kowalczyk, realizó la evaluación hidrológica de caudales y tiempo de residencia del agua en diversos sitios de la Laguna de Bacalar, siendo el canal de Los Rápidos el Sitio 12, de sus resultados (Ver Tabla II.11), este sitio muestra un caudal relativamente alto y estable en comparación con otros puntos de la Laguna de Bacalar, con valores que oscilan entre 4.6 y 6.7 m^3/s a lo largo de más de seis años.

Tabla II-6. Datos históricos y recientes de caudal (m^3/s) en sitios de la Laguna de Bacalar.

Fuente: Kowalczyk, E. J. (2024). Stream Gauging: Investigating the Flow Rate and Residence Time in Laguna Bacalar, Mexico. Butler Journal of Undergraduate Research, 10(1), 6.

Sitio	**ene-17**	**ene-18**	**ene-19**	**may-19**	**Mar–Abr 2022**	**nov-22**	**Jun–Jul 2023**
1	0.82	-	-	-	-	-	-
2	0.69	-	-	-	-	-	-
3	-	2	1.51	-	-	-	-
4	-	2.6	1.46	-	-	-	-
5	-	4.81	3.5	6.06	-	-	-
6	-	-	1.76	-	-	-	-
7	-	1.69	2.2	-	-	-	-
8	-	4.8	4.63	-	-	-	-
9	-	1.98	2.4	-	1.74	-	-
10	-	-	0.46	-	-	-	-
11	7.3	7.9	6.7	5.4	5.36	7.4	6.54
12	4.6	5.6	4.6	4.9	4.92	6.7	6.11
13	-	-	3.09	-	3.13	-	-

Los Rápidos funcionan como un corredor hidráulico activo, recibiendo un flujo constante de agua. Según la evaluación hidrológica del Sitio 12, el aprovechamiento propuesto de 5 m³ diarios para el balneario -o incluso si ambos balnearios consumieran hasta 10 m³ diarios, mucho más de lo que realmente usan- es prácticamente insignificante frente al flujo natural.

El caudal mínimo conservador del sitio es de 4.6 m³ por segundo. Considerando que un día tiene 86,400 segundos, los 10 m³ diarios se traducen en un caudal equivalente de apenas 0.000116 m³/s. Esto significa que todo el agua que ambos balnearios necesitarían en un día representa solo 0.025 segundos del flujo que atraviesa Los Rápidos.

Dicho de manera sencilla: el volumen de agua que consumen los dos balnearios en todo un día equivale al que pasa por Los Rápidos en apenas dos centésimas de segundo.La extracción controlada de agua directamente de la Laguna de Bacalar, destinada al suministro de balnearios, resulta la alternativa más viable ambiental y legalmente, siempre que se realice bajo criterios técnicos y normativos.

Ventajas ambientales:

- Se trata de un uso superficial, que evita presionar el acuífero subterráneo.
- La laguna cuenta con dinámica hidrológica natural, con renovación constante del agua.
- Permite un control directo del volumen extraído, evitando sobreexplotación.
- Reduce infraestructura invasiva (pozos profundos, bombeo desde zonas altas).
- Minimiza impactos indirectos asociados al transporte de agua.

Adicionalmente, el agua extraída para uso recreativo regresa al sistema, sin consumo irreversible, siempre garantizando manejo adecuado, ausencia de contaminantes y cumplimiento de criterios de calidad de tratamiento previo a uso , manejo de aguas residuales y descarga a través de pipas.

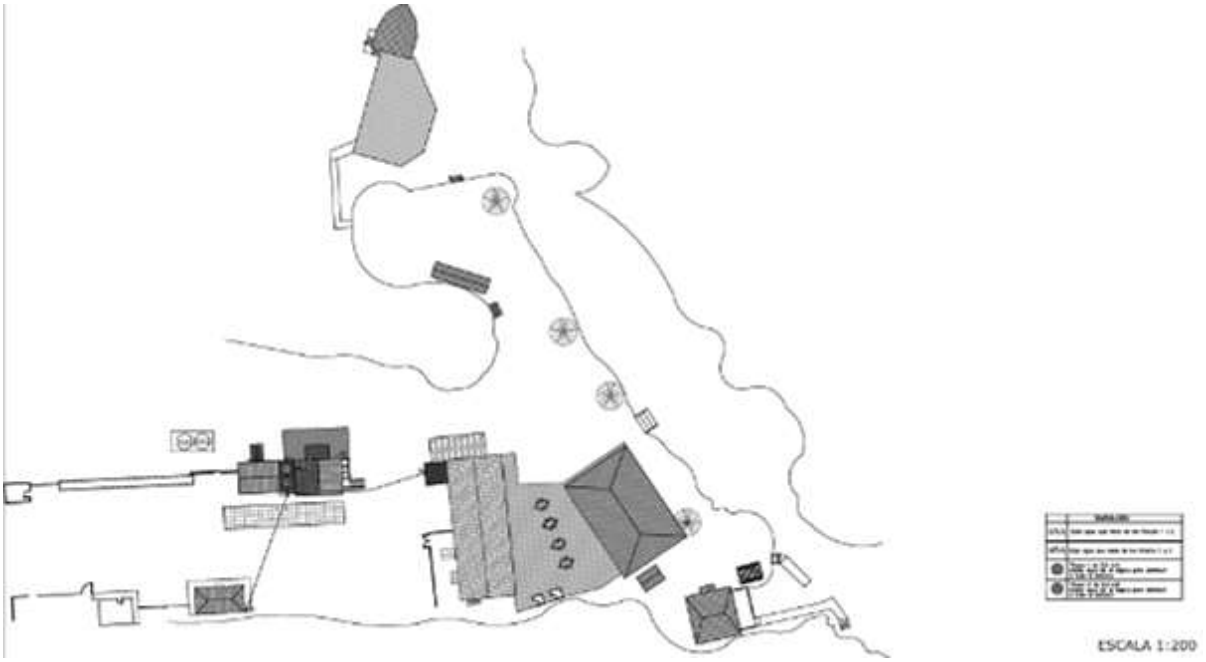


Imagen Plano II.15. Sistema hidráulico, plano de conjunto. ***Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes Los Rápidos***

Condiciones generales del sistema

La distribución del sistema hidráulico puede verse en los planos correspondientes en anexos, puede verse en Imagen plano Imagen Plano II.15. Sistema hidráulico, plano de conjunto. Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes Los Rápidos. La imagen II.23, muestra un esquema del sistema hidráulico. Posee una longitud horizontal: 35 metros (desde laguna a tinaco intermedio hasta tinacos elevados) y una altura vertical: 10 metros hasta los tinacos.

El caballaje para bombas eléctricas: Bomba 1: Desde laguna al tinaco intermedio (a nivel de suelo). Tipo: Bomba centrífuga eléctrica o motobomba autocebante. Requerimientos: Succión desde fuente superficial (laguna), corto recorrido (menos de 35 m). Caballaje recomendado: 1 HP, Suficiente para bombear con buen caudal a nivel de suelo. Bomba 2: Desde tinaco intermedio a tinacos elevados (10 m altura + 35 m horizontal). Tipo: Bomba centrífuga eléctrica o bomba periférica. Requerimientos: Superar altura de 10 m + fricción en 35 m horizontales. Caballaje recomendado: 1.5 HP.

Esto garantiza suficiente presión y caudal para llenar ambos tinacos sin forzar la bomba. Puede instalarse con presostato o temporizador para controlar encendido/apagado.

Existe un sistema de automatización con flotadores eléctricos

Bomba 1: lleva agua → Tinaco intermedio. La automatización cuenta con un flotador eléctrico tipo boya en el tinaco intermedio cuya función: Enciende la bomba cuando el nivel está bajo y la apaga cuando el nivel está lleno. Se incluyó una protección adicional, un interruptor de nivel bajo en el punto de succión (opcional), para evitar que la bomba opere si el nivel de la laguna baja demasiado. La conexión: El flotador va conectado en serie con la bomba, regulando el paso de corriente según el nivel del agua.

Bomba 2: del Tinaco intermedio → Tinacos elevados. La automatización cuenta con un flotador eléctrico en los tinacos elevados, cuya función es activar la bomba cuando el nivel de los tinacos esté bajo y la apaga cuando estén llenos. El flotador de nivel bajo en el tinaco intermedio tiene la función de prevenir que la bomba se encienda si el tinaco intermedio está vacío (protección contra trabajo en seco). La conexión hace un circuito combinado de flotadores donde el circuito incluye el flotador de nivel alto/bajo en los tinacos elevados controla cuándo bombear y el flotador de nivel bajo en el tinaco intermedio actúa como interruptor de seguridad, abriendo el circuito si no hay suficiente agua.

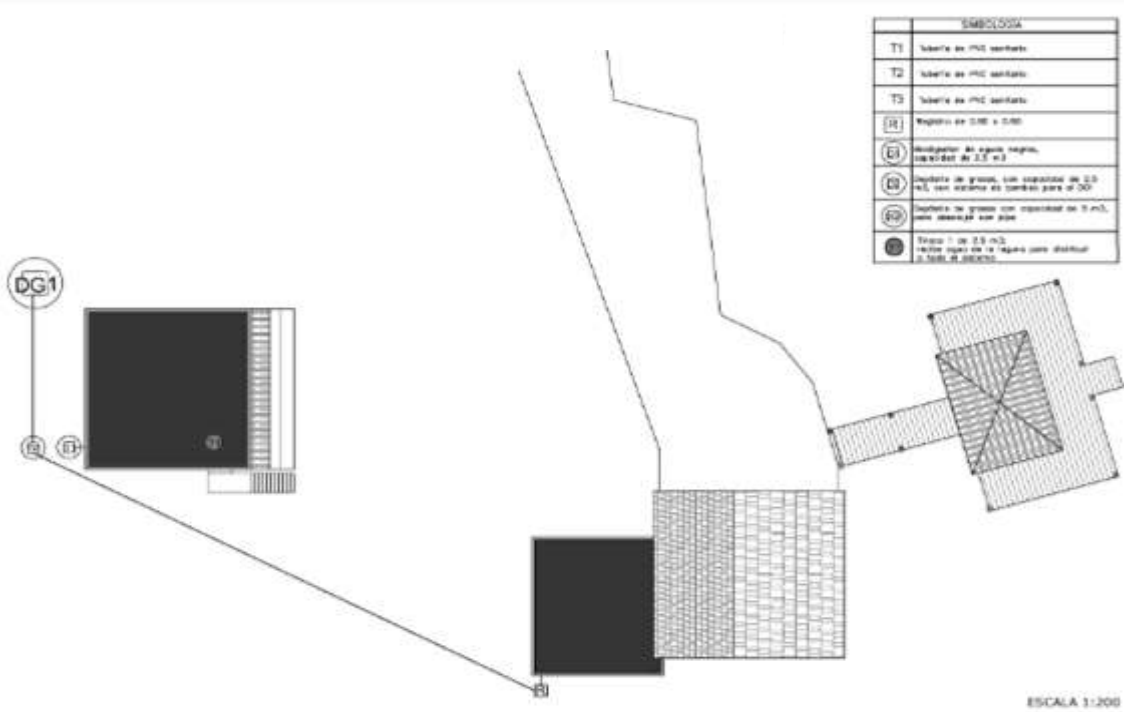


Imagen Plano II.16. Sistema hidráulico, La Laguna. plano de conjunto*. Ver Anexos Plano* ***Arquitectonicos y Fachadas y Cortes La Laguna***

Algunos elementos complementarios incluyen el tablero eléctrico simple para ambas bombas con térmicas, contactores y manual/automático, interruptores de flotador eléctricos de buena calidad, tipo boya o verticales de pozo, cableado eléctrico con canalización adecuada (tubería conduit o poliducto), una base firme o estructura para los tinacos y bombas y protección contra intemperie (techumbre o caseta para equipo eléctrico).

Especificaciones técnicas de la tubería: Para cada tramo del sistema, considerando buena durabilidad en exteriores, la resistencia a presión moderada, facilidad de instalación y la compatibilidad con bombas eléctricas y tinacos. Las especificaciones de tubería por tramo:

De la laguna al tinaco intermedio (succión + impulsión) el tipo de tubería depende de su uso: Succión: Manguera reforzada tipo espiral PVC o polietileno reforzado (grado agrícola o industrial), impulsión: Tubería PVC hidráulico C-40 o polietileno de alta densidad (PEAD). El diámetro es de 1.5" (pulgadas) la cual permite buen caudal con baja pérdida de presión para bomba de 1 HP de longitud corta (ideal < 10 m), incluye además la válvula de pie con colador (1.5”), conectores roscados, abrazaderas de acero inoxidable y codos o adaptadores a PVC según conexión de bomba.

Del tinaco intermedio a los tinacos elevados que requiere una impulsión de 35 m horizontales + 10 m verticales, se cuenta con una tubería de PVC hidráulico C-40 o C-80. Con un diámetro 1” (pulgada): Suficiente para mantener un caudal de 80–150 l/min con bomba de 1.5 HP, ya que la distancia no supera los 40 m y no hay muchas curvas, no es necesario usar 1.25” para reducir pérdidas por fricción. Cuenta con válvulas de paso (PVC) para mantenimiento, uniones, codos, adaptadores, abrazaderas, válvula de retención cerca de la bomba (opcional) y válvula de aire o purga en parte alta del tramo vertical (opcional pero recomendable).

Las salidas y derivaciones en tinacos tienen un tipo de tubería de PVC hidráulico C-40 o conexiones de polipropileno (para tinacos) con diámetros de salida del tinaco intermedio hacia bomba: 1” o

1.25”, con entrada a tinacos elevados: 1”, con líneas de distribución dentro del balneario: puede reducirse a ¾” o ½” según el consumo por punto de uso.

Operación

Fuente de abastecimiento

El sistema se abastece mediante extracción controlada de agua superficial proveniente de la Laguna de Bacalar (zona de Los Rápidos y La Laguna), en un volumen máximo de [5 / 10] m^3 diarios, destinado exclusivamente a servicios básicos del balneario. La captación se realiza sin modificación del cauce, mediante infraestructura ligera, y bajo un esquema de operación continua y regulada.

Sistema de bombeo y conducción.

El agua es conducida mediante un sistema automático de bombeo, diseñado para operar por demanda. El sistema cuenta con: control automático de encendido/apagado, protección contra trabajo en seco y limitación de volumen extraído conforme al consumo diario autorizado. La conducción se realiza por tubería cerrada, evitando pérdidas, derrames o contacto con el entorno.

Almacenamiento primario y cloración.

El agua extraída se conduce a un tinaco de almacenamiento primario ubicado en la zona de entrada del conjunto. En este punto se realiza cloración controlada, mediante dosificación directa al tinaco, con el objetivo de garantizar la calidad sanitaria del agua antes de su distribución. La dosificación se ajusta para cumplir con los parámetros establecidos en la normatividad aplicable para agua de uso y consumo humano (por ejemplo, NOM-127-SSA1-2021), manteniendo concentraciones seguras y efectivas. Con verificaciones periódicas de COFEPRIS.

Almacenamiento secundario y distribución.

Desde el tinaco de entrada, el agua clorada se bombea a los tinacos elevados ubicados en la parte superior del edificio principal. A partir de estos puntos, el agua se distribuye por gravedad a través de tuberías de PVC, abasteciendo sanitarios del edificio principal, sanitarios de los departamentos 1, 2 y 3, cocina, bar, área de lavado de utensilios y y labores generales de limpieza en el balneario de Los Rápidos y Cocina, limpieza, departamento y sanitarios en La Laguna. Este esquema reduce el consumo energético y permite un suministro estable.

Usos del agua.

El agua se destina exclusivamente a uso sanitario (baños), limpieza de utensilios para preparación de alimentos y bebidas, limpieza general de instalaciones, servicios básicos de los departamentos. No se utiliza para procesos industriales, riego extensivo ni usos que impliquen un consumo intensivo del recurso.

Monitoreo y control de calidad del agua.

El mantenimiento de los balnearios incluye un monitoreo periódico, que incluye verificación de cloro residual, inspección visual (color, olor, turbidez), limpieza y mantenimiento de tinacos y líneas. El

monitoreo se realiza conforme a las especificaciones establecidas en la normatividad sanitaria (COFEPRIS), garantizando condiciones adecuadas de calidad del agua para los usos previstos.

El enfoque de operación y prevención del sistema que opera es bajo los principios de uso eficiente del recurso hídrico, extracción proporcional a la capacidad del sistema lagunar, prevención de impactos ambientales y cumplimiento normativo. El volumen extraído representa una fracción mínima del caudal del sistema de Los Rápidos y la Laguna y no genera alteraciones significativas en la dinámica hidráulica ni en los procesos ecológicos asociados. Ver diagramas de flujo, Sistema hidráulico Los Rápidos y La Laguna (**Imágenes II.23** y **II.25**).

Mantenimiento

El adecuado funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua del balneario depende de un esquema de operación y mantenimiento preventivo que asegure la continuidad del servicio, la eficiencia en el uso del recurso hídrico y el cumplimiento de las disposiciones ambientales y sanitarias aplicables.

Esta subsección describe las actividades, frecuencias y responsables del mantenimiento del sistema hidráulico, así como los mecanismos de monitoreo de fugas y de calidad del agua, con el objetivo de prevenir fallas, minimizar pérdidas, garantizar condiciones sanitarias adecuadas y evitar impactos al entorno lagunar. El mantenimiento sistemático del sistema permite, además, detectar oportunamente cualquier anomalía en la infraestructura o en la calidad del agua suministrada, fortaleciendo un enfoque de gestión responsable, preventiva y sustentable del recurso hídrico en el contexto ambientalmente sensible de la Laguna de Bacalar.

Frecuencia de mantenimiento

Diaria
- Revisión visual del sistema de bombeo y tuberías visibles.
- Verificación del funcionamiento automático del sistema (encendido/apagado).
- Observación de presión y continuidad del suministro.

Semanal
- Verificación de niveles de agua en tinacos.
- Revisión del estado general de válvulas, conexiones y accesorios.
- Medición de cloro residual en el tinaco de entrada.

Mensual
- Limpieza básica de filtros (cuando aplique).
- Revisión del sistema de cloración y ajuste de dosificación.
- Inspección de posibles fugas no visibles (caídas de presión o consumo anormal).

Semestral
- Limpieza y desinfección de tinacos de almacenamiento.
- Mantenimiento preventivo del equipo de bombeo.
- Revisión integral de tuberías principales.

Anual
- Evaluación general del sistema hidráulico.
- Revisión del programa de operación y actualización de registros.
- Capacitación básica del personal operativo en manejo del sistema.

Responsables

Responsable mantenimineto de los balnearios
- Supervisión diaria del funcionamiento del sistema.
- Registro de consumos y observaciones operativas.
- Notificación inmediata de fallas o anomalías.

Personal de mantenimiento
- Ejecución de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

Limpieza de tinacos, revisión de bombas y tuberías.
Apoyo en mediciones básicas de cloro residual.
Monitoreo de fugas y calidad del agua
Monitoreo de fugas
Inspección visual periódica de:
tuberías expuestas,
válvulas,
conexiones,
y puntos de almacenamiento.
Comparación entre:
volumen extraído,
y volumen estimado de consumo.
Identificación de:
pérdidas de presión,
consumo atípico,
humedad persistente en zonas no expuestas al agua.
Atención inmediata y reparación en caso de detectar fugas.
Monitoreo de calidad del agua

Parámetros operativos básicos:

Cloro residual libre,
Olor,
Color,
Turbidez aparente.

Frecuencia:

Cloro residual: semanal o cuando se ajuste la dosificación,
Inspección visual: diaria,
Limpieza y desinfección de tinacos: semestral.

Criterio normativo:

El sistema de abastecimiento cuenta con un esquema de operación, mantenimiento y monitoreo preventivo que garantiza su funcionamiento eficiente, la calidad del agua suministrada y la detección oportuna de fugas, en apego a la normatividad ambiental y sanitaria aplicable.



Ilustración II-1 Infografia difundida entre elpersonal a traves del grupo de capacitación. Elaboración propia con información del área ambiental de los Rápidos. Imagen elaborada cona poyo de IA.

Estrategia de sensibilización ambiental para el uso eficiente y responsable del agua mediante el Grupo de Capacitación Ambiental Permanente

La estrategia de sensibilización ambiental dirigida al personal de operación y mantenimiento de Los Rápidos Laguna Club se desarrollará a través del Grupo de Capacitación Ambiental Permanente,

como un mecanismo continuo de formación, comunicación y participación del personal en la prevención de impactos ambientales asociados con las actividades cotidianas del establecimiento.

Su propósito es incorporar el uso eficiente y responsable del agua en las prácticas habituales de trabajo, promoviendo que cada persona identifique cómo sus actividades pueden contribuir al ahorro del recurso, a la prevención de fugas y desperdicios, y a la protección de los humedales y de la laguna, ecosistemas estrechamente vinculados con el funcionamiento ambiental del sitio.

Sistema sanitario

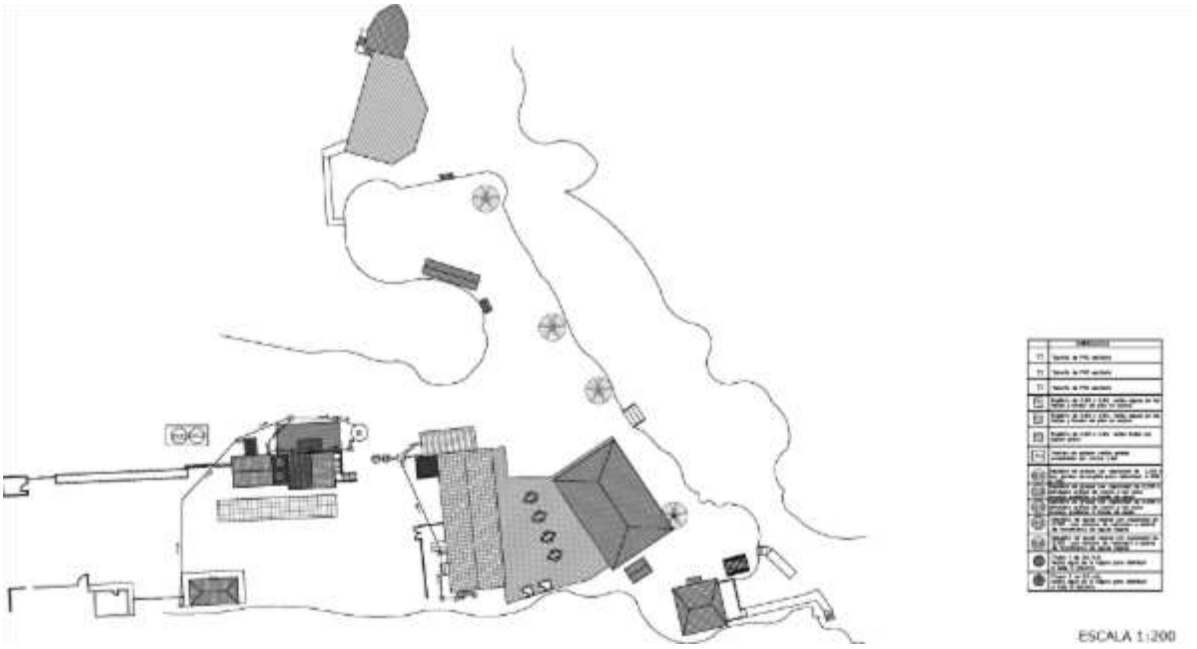


Imagen Plano II.17. Plano deConjunto, Sistema Sanitario Los Rápidos. Ver Anexos Plano Arquitectonicos y Fachadas y Cortes Los Rápidos

Los balnearios cuentan con un sistema sanitario diseñado para atender de manera diferenciada y controlada las aguas residuales generadas en los dos balnearios que integran el sitio: el Balneario Laguna y el Balneario Los Rápidos, considerando sus características operativas, ubicación y tipo de servicios, pero bajo un enfoque común de prevención ambiental y protección del sistema lagunar.

El sistema sanitario tiene como objetivo principal evitar cualquier descarga directa de aguas residuales a la Laguna de Bacalar, al canal de Los Rápidos o al suelo sin control, asegurando un manejo adecuado de los efluentes generados por las actividades del balneario.

Generación de aguas residuales

En ambos balnearios, las aguas residuales generadas corresponden exclusivamente a usos domésticos y de servicios turísticos, derivados de sanitarios, lavabos, cocina y bar, áreas de lavado y limpieza. Las aguas residuales se clasifican como aguas negras, provenientes de sanitarios, aguas grises, provenientes de regaderas, lavabos, cocina y áreas de servicio. No se generan aguas residuales de origen industrial ni con características peligrosas.

Conducción y separación

Cada balneario cuenta con su red interna de conducción de aguas residuales, conformada por tuberías cerradas y registros de inspección, diseñadas para asegurar el flujo adecuado por bombeo y facilitar las labores de mantenimiento.

En las áreas de cocina y bar de ambos balnearios se dispone de trampas de grasa, con el fin de retener aceites y sólidos antes de que las aguas residuales ingresen al sistema de tratamiento, reduciendo la carga orgánica y previniendo obstrucciones.

Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales generadas en el balneario Los Rápidos son conducidas a sistemas de tratamiento, dimensionados de acuerdo con el volumen generado en cada unidad operativa. Después del tratamiento son extraídos por pipa. En el caso de la Laguna solo son almacenado spara su extracción mediante pipa. Los sistemas de tratamiento fueron seleccionados considerando el bajo volumen de aguas residuales generadas, la naturaleza no peligrosa de los efluentes, la cercanía a cuerpos de agua sensibles, y la necesidad de prevenir infiltraciones o descargas no controladas. Ambos sistemas permiten la reducción de carga orgánica y sólidos, previo a su disposición final, y operan bajo esquemas de mantenimiento periódico.



Foto II-38. Detalle de PTAR Los Rápidos

Disposición final

La disposición final de las aguas residuales tratadas se realiza de manera controlada y conforme a la normatividad ambiental y sanitaria aplicable, sin descargas directas a la Laguna de Bacalar ni al canal de Los Rápidos.

El sistema sanitario fue concebido para resguardar la integridad del suelo y del acuífero, prevenir cualquier riesgo de contaminación al sistema lagunar y asegurar condiciones sanitarias adecuadas dentro del predio. Las aguas residuales generadas por las instalaciones son conducidas a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), donde reciben tratamiento conforme a los parámetros de calidad establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997.



Ilustración II-2 Infografía funcionamiento de la PTAR de los rápidos

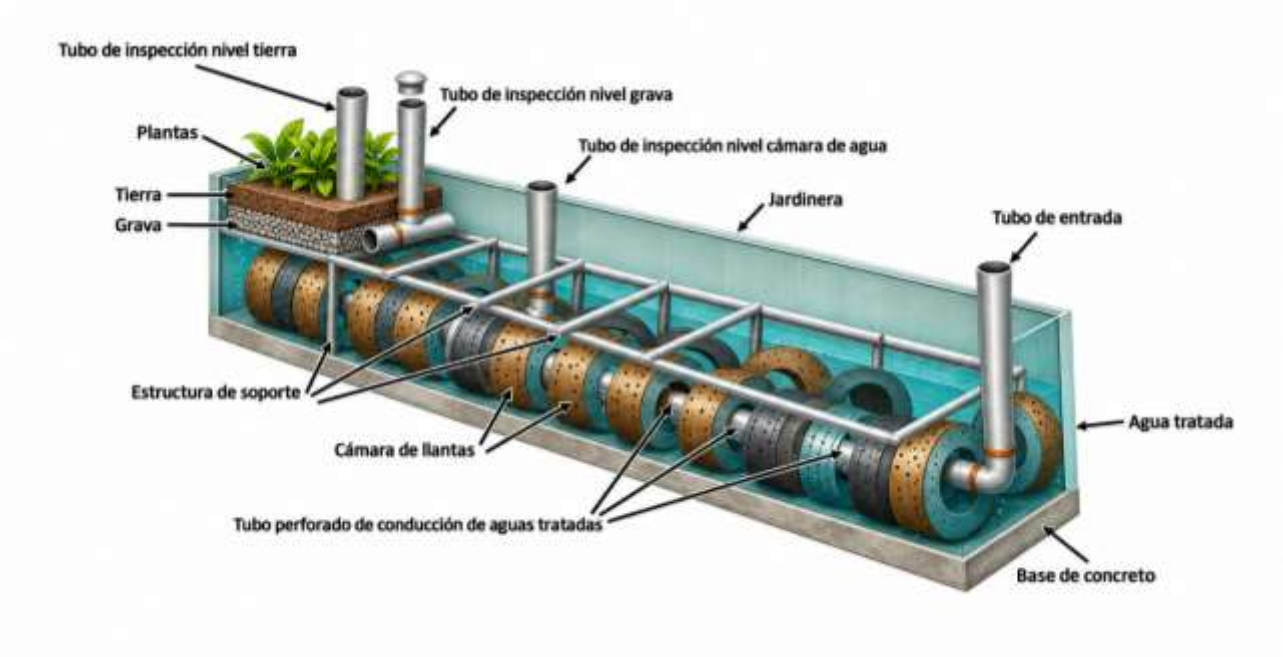
Del efluente tratado, su disposición se realiza mediante retiro periódico por pipas, las cuales lo transportan a sitios de disposición final autorizados, en apego a los permisos y lineamientos locales vigentes. El procedimiento operativo de la PTAR se describe con mayor detalle en el Manual de Operación, incluido en los anexos del presente documento. Para mas detalles ver la subseccion aguas residuales.

Para el caso de La Laguna, que maneja un volumen mucho menos de aguas residuales que Los Rápidos, la extracción se realiza directamente de un contenedor de 5,000 litros y se extrae a través de Pipa.

Cada sistema sanitario cuenta con el trabajo del personal de mantenimiento que verifica operación y mantenimiento, lo cual incluye inspección periódica de registros y tuberías, limpieza regular de trampas de grasa, mantenimiento de los sistemas de tratamiento, retiro y manejo adecuado de lodos cuando aplica, atención inmediata a fugas, obstrucciones o fallas. Estas acciones aseguran la eficiencia del tratamiento y la prevención de impactos ambientales.

El sistema sanitario de ambos balnearios forma parte de un enfoque integral de gestión del agua, asegurando que el aprovechamiento del recurso hídrico esté acompañado de un tratamiento adecuado de las aguas residuales, en apego a criterios de sustentabilidad y prevención ambiental.

Jardinera de evapotranspiración



La infraestructura de tratamiento de aguas residuales consiste en una jardinera de evapotranspiración de 30 m de longitud, 1 m de ancho y 1 m de altura interior, con un volumen geométrico total de 30 m³. De acuerdo con el Informe Técnico Preliminar. Análisis de Capacidad de la Jardinera de Evapotranspiración “Los Rápidos”, elaborado por María Luisa Villarreal Sonora, la estructura cuenta con una cámara inferior que ocupa aproximadamente el 65 % de su altura, equivalente a 19.5 m³ de volumen geométrico, destinada a la conducción, almacenamiento temporal y procesamiento del agua residual. Esta cámara incorpora 228 llantas de automóvil de rin 14, tuberías de PVC de 1 y 4 pulgadas para la distribución hidráulica, una estructura de soporte fabricada con tubería hidráulica y una capa de piedras dispersas que contribuye a estabilizar los elementos internos. La sección superior está destinada a alojar grava, tierra y vegetación, que participan en el proceso de evapotranspiración.

El análisis volumétrico preliminar estima que los componentes internos ocupan entre 2.84 y 3.22 m³, por lo que el volumen calculado disponible para el agua dentro de la cámara inferior se sitúa entre 16.28 y 16.66 m³. El documento también considera un caudal de llenado de 2.5 L/s y un desnivel aproximado de 15 cm en un tramo de 6 m, condiciones que hacen necesario controlar la

evolución del nivel del agua mediante los tubos de inspección instalados en distintos puntos de la jardinera. Como criterio operativo, se establece que el agua no debe sobrepasar el nivel de la grava, a fin de prevenir el sobrellenado de la estructura.[5]

La configuración constructiva y la disposición de sus componentes se muestran en la Figura X. Jardinera de evapotranspiración: esquema de componentes y configuración interna. La información detallada sobre dimensiones, cálculos volumétricos, capacidad útil, estimaciones de llenado, consideraciones de diseño y medidas de monitoreo se presenta en el informe técnico de referencia, cuya versión completa se incorpora en los anexos del presente informe ambiental.

Caminos internos

Para comprender el origen y la localización actual del balneario, es necesario explicar cómo surgió la zona desprovista de vegetación en la que se estableció la infraestructura principal junto al C anal de Xul-Ha (Canal de Los Rápidos). Más adelante, en el apartado del sistema ambiental, se detallarán las características ecológicas de esta área a lo largo de los últimos 40 años; sin embargo, aquí se presenta el contexto histórico y territorial sobre el cual se asienta la infraestructura y su vía de comunicación, que conecta actualmente la carretera federal 307 con el balneario.

El área desprovista de vegetación -donde hoy se ubica el balneario y su camino de acceso- corresponde a las obras remanentes de un proyecto carretero guebrnamental iniciado a principios de la década de 1990. Dicho proyecto buscaba construir una autopista que redujera los tiempos de traslado entre Chetumal y Bacalar. No obstante, la iniciativa generó fuertes conflictos sociales y agrarios, pues atravesaba terrenos ejidales y propiedades privadas sin contar con la autorización de los dueños, incluido el rancho donde actualmente se localiza Los Rápidos (**Imagen II.20**).

Aunque el trazo carretero del proyecto gubernamental llegó a contar con autorización en materia de impacto ambiental, la ejecución de las obras ocasionó impactos significativos: relleno de humedales en varios kilómetros del Estero de Chac, construcción de puentes sobre arroyos y canales de desfogue de la laguna, y alteraciones derivadas de lluvias atípicas que, al coincidir con los trabajos, provocaron cambios temporales en la coloración del agua. Estas afectaciones derivaron en un conflicto público y mediático que culminó con la cancelación del proyecto en 1992, durante el cambio de administración estatal del Ing. Miguel Borge al Ing. Mario Ernesto Villanueva.

Como consecuencia, lo que permaneció en el rancho fueron los rellenos, desmontes y trazos de caminos abiertos por los contratistas. Cuando los actuales propietarios adquirieron el terreno a finales de 1992, el área ya se encontraba desprovista de vegetación, con un camino de acceso consolidado que conectaba con las veredas internas del rancho, entonces dedicado a la ganadería y cría de caballos. A partir de esa condición preexistente, y aprovechando las modificaciones heredadas del fallido proyecto carretero, se estableció la infraestructura inicial de un rancho familiar.

Con el paso del tiempo, este camino y la zona intervenida en 1992 se convirtieron en la base para la instalación gradual de infraestructura. Lo que inició como un espacio familiar de uso agropecuario y de descanso evolucionó paulatinamente hacia un balneario con vocación turística, como se detalla en el cronograma de actividades y en los capítulos posteriores de este estudio. El camino de acceso, visible en imágenes satelitales desde 1992, constituye hasta hoy la vía principal de conexión entre la carretera federal y el balneario junto al Canal de Xul-Ha.

Dentro del predio, se cuenta con una red de caminos internos que permiten la movilidad y el acceso a diferentes puntos del terreno. A continuación, se detallan las principales vías (**Tabla II.11. Imagen II.21**). Esta infraestructura de caminos facilita el acceso al predio desde las localidades de Bacalar

[5] Villarreal Sonora, M. L. (2025.). Informe Técnico Preliminar: Análisis de Capacidad de la Jardinera de Evapotranspiración “Los Rápidos”. Documento técnico, en anexo.

y/o Chetumal y permite un adecuado desplazamiento al interior del predio, facilitando actividades de manejo, vigilancia, acceso turístico y monitoreo ambiental. Todos los caminos son terracerías o brechas (Fotos II.43)

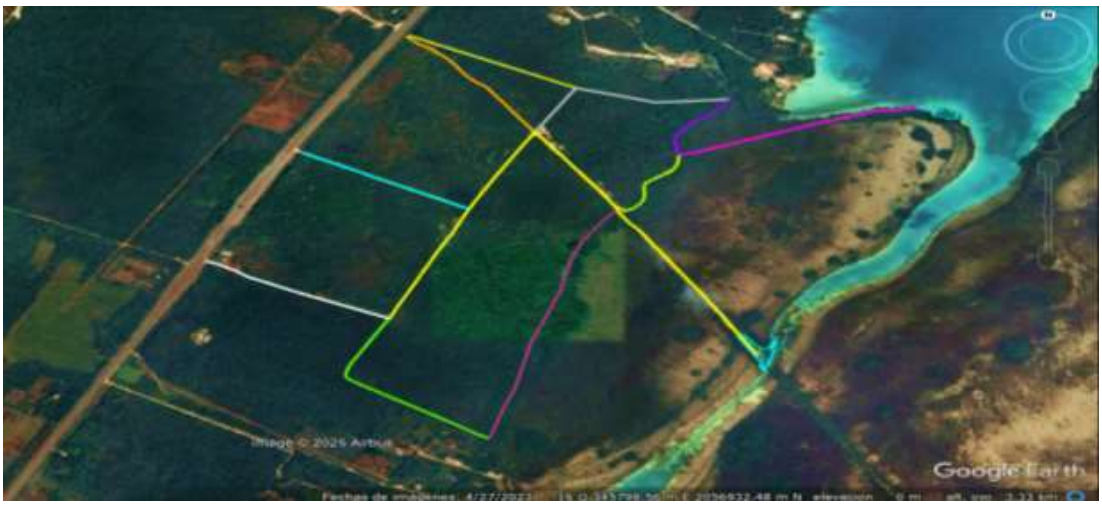


Imagen II.21. Red de caminos internos del predio Los Rápidos

Tabla II-7. Coordenadas geográficas en UTM o decimales (WGS84).

Clave	NOMBRE DE LA VÍA	Tipo	Ancho (m)	Longitud caminos (m)	m2	Superficie (Ha)
SCH	Salida a Chetumal	Camino interior permeable	6	507.23	3043.38	0.304338
SBC	Salida a Bacalar	Camino interior permeable	6	481	2886	0.2886
ACP	Acceso principal	Camino interior permeable	6	1825	10950	1.095
ACL	Acceso a la Laguna	Camino interior permeable	6	308	1848	0.1848
BRL	Brecha a la laguna	Brecha	3.5	662	2317	0.2317
BRM	Brecha manantial	Brecha	3.5	287	1004.5	0.10045
BRN	Brecha lindero norte	Brecha	3.5	615	2152.5	0.21525
BRS	Brecha lindero sur	Brecha	3.5	653	2285.5	0.22855
BRP	Brecha antiguo potrero	Brecha	3.5	516	1806	0.1806
BRC	Brecha área cerrada	Brecha	4	213	852	0.0852
MNT	Mensura norte	Brecha	3	481	1924	0.1924
				6548.23	31068.88	3.106888

II.2.1 Programa de trabajo

A continuación, se presenta una línea de tiempo del proyecto, con las distintas etapas de planeación, construcción y operación del proyecto Los Rápidos Lagoon Club, considerando que el predio se adquirió en 1992, que ya contaba con infraestructura básica tipo rancho, que la infraestructura o bien ya estaba presente en 1992 o comenzó a desarrollarse en diversas etapasa lo largo de 33 años.

Programación histórica de desarrollo y operación (1992 – 2026)

El proceso de planeación, construcción y operación de Los Rápidos Lagoon Club se ha dado de forma gradual y escalonada durante más de tres décadas, con una fase inicial de uso familiar (1992-2000), una etapa de consolidación básica (2001-2010), una expansión progresiva (2011-2014) y una fase intensiva a partir de 2015, en la cual se han concentrado las principales inversiones e infraestructuras para consolidar la operación turística, y a partir de 2020, bajo criterios de sustentabilidad ambiental.

El periodo comprendido entre 1992 y el año 2000 marca el inicio del proceso de desarrollo del predio que hoy conforma Los Rápidos Lagoon Club. Durante esta etapa inicial cuando aún era una parcela ejidal, el sitio conservó en gran medida su carácter de rancho familiar, con infraestructura rústica y de bajo impacto, orientada principalmente al descanso, la convivencia privada y a actividades agropecuarias. Las acciones realizadas en estos primeros años estuvieron enfocadas en adecuaciones mínimas para el disfrute recreativo del entorno natural, incorporando elementos ligeros como pequeñas champas de descanso, palapas de sombra, baños sencillos y zonas para hamacas. Asimismo, se habilitaron senderos y accesos básicos al canal, lo que permitió un uso incipiente del área con fines recreativos.

Este periodo es clave para entender el origen familiar y comunitario del proyecto, que en sus primeras fases no respondió a una lógica turística formal, sino a un aprovechamiento elemental de los recursos disponibles, siguiendo con la tradición famiiar ganadera en una porción del rancho, procurandio siempre conservar la riqueza paisajística y ambiental del sitio.

1992: Adquisición del predio con infraestructura básica tipo rancho familiar (muelle rústico, pequeñas champas de descanso y áreas de uso doméstico). Después de que el proyecto de autopista se detuvo

1993 – 1995: Adecuaciones iniciales para uso recreativo familiar (pequeñas palapas de sombra, baños rústicos y zonas de hamacas).

1996 – 2000: Inicio de servicios turísticos informales, se habilitan senderos y accesos, sencillos al canal.

Entre el año 2000 al 2010, se dieron los primeros pasos hacia una consolidación estructural del predio, con la incorporación de instalaciones más sólidas que respondieran a un uso turístico incipiente. Se construyeron baños con mejor infraestructura, se levantó el edificio de sanitarios y departamentos en la zona de “La Laguna”, y se reforzaron áreas auxiliares como champas, portakayaks y colgadores de chalecos.

Estas acciones representaron un avance significativo respecto a la etapa anterior, marcando la transición de un espacio familiar rústico hacia un lugar con vocación turística organizada, aunque todavía con una escala reducida y un enfoque de bajo impacto ambiental.

2001 – 2005: Construcción de áreas de descanso y recreación con materiales ligeros (madera, zacate).

2006 – 2010: Construcción del edificio de sanitarios, sistema de almacenamiento de aguas residuales y traslado y departamentos en la zona “La Laguna” (planta baja: baños; planta alta: departamentos). Mejoramiento de accesos al canal y construcción de infraestructura auxiliar básica (colgadores de chalecos, portakayaks, champas).

Entre 2011 y 2014, el proyecto entró en una fase de planeación y expansión progresiva, en la que se elaboraron los primeros planos arquitectónicos y estudios ambientales formales, sentando las bases para el desarrollo a gran escala que vendría después. En esta etapa se realizaron mejoras en los sanitarios, se reforzaron las áreas de servicio y se definieron lineamientos para la gestión ambiental del predio.

Este periodo se distingue porque, aunque las construcciones nuevas fueron limitadas, se generó una visión integral del proyecto, orientada a fortalecer la infraestructura, diversificar los servicios y garantizar la compatibilidad ambiental de futuras obras.

2011 – 2013: Mejoramiento de servicios sanitarios. Construcción de primeras áreas administrativas y de servicio.

2014: Planeación técnica para ampliar la operación turística, elaboración de planos arquitectónicos y de manejo ambiental.

La etapa más significativa del proyecto se inicia en 2011, con una fase de consolidación de rancho familiar a balneario que consolidó a Los Rápidos Lagoon Club como un referente turístico en la región. Durante estos años se acecuaron las principales estructuras: el edificio central (recepción, oficinas, cocina, bar y bodegas), la palapa comedor principal, el deck, la palapa mirador, así como el andador elevado de madera para la protección de los estromatolitos.

A finales de 2019, se instaló la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se mejoró el manejo de residuos y se reforzó el sistema de operación ambiental, con medidas como el retiro de lodos por pipas autorizadas y la sustitución de techos de zacate. Esta etapa, que continúa vigente, representa la madurez del proyecto, integrando infraestructura turística de calidad con un modelo de operación ambientalmente sustentable.

- Ampliación y mejora del edificio principal (recepción, oficinas, cocina, bar y bodegas).
- Mejora de la palapa comedor principal y terrazas anexas.
- Desarrollo del deck asoleadero y palapa mirador.
- Instalación del andador elevado de madera en zona litoral del canal.
- Mejora de infraestructura auxiliar mejorada (sombrillas, champas, contenedores de residuos).
- Instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- Mantenimiento y sustitución de techos de zacate.
- Fortalecimiento del sistema de operación ambiental (retirada de lodos por pipas autorizadas, reforzamiento de PTAR).
- Reforzamiento de áreas de seguridad y servicios turísticos.
- Actualización de mobiliario auxiliar y mantenimiento general de infraestructura.

Cuadro cronológico de etapas (1992 – 2026)

El desarrollo de Los Rápidos Lagoon Club ha sido un proceso gradual y continuo, en el que cada etapa respondió a las necesidades propias del momento, siempre bajo un enfoque de integración con el entorno natural y con progresiva consolidación turística. Desde la adquisición del predio en 1992, cuando predominaba su carácter de rancho agropecuario familiar con infraestructura rústica, hasta la actualidad, donde se cuenta con instalaciones consolidadas y un sistema de operación ambiental, el proyecto ha transitado por fases de adecuación, consolidación, planeación estratégica y construcción intensiva.

El siguiente cuadro cronológico sintetiza los principales hitos en materia de planeación, construcción y operación, así como el grado de intensidad de las actividades realizadas en cada etapa. Este esquema permite visualizar cómo, a partir de 2015, se concentró la fase más robusta de desarrollo, en la cual se construyeron las infraestructuras principales, se formalizó la operación turística y se fortaleció la gestión ambiental sustentable (Tabla II.12).

Tabla II-8. Cuadro cronológico de etapas (1992 – 2026)

Etapa / Periodo		Planeación	Construcción	Operación	Principales hitos
1992 – 2000	**Origen y adecuaciones familiares**	●	●	●	Adquisición del predio (1992). Adecuaciones iniciales (palapas, baños rústicos, hamacas). Uso agropecuario familiar e Inicio de uso recreativo familiar.
2001 – 2010	**Consolidación básica**	●	●●	●	Adecuación del edificio de sanitarios y departamentos (≈2010). Infraestructura auxiliar inicial para uso familiar. Inicio de visitas por personas ajenas a la familia.
2011 – 2026	**Mejoramiento de infraestructura**	●●	●	●●	Mejoras en servicios. Planeación de ampliación turística.
2015 – 2017	**Fortalecimiento intensivo I**	●	●●●	●●	Adecuación del edificio principal de casa familiar a edificio principal (recepción, cocina, bar, bodegas). Palapa comedora principal.
2018 – 2020	**Mejoramiento de infraestructura**	●	●●	●●●	Mejora de infraestructura y establecimiento de PTAR
2021 – 2023	**Mantenimiento y fortalecimiento**	●	●●	●●●	Sustitución de techos de zacate, mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas, reforzamiento ambiental y seguridad.
2024 – 2026	**Consolidación actual**	●●	●	●●●	Actualización de mobiliario, reforzamiento de servicios turísticos, mantenimiento integral de estructuras de madera.

Etapa / Periodo	Planeación	Construcción	Operación	Principales hitos
Leyenda de intensidad: ● = Actividad ligera ●● = Actividad moderada ●●● = Actividad intensiva				

El análisis histórico del proyecto permite identificar con claridad la evolución gradual de Los Rápidos Lagoon Club, diferenciada en fases que reflejan cambios en la escala, el enfoque y la relación con el entorno. Cada periodo representa un momento específico en la transición de un espacio inicialmente familiar y rústico, de un racho agropecuario hacia un centro turístico consolidado con un modelo de operación sustentable.

De esta manera se muestra que:

1992-2000 fue más bien uso familiar, agropecuario y adecuaciones.

2001-2010 se dejó de lado las actividades agropecuarias, inicios de actividad turística,,se consolidaron servicios básicos.

2011-2014 Consolidación del modelo sustentable. en adelante inició la fase más fuerte de desarrollo turístico rentable y ambientalmente sustentable**.**

En conjunto, estas etapas reflejan no solo el crecimiento paulatino de la infraestructura y los servicios, sino también la incorporación progresiva de criterios de sustentabilidad y manejo ambiental. Este proceso permitió que, a partir de 2015, el proyecto se consolidara como un espacio turístico con instalaciones sólidas y, al mismo tiempo, con medidas efectivas para la protección del entorno lagunar. La evolución histórica de Los Rápidos Lagoon Club demuestra así que la planeación gradual, acompañada de un compromiso ambiental constante, ha sido clave para garantizar la viabilidad y permanencia del proyecto en la región.

Medidas ambientales: tiempos y responsables

La gestión ambiental del predio ha evolucionado de manera gradual a lo largo de más de tres décadas, en respuesta tanto a las necesidades del proyecto como a los retos de conservación de la laguna y su entorno. Desde las primeras adecuaciones familiares con materiales naturales, hasta la implementación de infraestructura especializada y programas de manejo ambiental, se ha seguido una trayectoria de aprendizaje y adaptación continua. En esta sección se presentan, de manera cronológica, las principales medidas ambientales adoptadas en cada etapa de desarrollo, así como los responsables directos de su implementación. Este registro permite identificar la transición desde un manejo básico, orientado a la funcionalidad inmediata, hacia un modelo de gestión integral que incorpora planeación técnica, participación de especialistas y estrategias de conservación más complejas.

El cuadro sintetiza cómo cada periodo marcó un hito en la consolidación de buenas prácticas ambientales, destacando el papel activo de los propietarios, trabajadores locales, consultores externos y personal de mantenimiento en la protección y sostenibilidad del predio (Tabla II.13).

Tabla II-9. Cronograma de evolución de gestión ambiental

Periodo / Etapa		Medida ambiental principal	Responsable(s) directos
1992 – 2000	**Origen y adecuaciones familiares**	Uso de materiales naturales (madera y zacate) y construcción ligera. Manejo básico de residuos sólidos.	Propietarios y trabajadores familiares.

Periodo / Etapa		Medida ambiental principal	Responsable(s) directos
2001 – 2010	**Consolidación básica**	Implementación de baños con disposición controlada de aguas negras en fosas sépticas. Manejo manual de residuos y reciclaje básico.	Personal de mantenimiento y administración familiar.
2011 – 2026	**Mejoramiento de infraestructura**	Planeación ambiental del proyecto: consulta de expertos (biólogos, arquitectos). Capacitación inicial a personal en buenas prácticas. Instalación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).	Propietarios + consultores externos.
2015 – 2017	**Manejo intensivo I**	Construcción con pilotes de madera (sin concreto en áreas sensibles). Programa de manejo de residuos sólidos urbanos.	Dirección del proyecto + contratistas locales.
2018 – 2020	**Mejoramiento de infraestructura y educación a visitantes**	Protección de microbialitos mediante andador elevado. Monitoreo de calidad del agua en canal. Señalización ambiental para visitantes. Sensibilización a visitantes, vigilancia ambiental del predio	Administradores del club + asesores ambientales.
2024 – 2026	**Consolidación actual**	Programa ambiental: control de residuos, monitoreo hídrico, actualización de infraestructura removible.	Propietarios + mantenimiento

II.2.2 Representación gráfica local

En esta sección se presentan los planos de conjunto de los balnearios Los Rápidos y La Laguna, mostrando de manera detallada la ubicación de construcciones, servicios, accesos y áreas de conservación ambiental dentro de cada predio. Estos planos permiten visualizar la distribución espacial de las obras e infraestructura, incluyendo los elementos que por su efecto ambiental requieren mayor detalle, y garantizan coherencia con la información presentada en la sección II.1.2 (Ubicación física).

Adicionalmente, se incluyen planos particulares de cada estructura relevante, detallando dimensiones, materiales y ubicación específica dentro del predio. Esta presentación facilita la comprensión de la relación entre el proyecto y su entorno, y respalda la planificación de medidas de mitigación, conservación ambiental y protección de ecosistemas sensibles como los microbialitos y humedales. Ver planos de conjunto en anexo

Para cada una de las obras descritas anteriormente se incluyen su ubicación correspondiente en imágenes satelitales, una representación del plano específico de la infraestructura y una fotografía que ilustra el elemento o construcción descrita.

II.2.3 Etapa de preparación y construcción

El desarrollo del predio se ha llevado a cabo de manera gradual desde su adquisición en 1992, siguiendo un proceso estructurado de planeación y construcción de las distintas obras que conforman ambos balnearios. A continuación, se describen las etapas principales de planeación y construcción de cada componente, considerando los periodos establecidos en el Cuadro Cronológico (Tabla II.10) y los hitos relevantes:

1992 – 2000: Origen y adecuaciones familiares

Durante este periodo inicial se realizaron adecuaciones de carácter familiar, centradas en la habilitación de palapas, baños rústicos y zonas de hamacas para uso recreativo familiar. La planeación fue ligera, orientada a definir la ubicación de estas estructuras de forma funcional y respetando las condiciones naturales del terreno. La construcción se limitó a obras básicas, con materiales locales de bajo impacto.

2001 – 2010: Consolidación básica

Se llevó a cabo la mejora del edificio de sanitarios y departamentos (≈2010) como primer componente estructural de mayor envergadura, empleando materiales duraderos como block y concreto para pisos cerámicos. Habían sido establecidos con antelación como edificios para ocupacion de la familia. Paralelamente, se instaló infraestructura auxiliar inicial para facilitar el uso por visitantes externos. La planeación incluyó la definición de la ubicación de los edificios y la disposición de servicios básicos, con estudios preliminares de funcionalidad y accesibilidad.

2011 – 2014: Expansión progresiva

Esta etapa se caracterizó por una planeación moderada, con énfasis en la ampliación turística y mejoras en servicios. Se elaboraron planos y estudios ambientales, orientando la futura construcción de estructuras complementarias. La actividad de construcción fue ligera, centrada en adecuaciones menores y mejoras en los sistemas existentes, asegurando compatibilidad con los ecosistemas circundantes.

2015 – 2017: Desarrollo intensivo I

Se ejecutaron de manera intensiva las obras principales, incluyendo el edificio principal (recepción, cocina, bar, bodegas) y la palapa comedor principal. La planeación de estos componentes consideró criterios estructurales, de seguridad y de integración paisajística. Los trabajos de construcción fueron de alta intensidad, con supervisión continua para garantizar calidad y cumplimiento de especificaciones técnicas.

2018 – 2020: Desarrollo intensivo II (Pandemia I)

Se completaron obras complementarias de relevancia, tales como el deck asoleadero, palapa mirador y andador elevado de madera, junto con la ampliación de infraestructura auxiliar. La planeación se orientó a la optimización de recorridos, seguridad de visitantes y minimización de impacto ambiental. La construcción fue intensiva, utilizando madera tratada y técnicas que garantizan durabilidad y respeto a los microbialitos.

2021 – 2023: Mantenimiento y fortalecimiento ambiental (Pandemia II)

Durante este periodo se ejecutaron actividades de reforzamiento estructural y ambiental, incluyendo sustitución de techos de zacate, mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y refuerzo de medidas de protección ambiental. La construcción fue moderada, orientada a mantenimiento correctivo y preventivo, asegurando la funcionalidad de los sistemas existentes y la preservación de la biodiversidad.

2024 – 2026: Consolidación actual

Se realizaron trabajos de actualización de mobiliario, reforzamiento de servicios turísticos y mantenimiento integral de estructuras de madera. La planeación moderada consideró la optimización de servicios y la mejora continua de la experiencia turística. La construcción fue ligera, centrada en ajustes finales y mejoras estéticas y funcionales, consolidando la infraestructura de ambos balnearios.

En conjunto, estas etapas muestran un proceso evolutivo y progresivo, donde cada componente ha sido planeado y construido considerando criterios de funcionalidad, seguridad, sostenibilidad ambiental y durabilidad, asegurando la integración de los balnearios al entorno natural y la conservación de los recursos ecológicos.

II.2.4 Etapa de operación y mantenimiento

El predio y sus balnearios han operado de manera continua desde la construcción de las primeras infraestructuras, siguiendo un modelo de operación y mantenimiento progresivo que garantiza la funcionalidad de las instalaciones, la seguridad de los visitantes y la conservación ambiental.

Actividades actuales

La operación diaria incluye la prestación de servicios turísticos completos: atención en recepción, mantenimiento de áreas recreativas, operación de restaurantes y cocinas, servicio de kayaks, vigilancia de los canales y zonas con microbialitos, así como control de accesos y seguridad general. Se incluye la supervisión constante del cumplimiento de normas ambientales, tales como la prohibición de bloqueadores o químicos que puedan afectar la biodiversidad y la instrucción a los visitantes sobre prácticas seguras y respetuosas del entorno natural.

Mantenimiento

Las acciones de mantenimiento se realizan de manera integral y se clasifican en preventivas y correctivas:

Mantenimiento preventivo: inspección regular de estructuras de madera y palapas, limpieza de áreas comunes, revisión de sistemas eléctricos, hidráulicos y sanitarios, mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y, cuando terminen las pruebas, de la jardinera de evapotranspiración.

Mantenimiento correctivo: reparación de daños en techos, decks, muelles y andadores; reemplazo de mobiliario dañado; revisión y corrección de fallas en sistemas eléctricos o hidráulicos; ajustes en infraestructura auxiliar.

Estas acciones han permitido preservar la integridad de las instalaciones a lo largo de más de tres décadas y minimizar los riesgos para los visitantes.

Desde 2020 hasta 2023, la operación se vio afectada por la contingencia de la pandemia, reduciendo la afluencia de visitantes y limitando temporalmente la operación de servicios, lo que también generó ajustes en el mantenimiento preventivo y correctivo (Tabla II.14).

Tabla II-10.Etapas de operación y mantenimiento (1992–2026)

Etapa / Periodo	**Operación**	**Mantenimiento**	**Principales hitos**
1992 – 2000	● Uso familiar y recreativo inicial Rancho agropecuario	● Limpieza básica de palapas, baños rústicos y áreas comunes	Adquisición del predio; adecuaciones iniciales; inicio de uso recreativo familiar
2001 – 2010	●● Apertura a visitantes ajenos a la familia pero continuaba siendo rancho agropecuario	●● Inspección de infraestructura básica, mantenimiento de baños y palapas	Construcción de sanitarios y departamentos; instalación de infraestructura auxiliar inicial

Etapa / Periodo	Operación	Mantenimiento	Principales hitos
2011 – 2014	●●● Expansión de visitas turísticas; control de acceso. 2014 año de inicio de operaciones como balneario privado	●● Revisión y mejora de servicios, elaboración de planos y estudios ambientales	Planeación de ampliación turística; elaboración de manuales y protocolos operativos
2015 – 2017	●●● Operación intensiva con apertura del edificio principal	●●● Mantenimiento intensivo de recepción, cocina, bar, bodegas y palapa comedor	Construcción y puesta en operación del edificio principal y palapa comedor
2018 – 2020	●●● Operación completa con infraestructura ajustada a operación	●● Mantenimiento de deck, andador elevado y palapa mirador	Ampliación de infraestructura auxiliar; construcción de andador elevado para protección ambiental
2021 – 2023	●● Operación parcial por contingencia (pandemia)	●● Mantenimiento preventivo de PTAR, techos de zacate y reforzamiento ambiental	Ajustes por pandemia; reducción temporal de personal y afluencia de visitantes
2024 – 2026	●●● Operación consolidada con servicios turísticos completos	●● Mantenimiento integral de estructuras de madera, instalaciones y mobiliario	Actualización de mobiliario; reforzamiento de servicios turísticos y sostenibilidad ambiental
Leyenda de intensidad: ● = Actividad ligera ●● = Actividad moderada ●●● = Actividad intensiva			

Los manuales de operación que se han generado como guías breves de mantenimiento y operación, fueron basadas en la experiencia empírica del personal que labora en los sitios desde hace una o dos décadas en los departamentos de mantenimiento y de operación. El manual de operaciones simplificado se terminó de integrar recientemente, tomando en consideración los procesos que de manera orgánica ya realizan. Se está trabajando para incorporar los procesos de documentación.

II.2.5 Etapa de abandono

Aunque en el corto y mediano plazo no se contempla el abandono definitivo de los balnearios que conforman *Los Rápidos Lagoon*, se considera indispensable prever un escenario futuro de abandono ordenado, en el que el espacio pueda reintegrarse al paisaje natural y a la memoria histórica del rancho donde se ubica.

Plan tentativo

En caso de que se determine el cierre definitivo de actividades en los balnearios *Los Rápidos*, *La Laguna*, se implementará un plan de abandono y restauración con criterios ambientales, de seguridad y responsabilidad social, en un periodo de **tres años**, asegurando la restauración del sitio y la prevención de impactos negativos a largo plazo (Tabla II.15).

Fase 1 (Meses 1–12): Preparación y retiro inicial

- Elaboración de inventario detallado de infraestructura, equipos y materiales.
- Retiro de mobiliario menor y enseres domésticos de la *casa del velador*.
- Desmontaje progresivo de palapas y techumbres de palma en ambos balnearios.
- Retiro de señalética y mobiliario turístico (mesas, bancas, basureros).
- Involucramiento de la comunidad en el **reaprovechamiento de madera y palma**.
- Inicio de campañas de **limpieza manual** en riberas y alrededores de los cuerpos de agua.

Fase 2 (Meses 13–24): Desmontaje de infraestructura principal

- Desmantelamiento controlado de baños, muelles, andadores y miradores.
- Retiro de estructuras de concreto y su traslado a sitios autorizados o trituración para relleno de caminos.
- Cierre progresivo de instalaciones sanitarias:
- Extracción de lodos de fosas sépticas y biodigestores.
- Sellado de las mismas para evitar filtraciones.
- Retiro de sistemas hidráulicos (tinacos, tuberías, bombas) y eléctricos (cableado, lámparas, medidores).
- Limpieza y retiro de residuos sólidos y materiales no reciclables.

Fase 3 (Meses 25–36): Restauración ambiental y cierre administrativo

- Retiro final de la casa del velador con demolición controlada y reaprovechamiento de materiales.
- Nivelación de suelos y colocación de capa de tierra fértil en áreas impactadas.
- Reforestación gradual con especies nativas (palma chit, chicozapote, ramón, cedro) en zonas donde se retiraron infraestructuras.
- Monitoreo de la recuperación de la vegetación y del estado de las riberas.
- Colocación de señalética de área restaurada y restricción de acceso no autorizado.
- Presentación de informe final a SEMARNAT con evidencias fotográficas, bitácoras de disposición de residuos y reportes de reforestación.

Seguridad

- Supervisión continua durante los tres años para evitar accidentes y accesos indebidos.
- Señalización temporal en cada fase.

Tabla II-11. Cronograma Plan tentativo de abandono

Fase / Año	**Actividades principales**	**Periodo estimado**	**Responsables**
Año 1 (Meses 1–12) Preparación y retiro inicial	- Inventario de infraestructura y equipos.	Mes 1 a 12	Propietarios / Administración
	- Retiro de mobiliario menor y enseres de la casa del velador.		

Fase / Año	Actividades principales	Periodo estimado	Responsables
	- Desmontaje progresivo de palapas y techumbres de palma.		ejidal / Mano de obra local
	- Retiro de señalética y mobiliario turístico.		
	- Limpieza manual inicial de riberas y alrededores.		
	- Reaprovechamiento comunitario de materiales naturales (palma, madera).		
Año 2 (Meses 13–24) Desmontaje de infraestructura principal	- Desmantelamiento de baños, muelles, andadores y miradores.	Mes 13 a 24	Propietarios / Supervisión ambiental / Contratistas autorizados
	- Retiro y disposición autorizada de concreto y mampostería.		
	- Cierre de instalaciones sanitarias: extracción de lodos y sellado de fosas sépticas.		
	- Retiro de sistemas hidráulicos (tinacos, bombas, tuberías) y eléctricos (cableado, lámparas, medidores).		
	- Limpieza y retiro de residuos sólidos no reciclables.		
Año 3 (Meses 25–36) Restauración y cierre administrativo	- Retiro final de la casa del velador mediante demolición controlada.	Mes 25 a 36	Propietarios / Comité comunitario / Asesor técnico ambiental
	- Nivelación de suelos y colocación de tierra fértil.		
	- Reforestación con especies nativas (palma chit, ramón, chicozapote, cedro).		
	- Monitoreo de la recuperación vegetal y estabilidad de riberas.		
	- Señalización de área restaurada.		
	- Elaboración y entrega de informe final ante SEMARNAT con evidencia documental.		

Rehabilitación

Una vez retirada la infraestructura, se desarrollarán acciones de restauración y compensación ambiental orientadas a devolver al sitio sus funciones ecológicas, paisajísticas y sociales. Este proceso se plantea de forma gradual durante los tres años posteriores al cierre, asegurando el arraigo de las especies vegetales, la recuperación de los suelos y la reintegración armónica del paisaje.

1. Vegetación

- Reforestación con especies nativas: se utilizarán especies propias de la ribera lagunar (como palma chit, ramón, tasiste, zapote y uva de playa) y de la selva mediana (cedro, chicozapote, caoba, ramón) con el fin de restablecer la composición vegetal original.
- Cobertura herbácea y arbustiva: en las áreas donde hubo mayor compactación del suelo se sembrarán especies de cobertura de rápido crecimiento (gramíneas y leguminosas nativas) para mejorar la infiltración de agua y acelerar el ciclo de regeneración natural.

- Control de especies exóticas e invasoras: se realizará la identificación y retiro de plantas introducidas (por ejemplo, ornato no nativo) que puedan obstaculizar la recuperación de la flora local.
- Monitoreo de sobrevivencia: cada seis meses se evaluará el éxito de la reforestación, aplicando riegos de apoyo en temporada seca y reposición de plantas en caso necesario.

2. Suelos

- Descompactación mecánica: en caminos y áreas de tránsito intensivo se aplicará subsolado o escarificación ligera para permitir la aireación y mejorar la infiltración.
- Recuperación de calidad edáfica: se retirarán escombros, materiales inertes y restos de concreto, sustituyéndolos con suelo fértil y abonos orgánicos producidos localmente (composta).
- Incorporación de materia orgánica: aplicación controlada de composta y estiércol en zonas degradadas para incrementar la capacidad de retención de nutrientes y estimular la actividad biológica del suelo.
- Prevención de erosión: uso de barreras vivas con vegetación nativa y colocación de acolchados vegetales para reducir la pérdida de suelo por escorrentía.

3. Paisaje e infraestructura

- Eliminación total de estructuras artificiales en ribera: retiro de pilotes, muelles y barandales para restituir el ecosistema de la ribera.
- Restauración progresiva del paisaje: el objetivo es evocar la fisonomía original del rancho antes del desarrollo de los balnearios, devolviendo protagonismo a los elementos naturales (agua, vegetación y fauna).
- Reintegración de fauna silvestre: con el restablecimiento de la vegetación y la tranquilidad del sitio, se espera el retorno gradual de aves acuáticas, reptiles y pequeños mamíferos; se propondrá un programa de avistamiento y registro de especies como indicador de éxito.
- Sitios de interpretación ambiental: se podrán instalar pequeños espacios de señalización educativa (mínimos e integrados al entorno), que documenten el proceso de restauración, con valor pedagógico para la comunidad y visitantes.

4. Compensación ambiental

- Programa de monitoreo: se realizará un seguimiento anual de la recuperación de vegetación, fauna y calidad del suelo.
- Medidas compensatorias: en caso de que alguna superficie no logre la regeneración esperada, se propondrán acciones adicionales como incremento en la densidad de siembra, riego suplementario o ampliación de áreas de restauración en terrenos aledaños.
- Participación comunitaria: se fomentará la inclusión de ejidatarios y vecinos en la plantación, el mantenimiento y el monitoreo, generando sentido de pertenencia y beneficios sociales.

Evidencias

Como soporte del cumplimiento de este escenario de abandono y rehabilitación, se proponen los siguientes instrumentos (Ver documentos adjuntos):

- Plan de cierre con cronograma detallado de actividades.

- Proyecto de restauración ecológica y compensación ambiental.
- Cartas compromiso de los responsables de la operación del balneario, garantizando la ejecución de las medidas de cierre.
- Registro fotográfico y georreferenciado del antes, durante y después de las acciones de restauración.

Así, se asegura que, aun en un hipotético abandono, *Los Rápidos Lagoon Club* transite de manera ordenada hacia un proceso de regeneración ecológica y paisajística, preservando tanto la integridad del ecosistema como la memoria cultural del rancho donde se desarrolló.

II.2.6 Utilización de explosivos

No se utilizan explosivos

II.2.7 Manejo de residuos y emisiones

Primera etapa: Apertura gradual del rancho familiar (aprox. 1990 – 2010)

El rancho operaba principalmente como una propiedad agropecuaria familiar, dedicada a actividades de cultivo, crianza de ganado y autoconsumo. En este período, los residuos generados eran típicos de un rancho familiar y agropecuario: restos de alimentos de la familia, estiércol y residuos vegetales del huerto, envases de productos de uso doméstico, aceites y lubricantes de maquinaria, y pintura o herramientas de mantenimiento de instalaciones. La producción de basura estaba limitada y concentrada en zonas de uso familiar, y la gestión de residuos se realizaba de manera manual y localizada, con disposición directa en el terreno o reutilización cuando era posible (por ejemplo, restos orgánicos como abono para el huerto).

Hacia finales de los años 90 y principios de los 2000, el rancho comenzó a permitir la entrada de grupos externos, como Scouts, campistas y visitantes de la comunidad, que buscaban disfrutar de las áreas naturales, acampar o realizar actividades recreativas. Este cambio significó la introducción de residuos ajenos al funcionamiento agropecuario, incrementando la complejidad de la gestión y el riesgo de impacto ambiental. La gratuidad del acceso generó un fenómeno de uso descontrolado y poca responsabilidad ambiental. Los visitantes dejaban residuos orgánicos, plásticos, empaques, pañales e incluso excretas en zonas de manglares y matorrales.

La basura de los visitantes amenzaba con una saturación del área y un impacto ambiental significativo: contaminación de suelos y agua, proliferación de desechos dispersos y conflictos frecuentes entre el personal del rancho y los visitantes. Se invirtió un gran esfuerzo despoués de cada día de operación en esta etapa para limpiar las zonas, de hablar con lso visitantes para sensibilizarlos sobre la necesidad y obligatoriedad de no utilizar la zona como basurero a cielo abierto, pero un gran porcentaje de los visitantes no estaban interesados en seguir las recomendaciones.

Generación de residuos aproximada

- Orgánicos: restos de alimentos y vegetales del rancho (5–10 kg/día)
- Inorgánicos: plásticos, papel, cartón, envases de bebida, empaques de productos de uso doméstico
- Residuos peligrosos menores: aceite de maquinaria, pintura, herramientas de mantenimiento

Gestión

Limitada y basada en recolección manual y disposición local sin separación ni tratamiento formal. La gestión de residuos se mantenía principalmente para los desechos agropecuarios, pero la llegada de visitantes externos desbordó estos sistemas tradicionales. Comenzaron a presentar gran cantidad de basura en caminos y zonas de balnearios, y aunque se solicitaba a los visitantes el respeto y llevarse sus residuos, se suscitaban conflictos y los residuos continuaban siendo un problema mayor.

Segunda etapa: Primeros intentos de control mediante cobro simbólico (aprox. 2010 – 2014)

Con el incremento constante de visitantes y la presión sobre los ecosistemas, se implementó un cobro de acceso simbólico (aproximadamente $50 actuales) como primera medida para generar percepción de valor y responsabilidad ambiental. No obstante, a pesar de la introducción de la tarifa, muchos visitantes seguían considerando que el rancho era un espacio de disposición libre de residuos. Traían comida y bebidas, generando residuos dispersos y ruido.

La cantidad de basura continuaba siendo elevada, con pañales, restos de comida y plásticos esparcidos por suelos y humedales incluso donde ya existían botes de basura y personal recordando las normas. La gestión de residuos de origen familiar seguía operando de manera tradicional, mientras que los desechos de visitantes representaban un desafío nuevo y difícil de controlar.

Generación aproximada de residuos:

- Orgánicos y reciclables aumentaron ligeramente debido a la mayor afluencia de visitantes.
- Los residuos eran tirados por los visitantes desde los vehículos que entraban al o salían del rancho y quedaban a la orilla del camino, entre los ecosistemas cercanos en regeneración y en las zonas de los balnearios.
- Los residuos se mantenían similares a la etapa anterior, aunque la dispersión de los residuos aumentaba el riesgo de contaminación.

Gestión

Se iniciaron campañas de sensibilización y se reforzó la presencia del personal para el control de basura, pero el manejo efectivo seguía siendo limitado. La estrategia se centraba en educar a los visitantes y fomentar la deposición de residuos en los contenedores disponibles, aunque sin herramientas suficientes para garantizar cumplimiento.

Tercera etapa: Estrategias de control y exclusivización (aprox. 2015 – 2020)

A partir de 2015, ante la problemática continua de residuos dejados por los visitantes, y el riesgo de saturación del pequeño polígono donde están los balnearios (el rancho tiene 179 hectáreas, pero las zonas de balneario solo ocupan alrededor de 6mil metros cuadrados) y con el objetivo de reducir el potencial de impacto ambiental, se implementaron medidas más estrictas para controlar el acceso y la generación de residuos:

- Se prohibió la entrada de alimentos y bebidas externas, incentivando que los visitantes consumieran productos ofrecidos en los servicios internos (restaurante y bar).

- Se elevaron progresivamente las tarifas de acceso, funcionando como un filtro social que limitaba la afluencia de visitantes y reducía el riesgo de saturación y contaminación.
- Se establecieron normas claras de comportamiento, incluyendo la obligación de depositar residuos en los contenedores disponibles.

Estas medidas permitieron concentrar la generación de residuos en puntos controlados, reducir la dispersión de basura en humedales y matorrales, y fomentar un mayor respeto por los ecosistemas del rancho. Aun así, al principio hubo resistencia de los visitantes, quienes percibían que el pago de la tarifa les otorgaba derecho a hacer lo que quisieran. Con la implementación de los controles y la oferta de servicios internos, se logró un cambio gradual en la percepción y comportamiento de los usuarios.

Generación de residuos, aproximada:

- Orgánicos: 30–50 kg/día (restos de alimentos del restaurante y visitantes)
- Reciclables: PET, vidrio, aluminio, cartón (ligero aumento por mayor afluencia)
- Inorgánicos no reciclables: plásticos y empaques no recuperables
- Residuos de mantenimiento y peligrosos: aceites, filtros, pinturas

Gestión

- Separación de residuos en origen.
- Recolección diaria y manejo centralizado.

Cuarta etapa: Consolidación del manejo y sostenibilidad (2021 – 2026)

Con la infraestructura y operación turística maduras, se comenzó a trabajar el Manual de Operaciones, formalizando todas las rutinas de manejo de residuos y control de visitantes. La estrategia de exclusivización se convirtió en la herramienta principal para equilibrar uso turístico y conservación ambiental. Adicionalmente, La experiencia derivada de la pandemia de COVID-19, particularmente la implementación de limitantes en el volumen de visitantes diarios, permitió constatar que la reducción del aforo es una medida eficaz para disminuir la presión sobre los balnearios. El control de accesos y la operación con aforos reducidos favorecieron un uso más ordenado del sitio y facilitaron la supervisión del comportamiento de los visitantes.

Asimismo, la aplicación obligatoria de reglas de acceso, permanencia y manejo de residuos propició una reeducación de los visitantes, quienes se adaptaron al respeto de los límites de carga del sitio y a prácticas más responsables en la disposición de residuos. Esta experiencia fortaleció la estrategia de reducción de presión antrópica en los balnearios, evidenciando que el control de aforo y la corresponsabilidad de los usuarios son herramientas clave para el manejo ambiental y la protección del área.

Medidas clave

- Sistemas de separación de residuos en origen y disposición autorizada de residuos peligrosos.
- Tratamiento de aguas negras y grises mediante instalaciones propias.
- Supervisión del acceso mediante tarifas, reservas y reglas de comportamiento, garantizando que la capacidad de carga del sitio no fuera excedida.

- Educación ambiental de visitantes sobre la importancia de respetar las normas y cuidar los ecosistemas, incluyendo los microbialitos del Canal de Xul-Ha y La Laguna.

Resultados observados

- Reducción significativa de basura dispersa en suelos y manglares.
- Concentración de residuos en puntos controlados y manejo eficiente en restaurante y servicios internos.
- Mayor responsabilidad y respeto de los visitantes hacia el entorno natural.
- Protección efectiva de ecosistemas sensibles y consolidación del rancho como espacio de turismo sostenible.

Generación de residuos aproximada en temporada alta

- Orgánicos: 50–80 kg/día
- Reciclables: 40–65 kg/día
- Inorgánicos no reciclables: 15–25 kg/día
- Residuos peligrosos: 5–10 kg/mes
- Líquidos residuales: 2–3 m^3/día, tratados en sitio

Gestión

- Implementación completa de rutinas de separación, recolección, tratamiento y disposición de residuos.
- Monitoreo ambiental continuo y ajuste de políticas según capacidad de carga y resultados de conservación.
- Participación de la comunidad y personal del rancho en la gestión y supervisión del cumplimiento de normas.
- Esta descripción muestra la evolución de los residuos desde un rancho familiar hasta un balneario turístico sostenible, integrando la estrategia de exclusivización como herramienta central para la conservación y el manejo responsable de visitantes y residuos.

Medidas clave

Implementación del Cuarto de Transferencia de Residuos (CTR), con compartimentos para orgánicos, reciclables e inorgánicos, ventilación y limpieza periódica.

Rutinas de trabajadores: recolección diaria, clasificación en origen, traslado al CTR y mantenimiento del área.

Disposición final de residuos sólidos: Transporte hacia zonas de depósito en poblados cercanos, específicamente en Juan Sarabia, dado que el Relleno Sanitario de Chetumal se encuentra a ~25 km y el de Bacalar a ~40 km, asegurando cumplimiento normativo y seguridad ambiental.

Aguas residuales tratadas: Transportadas fuera del rancho mediante pipas a sitios de disposición final autorizados.

Jardín de evapotranspiración: Actualmente en fase de prueba y evaluación, permite explorar métodos adicionales de disposición de aguas mediante absorción y evapotranspiración natural, con monitoreo constante de desempeño, calidad del efluente y salud de las plantas.

Resultados

- Reducción significativa de residuos dispersos.
- Concentración de basura en puntos controlados.
- Mayor responsabilidad de los visitantes.
- Protección efectiva de ecosistemas sensibles y microbialitos del Canal de Xul-Ha.
- La basura en los caminos se ha reducido considerablemente en volumen, pero continúa estando presente, por lo que el personal realiza un rondín periódico para recolectar los residuos que deja en esa zona los visitantes.
- La integración de la estrategia de exclusivización, el CTR, las rutinas de los trabajadores y la disposición final de residuos sólidos y aguas tratadas asegura un manejo ambiental responsable, cumpliendo con normas locales y promoviendo la sostenibilidad de los balnearios Los Rápidos y La Laguna.

Contenedores de residuos

Estos contenedores presentan un diseño funcional y estético, pensado para integrarse armoniosamente en entornos naturales o exteriores, como terrazas, parques o zonas ecoturísticas (**Foto II.44**).

- Estructura Exterior: Se trata de un mueble rectangular doble fabricado con listones de madera vertical, unidos de manera compacta. La madera tiene un acabado barnizado en un tono café rojizo (caoba o cedro), lo que le proporciona una apariencia cálida y una capa de protección contra la humedad.
- Contenedores Internos: El mueble alberga dos botes de basura de gran capacidad, fabricados en plástico resistente de color negro.
- Tapas: Cada bote cuenta con una tapa circular de diseño robusto con relieves radiales. El centro de las tapas tiene una apertura circular abierta, lo que facilita el depósito de residuos sin necesidad de tocar el contenedor, mejorando la higiene.
- Configuración: El mueble está dividido internamente para mantener ambos botes alineados y en su lugar. La base parece estar ligeramente elevada del suelo para evitar el contacto directo con la humedad de la superficie.

Son ideales para lugares con un enfoque sustentable, donde se busca que la infraestructura no rompa con el paisaje natural.

Bitácora electrónica de separación de residuos

Como parte de las medidas de gestión ambiental implementadas en Los Rápidos Lagoon Club, se estableció un sistema de seguimiento de los residuos sólidos mediante una **bitácora electrónica de registro diario**, diseñada para documentar las cantidades generadas y mantener un control diferenciado de las distintas corrientes de residuos procedentes de las actividades de operación y mantenimiento del establecimiento.

Implementación del sistema de registro y seguimiento de residuos

La implementación de esta herramienta se acompañó de actividades de difusión y capacitación dirigidas al personal de las áreas de operación y mantenimiento, con el propósito de incorporar la separación de residuos a las actividades cotidianas del establecimiento. Estas acciones buscan que

el personal identifique los distintos tipos de materiales generados, realice su separación desde el punto de origen y registre la información correspondiente de manera sistemática.

La bitácora electrónica permite dar seguimiento a los residuos identificados en las actividades del establecimiento, entre ellos aceite de cocina usado, cartón, residuos inorgánicos con restos de alimentos, residuos orgánicos, PET, otros plásticos, residuos sanitarios, vidrio y otros materiales. Asimismo, contempla el registro de información relacionada con la trampa de grasas, como una corriente de seguimiento diferenciada.

El registro diario constituye una herramienta de control operativo que permite conocer la composición de los residuos generados, reconocer las corrientes que presentan posibilidades de aprovechamiento y documentar la continuidad de las prácticas de separación. A diferencia de un registro general de limpieza, este sistema permite mantener diferenciados los tipos de residuos y dar seguimiento a su manejo a lo largo del tiempo.

Capacitación del personal y aplicación de los procedimientos

La difusión del sistema y la capacitación del personal de operación y mantenimiento tienen como finalidad incorporar los procedimientos de separación y registro a las rutinas de trabajo. La participación del personal resulta fundamental porque la calidad de la información depende de que los residuos se clasifiquen correctamente desde su generación y de que las cantidades registradas correspondan a los materiales efectivamente recolectados.

El procedimiento operativo comprende la identificación y separación de los residuos en las áreas generadoras, su recolección diferenciada, el registro de las cantidades correspondientes en la bitácora electrónica y su traslado al espacio de almacenamiento temporal, desde donde se organiza su salida del establecimiento.

De esta manera, la gestión de residuos no se limita a retirar los materiales de las áreas de servicio, sino que incorpora un componente de seguimiento documental que permite evaluar las prácticas de manejo y generar información útil para la mejora continua.

Limitaciones regionales para el aprovechamiento de los residuos separados

A pesar de contar con procedimientos de separación y con un sistema de registro diario, el aprovechamiento efectivo de los materiales reciclables enfrenta una limitación externa relacionada con la disponibilidad de servicios especializados de recolección en la zona.

De acuerdo con las condiciones operativas identificadas para el establecimiento, no se dispone de proveedores que acudan regularmente a retirar las distintas corrientes de residuos previamente separadas para su reciclaje o valorización. Esta situación limita la posibilidad de cerrar el ciclo de aprovechamiento dentro del propio sistema de gestión, aun cuando se realice la separación en origen y se mantenga el registro de los materiales generados.

En consecuencia, los residuos separados deben ser trasladados al sitio de disposición de residuos utilizado en Bacalar, debido a la falta de alternativas de recolección diferenciada disponibles para el establecimiento. Esta circunstancia representa una limitación de la infraestructura regional de gestión de residuos y no debe confundirse con la ausencia de prácticas internas de separación, registro y control.

La situación evidencia una diferencia entre dos componentes de la gestión integral: por una parte, la capacidad del establecimiento para separar, cuantificar y controlar sus residuos; por otra, la

disponibilidad de una cadena externa de recolección, acopio y aprovechamiento que permita recuperar efectivamente los materiales clasificados.

Ilustración II-3 Infografia de capacitación para Manejo de bitácora electrónica para el personal de los Raídos (Ambos



balnearios). Elaboración de datos propios con ilustracion creada con IA

Por ello, la bitácora electrónica adquiere especial importancia, ya que permite documentar las cantidades y los tipos de residuos separados, incluso cuando las condiciones externas no permiten asegurar su valorización posterior. La información registrada puede servir como fundamento para evaluar la generación de residuos, identificar oportunidades de mejora y respaldar futuras gestiones con empresas recicladoras o prestadores de servicios especializados.

Alcances y relevancia ambiental del sistema

La combinación de capacitación, separación en origen y registro electrónico diario constituye una medida de control ambiental que permite sistematizar la información sobre los residuos generados durante la operación y el mantenimiento del establecimiento.

Su importancia radica en que proporciona una base documental para evaluar el desempeño del manejo de residuos y facilita la identificación de áreas de oportunidad, sin atribuir al establecimiento capacidades de reciclaje que dependen de la existencia de proveedores externos.

En el contexto ambiental de la región, caracterizada por la vulnerabilidad del subsuelo kárstico y la necesidad de prevenir la contaminación del suelo y de los cuerpos de agua, el control de los residuos desde su generación constituye una medida preventiva relevante. No obstante, la separación y el registro deben complementarse con el traslado controlado de los materiales, la conservación de comprobantes de entrega y la verificación de las condiciones del sitio receptor.

En consecuencia, el sistema implementado representa un mecanismo de trazabilidad operativa y mejora continua, cuya eficacia puede evaluarse mediante la revisión periódica de la bitácora electrónica, la capacitación del personal y la documentación de las salidas de residuos del establecimiento.



Ilustración II-4 Resultados prueba de b bitacora electrónica de residuos

Manejo y disposición

La gestión de los residuos sólidos en la ribera del municipio de Bacalar presenta una problemática estructural derivada de la inexistencia de servicios municipales regulares de recolección y traslado de residuos en amplios tramos del territorio, así como de la limitada disponibilidad de sitios de disposición final que cumplan integralmente con la normatividad ambiental aplicable. Al inicio de operaciones y hasta antes de pandemia, como balneario se hacía uso de los lugares de disposición (tiraderos a cielo abierto) que hacen uso comunidades como Juan Sarabia y Xul Ha y diversos establecimientos en la zona. Dada la escasa infraestructura de manejo y disposición de residuos, se vieron obligados en zonas rurales y periurbanas a implementar esquemas propios de manejo y disposición de residuos en estos tiraderos a cielo abierto.

En el caso de la zona de Los Rápidos, aun cuando administrativamente pertenece al municipio de Othón P. Blanco, los rellenos sanitarios formalmente establecidos se localizan a distancias significativas del sitio de generación de residuos, específicamente a aproximadamente 37.4 km en el caso de Chetumal y 20.7 km en el caso de Bacalar. El traslado hacia dichos sitios implica necesariamente el cruce de zonas urbanas consolidadas, lo que incrementa de manera sustancial los tiempos de recorrido, los costos operativos, el consumo de combustible y los riesgos asociados al transporte de residuos sólidos.

Adicionalmente, los sitios de disposición existentes en la región presentan limitaciones en su operación y cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, lo cual restringe las alternativas disponibles para una disposición final ambientalmente adecuada y operativamente viable. A ello se suma la ausencia de un sistema municipal de recolección que garantice el retiro oportuno y continuo de los residuos generados en la zona del proyecto.

De este modo, se optó por crear una estrategia de traslado de los residuos cada dos días en promedio, al relleno sanitario de Bacalar, porque el de Chetumal está operativamente a mucha más distancia. Se espera que la autoridad implemente una red de manejo y traslado de residuos municipales y mejore la eficiencia y aumente el número de Rellenos Sanitarios en la región. Esta opción permitirá reducir recorridos de transporte, minimizar la circulación de vehículos de carga a través de zonas urbanas, disminuir impactos indirectos asociados a emisiones y riesgos viales, y asegurar un manejo más controlado de los residuos sólidos generados.

En ausencia de servicios municipales de recolección y de sitios de disposición final cercanos que cumplan plenamente con la normatividad aplicable, la selección del sitio de Juan Sarabia constituye una medida de manejo proporcional y necesaria, orientada a garantizar la viabilidad operativa del manejo de residuos y a reducir impactos ambientales indirectos, sin que ello implique la inexistencia de una problemática regional que rebasa el ámbito de competencia del promovente.

a) Rutas de manejo

La gestión inicia con la recolección diaria en los puntos de generación (restaurante, bar, cocina, sanitarios, áreas recreativas y oficinas), donde el personal realiza la segregación en origen de los residuos en contenedores rotulados según su tipo: orgánicos, reciclables, inorgánicos no reciclables y peligrosos.

Posteriormente, los residuos son trasladados al Cuarto de Transferencia de Residuos (CTR), que funciona como centro de acopio temporal. Desde el CTR, los residuos se transportan a los sitios de disposición final o centros de acopio autorizados, siguiendo rutas preestablecidas y controladas.

b) Destino final

Los reciclables (PET, cartón, metal) se almacenan en las bodegas de la casa del velador (los estables) donde se almacenan y luego se ponen a disposición de grupos que puedan necesitarlos, o se canalizan a centros de acopio para su compra.

Un caso particular son los chalecos salvavidas que se manchan o quedan llenos de sarro por el uso, aunque aún son funcionales y cuentan con seguros y cordones completos, no son del todo estéticos y se almacenan y ponen a disposición por una fracción de su costo, a otros usuarios que puedan necesitarlos.

Los inorgánicos no reciclables se trasladan a sitios de disposición.

Los aceites de cocina usados son colectados por empresas recicladoras registradas para su manejo o conversión a otros productos.

c) Proveedores autorizados

1. Aceites utilizados (cocina): Grasas Peninsulares SA de CV
2. Aguas residuales: Claudio Alejandro de Luna Berumen. 23010 PTAR 14 022. Traslada las aguas tratadas a la PTAR de Bacalar.
3. Análisis de agua: Legalab, S. de R.L. de C.V.
4. Madera (tablas): Ejido Noh Bec.Felipe Carrillo Puerto. Quinatan Roo.

d) Segregación y reciclaje

- El sistema de segregación en origen permite optimizar la gestión de residuos, reducir el volumen destinado a rellenos sanitarios y fomentar el reciclaje.
- Separación de residuos por cada área operativa.
- Capacitación constante del personal para asegurar la correcta separación.
- Recolección y traslado periódico a Relleno sanitario.

e) Prueba inicial de la bitácora electrónica

En mayode 2026 se inició un proceso de mejora operativa orientado a sistematizar estas actividades mediante una bitácora electrónica de registro diario, acompañada de un ejercicio inicial de observación y muestreo de tres días. Esta experiencia permitió identificar oportunidades de mejora en la separación de residuos por área de trabajo y elaborar recomendaciones prácticas para el personal.

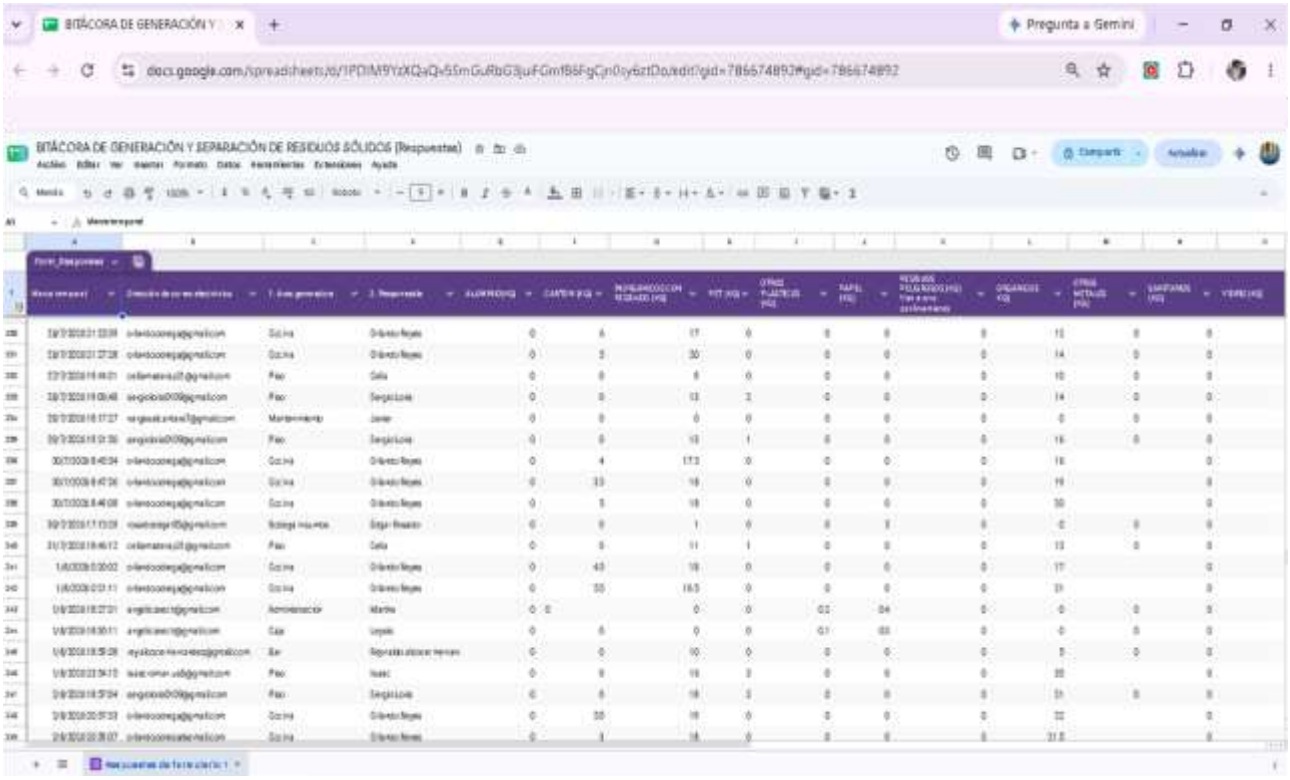
El objetivo de este proceso ha sido fortalecer el control interno de los residuos, promover su separación desde los puntos de generación, generar información sistemática sobre las distintas corrientes y establecer una base documental para evaluar las prácticas de manejo y sus posibilidades de mejora.

El sistema se desarrolla en condiciones regionales que limitan el aprovechamiento posterior de los materiales separados, debido a la falta de proveedores disponibles para su recolección diferenciada. Esta circunstancia se considera dentro del análisis del manejo, sin que ello elimine la necesidad de mantener la separación, el registro y el traslado controlado de los residuos.



Continuidad del registro diario

Después de la prueba inicial, la bitácora electrónica se mantuvo como instrumento de registro diario de los residuos generados y separados en el establecimiento.



La continuidad del registro permite documentar las diferentes corrientes de residuos a lo largo del tiempo, mantener un seguimiento de las cantidades consignadas e identificar oportunidades para

mejorar la clasificación y el almacenamiento. También proporciona información que puede utilizarse para evaluar la evolución de las prácticas internas y orientar acciones de capacitación.

La bitácora debe interpretarse como un instrumento de control operativo cuya utilidad depende de la consistencia de los datos registrados. Para ello, es importante mantener criterios uniformes de clasificación y cuantificación, identificar las unidades utilizadas y distinguir entre cantidades pesadas directamente y estimaciones basadas en recipientes, bolsas u otras referencias.

La información acumulada podrá emplearse para analizar tendencias de generación y comparar periodos, siempre que los datos disponibles sean suficientes y comparables. No se asignan en esta subsección volúmenes totales, porcentajes de reciclaje ni tasas de aprovechamiento que no hayan sido calculados a partir de los registros originales.

La bitácora constituye una herramienta de seguimiento interno, pero no sustituye las autorizaciones, registros, planes de manejo o informes que resulten legalmente aplicables.

Difusión y capacitación del personal de operación y mantenimiento

La implementación de la bitácora se acompañó de actividades de difusión y sensibilización dirigidas al personal de operación y mantenimiento, con el propósito de incorporar la separación y el registro de residuos a las rutinas de trabajo.

Como material de apoyo se elaboró una infografía titulada *Áreas de mejora en la gestión de residuos. Evaluación inicial – Muestreo de 3 días*, en la que se organizaron las recomendaciones por área operativa.

El material se orientó a reforzar los siguientes criterios:

1. Separar los residuos desde el punto donde se generan.
2. Evitar la mezcla de restos de alimentos con materiales potencialmente aprovechables.
3. Mantener diferenciados los residuos sanitarios y otras corrientes que requieren manejo específico.
4. Conservar limpios y ordenados los espacios de almacenamiento.
5. Registrar diariamente los residuos conforme a las categorías y unidades utilizadas en la bitácora.

Estas acciones buscan que la separación no dependa exclusivamente de las actividades posteriores de limpieza, sino que forme parte de los procedimientos cotidianos de cada área.

La capacitación y la difusión del material constituyen componentes del proceso de mejora continua. Su seguimiento puede fortalecerse mediante registros de las actividades realizadas, materiales utilizados y observaciones posteriores sobre la aplicación de las recomendaciones.

Situación del Registro Estatal de Generadores

Al inicio del proceso documentado en esta subsección, el establecimiento no contaba con el Registro Estatal de Generadores de Residuos de Manejo Especial. Esta situación se presenta en un contexto de regularización ambiental pendiente, asociado a las dificultades administrativas que ha enfrentado el establecimiento para formalizar integralmente los instrumentos correspondientes a su operación, incluida la autorización en materia de impacto ambiental.

La falta de autorización en materia de impacto ambiental no debe interpretarse automáticamente como una exención de las obligaciones relativas a los residuos. La procedencia del registro estatal y los requisitos específicos deberán determinarse conforme a la clasificación de los residuos generados, las condiciones de operación y la normativa vigente.

En este contexto, la implementación y continuidad de la bitácora electrónica representan un avance en la sistematización de la información y en la mejora de las prácticas internas. Sin embargo, este instrumento no equivale al registro estatal ni sustituye los demás trámites que resulten aplicables.

La situación administrativa deberá atenderse mediante la revisión de los requisitos correspondientes y la integración de la documentación necesaria, considerando la información generada por el sistema de registro diario.

Medidas de seguimiento y mejora continua

Con base en la experiencia iniciada en abril de 2026, se identifican las siguientes líneas de seguimiento:

- Mantener la bitácora electrónica con registros diarios y criterios consistentes de clasificación y cuantificación.
- Continuar la difusión de recomendaciones y la capacitación del personal de operación y mantenimiento.
- Revisar periódicamente las condiciones de separación y almacenamiento en las áreas generadoras.
- Analizar los datos acumulados para identificar tendencias y oportunidades de reducción o recuperación.
- Investigar alternativas regionales para la recolección diferenciada y el aprovechamiento de materiales.
- Verificar las condiciones del sitio receptor y conservar la documentación correspondiente.
- Revisar los requisitos jurídicos aplicables al Registro Estatal de Generadores y a los demás instrumentos de gestión.
- Documentar las acciones correctivas y las mejoras que se incorporen a los procedimientos internos.

Los indicadores de seguimiento podrán incluir las cantidades registradas por tipo de residuo, la continuidad de los registros diarios, las salidas documentadas, las condiciones de almacenamiento y los incidentes de dispersión o mezcla de materiales. Los porcentajes de recuperación o aprovechamiento deberán calcularse únicamente cuando existan datos suficientes para acreditarlos.

f) Análisis de la gestión de residuos a nivel regional

La experiencia del establecimiento permite identificar una diferencia entre la capacidad de los generadores para documentar sus residuos y la capacidad regional para asegurar su aprovechamiento y disposición ambientalmente adecuada.

El registro administrativo puede contribuir a identificar generadores, cuantificar residuos y facilitar la supervisión. No obstante, la información por sí sola no garantiza la recuperación de materiales ni la reducción de los impactos de los sitios de disposición final.

En el caso analizado, la separación y el registro diario se han mantenido, pero la falta de proveedores que recojan los materiales diferenciados limita su valorización. Esta situación muestra que el desempeño ambiental no depende únicamente de las prácticas internas, sino también de la disponibilidad de servicios e infraestructura.

El problema puede entenderse como una brecha entre la regulación administrativa y la gestión material efectiva de los residuos. Las obligaciones de los generadores deben cumplirse conforme

al marco jurídico aplicable, pero su contribución a los objetivos ambientales también depende de la articulación con los servicios de recolección, acopio, tratamiento y disposición final.

Análisis preliminares de operación de la bitácora ambiental de manejo de residuos



Ilustración II-5 Bitácora La Laguna. Registro y anáisis del manejo interno de residuos sólidos. Periodo mayo a octubre 2026. Datos propios de base de datos de bitácora electrónica de manejo de residuos del balneario La Laguna. Generación de ilustración con apoyo de IA.

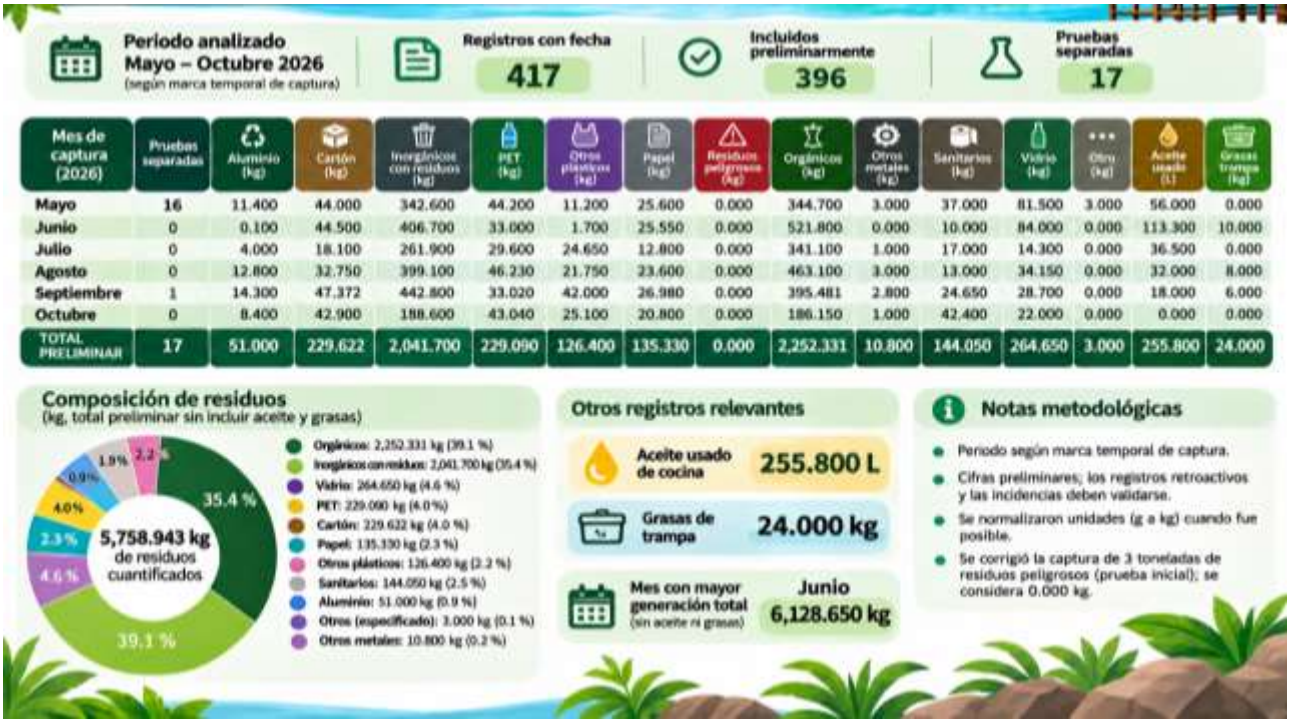


Ilustración II-6. Bitácora Los Rápidos. Registro y anáisis del manejo interno de residuos sólidos. Periodo mayo a octubre 2026. Datos propios de base de datos de bitácora electrónica de manejo de residuos del balneario Los Rápidos. Generación de ilustración con apoyo de IA.

El proceso iniciado en abril de 2026 permitió establecer una prueba inicial de la bitácora electrónica, identificar oportunidades de mejora mediante un muestreo operativo de tres días y difundir recomendaciones al personal de operación y mantenimiento. Desde entonces, el registro diario se ha mantenido como una herramienta de seguimiento de las distintas corrientes de residuos generadas en el establecimiento.

En conjunto, el trabajo representa un proceso de mejora interna y generación de información que permite documentar las prácticas existentes, identificar oportunidades de intervención y orientar el fortalecimiento gradual del manejo de residuos sólidos. Su eficacia ambiental deberá evaluarse mediante la continuidad de los registros, la aplicación de las recomendaciones, la trazabilidad de los residuos y las posibilidades reales de recuperación y disposición final.

g) Aceites de cocina usados



Ilustración II-7. Material de capacitación acerca de grasas de cocina usadas. Información propia, ilustración con apoyo de IA.

Se mantiene un registro del aceite usado de cocina como una corriente específica de residuos generada principalmente durante la preparación de alimentos. Su manejo diferenciado tiene como objetivo evitar que este material sea vertido al drenaje, al suelo o directamente al medio natural, así como promover su recolección y aprovechamiento mediante un tercero para su recepción y manejo. La entrega a esta empresa forma parte de la estrategia de control y manejo diferenciado de este residuo.

h) Manejo de aguas residuales tratadas

Las aguas residuales generadas en las instalaciones son procesadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), cumpliendo con los parámetros de calidad establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997. El efluente tratado no se utiliza para riego; es transportado mediante pipas a sitios de disposición final autorizados fuera del predio, conforme a los permisos y lineamientos locales. Ver manual de operaciones PTAR en anexos.

Pretratamiento: Recepción de aguas residuales en 2 contenedores de almacenamiento de 5,000 litros cada uno, donde se agrega bacterias para dar tiempo al inicio de proceso de pretratamiento antes de ser bombeado a la PTA. Posteriormente se bombean al siguiente paso que es el Tratamiento biológico: Reactor Biológico Secuencial (SBR) con unidades Klaro E Profesional (Graf), basado en lodos activados con ciclos controlados de aireación y sedimentación, las aguas tratadas se bombean a un segundo contenedor pasándolo a través de un filtro de zeolita, donde en el segundo contenedor se les aplica cloro, en este punto se toman muestras para medir con tiras reactivas el contenido de 17 parámetros, 30 minutos después de la cloración. SE busca reducir el contenido de sulfuro de hidrógeno

La cloración final se incorpora como una etapa de desinfección y control químico complementario del agua residual previamente tratada mediante un proceso aerobio. Además de su función desinfectante, el cloro puede reaccionar con el sulfuro de hidrógeno y otros sulfuros disueltos, favoreciendo su oxidación y contribuyendo a disminuir su presencia en el efluente y los olores asociados con estos compuestos. La efectividad de este proceso depende de la concentración inicial de sulfuros, la demanda de cloro del agua, el pH, la mezcla y el tiempo de contacto.

En consecuencia, el seguimiento de la concentración de H_2S antes y después de la cloración permite evaluar de manera práctica el comportamiento de esta corriente de compuestos durante la etapa final del tratamiento. Este indicador se utilizará como parámetro complementario de control operativo, sin considerarlo por sí solo una medida de la remoción global de materia orgánica ni una demostración de eliminación de todas las condiciones que favorecen la generación de sulfuros.

La disposición se realiza con retiro del agua tratada mediante pipas, sin infiltración directa al suelo (Imagen II.22). Medidas complementarias: Pruebas de jardinera de evapotranspiración y proceso de regularización ante CONAGUA para uso en riego. Aún no está en uso. El manual de operación del sistema se adjunta en anexos.

Emisiones a la atmósfera

En el sitio, las emisiones atmosféricas son mínimas y se encuentran asociadas principalmente a fuentes fijas menores y fuentes móviles intermitentes, vinculadas a las operaciones cotidianas del balneario. Estas fuentes se clasifican de la siguiente manera:

a) Fuentes fijas menores

Cocina del restaurante: generación de vapores y gases de combustión por el uso de estufas y parrillas a gas LP.

- Emisiones esperadas: dióxido de carbono (CO_2), pequeñas cantidades de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV).
- Control: mantenimiento preventivo de equipos, uso de extractores y combustibles limpios (gas LP).

Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR): generación de emisiones biogénicas (olores y gases como metano y sulfuro de hidrógeno) durante procesos de digestión aerobia/anaerobia.

- Control: mantenimiento periódico, aireación eficiente, limpieza de trampas de grasas y disposición oportuna de lodos.
- Estado actual: no se registran olores perceptibles fuera del área inmediata.

b) Fuentes móviles

Vehículos de transporte y servicio: camionetas de personal, transporte de insumos y retiro de residuos sólidos y aguas tratadas mediante pipas.

- Emisiones: CO_2, CO, NO_x, hidrocarburos no quemados y partículas (PM_{10}).
- Frecuencia: baja, ya que los traslados son esporádicos (retiro de residuos y aguas tratadas de forma semanal o quincenal).
- Control: uso de vehículos en buen estado mecánico, mantenimiento preventivo y optimización de rutas conforme al principio de proximidad.

Visitantes: llegada de automóviles particulares.

- Emisiones: indirectas, limitadas al tránsito interno y estacionamiento.
- Medidas: control de acceso, aforo limitado y orientación para estacionar en zonas delimitadas.

c) Fuentes fugitivas

- Emisión de polvo: asociada a caminos de terracería internos y áreas de estacionamiento sin pavimentar.
- Condiciones: se presenta de forma temporal en época seca.
- Control: Uso ocasional de riego y vegetación de cobertura en brechas.

d) Ruido ambiental

- Origen: visitantes, operación de vehículos, equipos menores del restaurante y PTAR.
- Niveles estimados: por debajo de los 65 dB(A), considerados aceptables en áreas turísticas según NOM-081-SEMARNAT-1994.
- Control: restricciones de volumen de música, sensibilización a visitantes y horarios limitados de operación.

Estimación y evaluación de emisiones

La presente sección describe la estimación cualitativa de emisiones atmosféricas en el sitio Los Rápidos, considerando las características físicas, operativas y de uso del predio, y su posible impacto en la calidad del aire.

Contexto del sitio

Los Rápidos se encuentra en un predio abierto y de naturaleza extensiva (179.41 ha), lo que favorece la ventilación natural y la dispersión de posibles contaminantes. Las actividades están limitadas a horarios diurnos y aforo controlado, con ausencia de procesos industriales o combustión intensiva.

Estas condiciones se alinean con los criterios de evaluación de emisiones de bajo impacto local descritos en la NOM-085-SEMARNAT-2011 sobre límites máximos permisibles de emisiones de fuentes fijas, considerando la naturaleza extensiva del predio y la baja densidad de emisiones.

Fuentes potenciales de emisiones

De acuerdo con la Guía para la Evaluación Cualitativa de Emisiones Atmosféricas (SEMARNAT, 2010), las principales fuentes de emisión en Los Rápidos son:

- Transporte vehicular de acceso y circulación interna: limitado por control de aforo y baja intensidad de uso.
- Uso ocasional de equipos que emplean combustibles fósiles: generadores menores o maquinaria de mantenimiento.
- Actividad humana recreativa: contribución mínima de polvo superficial y emisiones biogénicas (respiración).

No se identifican emisiones significativas de compuestos químicos peligrosos, partículas finas ($PM_{2.5}$), óxidos de nitrógeno (NOx) o dióxido de azufre (SO_2).

Medidas preventivas y de gestión

Para garantizar que las emisiones permanezcan dentro de los niveles de bajo impacto se mantiene mantener control de aforo y horarios de funcionamiento y documentar cualquier cambio en las actividades del sitio para actualizar la evaluación de emisiones.

Estrategias de mitigación y buenas prácticas

- Mantenimiento preventivo de estufas, extractores, motores y vehículos.
- Capacitación del personal para la operación eficiente de equipos de combustión.
- Fomento del transporte compartido para empleados para reducir el flujo vehicular.
- Monitoreo y registro de incidencias de ruido o emisiones notorias.
- Comunicación ambiental con visitantes sobre comportamiento responsable (sin bocinas, motores apagados, respeto a horarios).

Las emisiones atmosféricas generadas por las operaciones de Los Rápidos son mínimas y controlables, gracias a su enfoque ecoturístico, su baja intensidad operativa y la implementación de medidas preventivas. No se prevén impactos significativos sobre la calidad del aire, el bienestar de los visitantes ni las condiciones ecológicas locales (Tabla II.15).

Tabla II-12. Resumen de fuentes de emisión atmosférica en Los Rápidos Lagoon Club

Fuente	Tipo de emisión	Descripción	Frecuencia / Intensidad	Medidas de control / mitigación	Impacto estimado
Cocina del restaurante	Gases de combustión	Uso de estufas y parrillas a gas LP	Diaria (horario de restaurante).	Uso de gas LP, extractores, mantenimiento	Bajo, localizado.

Fuente	Tipo de emisión	Descripción	Frecuencia / Intensidad	Medidas de control / mitigación	Impacto estimado
	(CO_2, CO, NO_x, COV)	para preparación de alimentos.		preventivo, ventilación natural.	
Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	Gases biogénicos (CH_4, H_2S)	Emisiones por digestión aerobia/anaerobia en tanque.	Continua, de baja magnitud.	Aireación eficiente, limpieza periódica, monitoreo de olores.	Bajo, controlado.
Vehículos de servicio y transporte	CO_2, CO, NO_x, PM_{10}	Traslado de residuos sólidos y aguas tratadas fuera del sitio.	Semanal / quincenal.	Mantenimiento mecánico, optimización de rutas (principio de proximidad).	Bajo, disperso.
Vehículos de visitantes	CO_2, CO, NO_x	Llegada y salida de turistas, tránsito interno al estacionamiento.	Diaria, limitada al horario de operación.	Aforo limitado, estacionamiento controlado, horarios establecidos.	Bajo, temporal.
Caminos y áreas sin pavimentar	Polvo (PM_{10})	Emisión fugitiva por tránsito vehicular y viento.	Temporal (época seca).	Conservación y mantenimiento de caminos con materiales permeables, en brechas se deja vegetación de cobertura.	Bajo, estacional.
Generación de ruido ambiental	Ruido (dB)	Visitantes, vehículos, equipos menores.	Diaria.	Control de volumen, horarios diurnos, señalización.	Bajo, conforme a NOM-081.

Impacto climático

Durante la operación de los balnearios de Los Rápidos (La Laguna y Canal de Xul-Ha) no se han desarrollado procesos industriales, energéticos o de transformación que generen emisiones directas significativas de gases de efecto invernadero (GEI) como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) u óxidos de nitrógeno (N_2O).

Las emisiones indirectas asociadas al proyecto se han limitado principalmente al uso de vehículos para el traslado de visitantes, personal y residuos, así como al consumo de energía eléctrica y, de manera marginal, al uso de combustibles en equipos menores. Estas emisiones corresponden a fuentes móviles y de alcance indirecto, no continuas ni concentradas, y no representan una contribución significativa al inventario regional de GEI.

La experiencia operativa, particularmente durante los periodos de restricción de aforo derivados de la pandemia, evidenció que la reducción del número de visitantes disminuye de manera directa el flujo vehicular, el consumo energético y la generación de residuos, reduciendo consecuentemente las emisiones indirectas asociadas. Esta experiencia permitió fortalecer la estrategia de control de aforo y manejo del sitio, contribuyendo a la reducción de la presión antrópica y de las emisiones indirectas.

Cabe señalar que la infraestructura del proyecto es de carácter ligero y mayoritariamente desmontable, sin uso de maquinaria pesada ni sistemas de combustión permanente, y que no existen actividades que impliquen la liberación intencional de GEI al ambiente. Asimismo, los cuerpos de agua y los microbialitos presentes no son intervenidos mediante procesos que favorezcan la generación de emisiones de metano u otros gases asociados a la degradación orgánica. En el escenario de cierre y restauración, las actividades previstas no implican la generación relevante de GEI, al priorizarse el trabajo manual y el uso de maquinaria ligera, así como la restauración de la cobertura vegetal, la cual contribuye a la captura de carbono en el mediano y largo plazo.

III. VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURIDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN DEL USO DE SUELO

El presente capítulo tiene por objeto analizar y demostrar la congruencia del proyecto Los Rápidos Lagoon Club con los ordenamientos jurídicos aplicables en materia ambiental, así como, en su caso, con los instrumentos de regulación del uso de suelo vigentes en los ámbitos federal, estatal y municipal. Es importante precisar que la presente Manifestación de Impacto Ambiental se formula con carácter de regularización, toda vez que el proyecto corresponde a un establecimiento preexistente con una operación continua aproximada de 33 años, anterior a la entrada en vigor de diversos instrumentos de ordenamiento ecológico, figuras de protección ambiental y criterios de regulación actualmente aplicables en la región de la Laguna de Bacalar.

En este contexto, la MIA no tiene por objeto la autorización de un desarrollo de nueva creación, sino la evaluación ambiental integral de un proyecto en operación, con la finalidad de regularizar su situación administrativa, identificar los impactos ambientales derivados de su funcionamiento histórico y actual, y establecer medidas de prevención, mitigación, compensación acordes con la normatividad vigente y con las condiciones ecológicas actuales del sitio.

La vinculación normativa se realiza considerando el principio de progresividad ambiental, reconociendo que las disposiciones legales y los criterios de ordenamiento territorial han evolucionado en el tiempo, y que el proyecto ha debido adaptarse de manera gradual a dichas transformaciones regulatorias. Bajo este enfoque, se analiza la compatibilidad del proyecto con los instrumentos jurídicos actualmente vigentes, privilegiando la incorporación de medidas precautorias, de bajo impacto y reversibles, particularmente en un ecosistema de alta fragilidad como lo es la Laguna de Bacalar y sus sistemas asociados.

Asimismo, el análisis contempla la concurrencia de competencias entre los distintos órdenes de gobierno, especialmente en lo relativo a cuerpos de agua nacionales y zona federal, evaluando el proyecto bajo el entendido de que las obras e instalaciones existentes no implican la modificación del cauce, del cuerpo de agua ni del régimen hidrológico, y que cualquier actuación sujeta a concesión o autorización federal continuará gestionándose ante la autoridad competente.

En conjunto, este capítulo permite sustentar la viabilidad jurídica y ambiental del proyecto en su condición de preexistente, aportando a la autoridad evaluadora los elementos necesarios para verificar su apego a la normatividad aplicable y su alineación con los objetivos de conservación y uso sustentable del territorio..

Marco Jurídico Federal Aplicable al Proyecto

El presente apartado identifica y analiza el marco jurídico federal aplicable al proyecto Los Rápidos Lagoon Club, considerando de manera expresa que se trata de un proyecto preexistente en operación continua desde hace aproximadamente 33 años, cuya evaluación ambiental se realiza con fines de regularización administrativa, y no como autorización de una obra o actividad de nueva creación.

En este sentido, la vinculación con el marco jurídico federal se desarrolla bajo el principio de temporalidad normativa, reconociendo que diversas disposiciones legales, reglamentarias y criterios de ordenamiento territorial entraron en vigor con posterioridad al inicio de operaciones del proyecto. No obstante, el análisis se efectúa conforme a la normatividad vigente, con el objeto de identificar los requerimientos actualmente aplicables, evaluar el grado de cumplimiento del proyecto

y establecer, en su caso, medidas correctivas, preventivas o de adecuación ambiental que permitan su alineación con los objetivos de protección ambiental establecidos en la legislación federal.

El análisis jurídico se sustenta, además, en los principios de prevención, precaución, legalidad, progresividad ambiental y desarrollo sustentable, previstos en la legislación ambiental mexicana, privilegiando la adopción de medidas de bajo impacto, reversibles y compatibles con la conservación de los ecosistemas asociados a la Laguna de Bacalar, particularmente aquellos de alta fragilidad ecológica como los tapetes y estructuras microbianas.

Asimismo, se reconoce la concurrencia de competencias federales, estatales y municipales, particularmente en lo relativo a cuerpos de agua nacionales, zona federal marítimo-terrestre y bienes nacionales, conforme a lo dispuesto en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Aguas Nacionales y la Ley General de Bienes Nacionales. En este contexto, el proyecto se analiza bajo el entendido de que las instalaciones existentes no implican la ocupación definitiva, modificación física ni alteración del régimen hidrológico del cuerpo de agua nacional, y que cualquier acto que pudiera requerir concesión o autorización federal continúa siendo gestionado ante la autoridad competente.

A partir de lo anterior, se describen a continuación los ordenamientos jurídicos federales aplicables, señalando para cada uno su ámbito de competencia, su relación con el proyecto y la forma en que éste se ajusta o se propone ajustar a sus disposiciones, en el marco del proceso de regularización ambiental.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Artículo 4°

Reconoce el derecho humano a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de las personas, así como la obligación del Estado de garantizar su respeto. En este contexto, la presente Manifestación de Impacto Ambiental se formula como un instrumento de evaluación y regularización, orientado a asegurar que la operación histórica y actual del proyecto se alinee con dicho derecho fundamental, incorporando medidas de prevención, mitigación y restauración ambiental.

Artículo 27

Establece que las aguas nacionales y los bienes del dominio directo de la Nación son de competencia federal. El proyecto reconoce esta disposición y, en congruencia con ella, no realiza actos de apropiación, modificación o alteración del cuerpo de agua nacional, manteniendo una operación basada en infraestructura ligera, desmontable y reversible. Asimismo, se ha gestionado de manera reiterada la concesión correspondiente ante la autoridad competente, manteniendo una postura precautoria y de respeto a la competencia federal.

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

La LGEEPA constituye el eje rector de la política ambiental federal y regula la evaluación del impacto ambiental de obras y actividades que puedan causar desequilibrios ecológicos.

En términos de los artículos 1, 15 y 28, la presente MIA se presenta con carácter de regularización, al tratarse de un proyecto preexistente cuya operación inició con anterioridad a la consolidación del marco normativo ambiental vigente. Bajo este enfoque, la evaluación no tiene como finalidad autorizar un nuevo desarrollo, sino analizar integralmente los impactos ambientales derivados de

una actividad en operación, así como establecer medidas que permitan su adecuación progresiva a los criterios actuales de protección ambiental.

El proyecto adopta los principios de prevención, precaución, desarrollo sustentable y progresividad ambiental, privilegiando acciones de bajo impacto, reversibles y compatibles con la fragilidad ecológica de la Laguna de Bacalar y sus ecosistemas asociados.

Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental

Este Reglamento establece los procedimientos para la evaluación de impacto ambiental y reconoce implícitamente la posibilidad de evaluar obras y actividades en operación, particularmente cuando se trata de procesos de regularización ambiental. La MIA se formula conforme a los contenidos establecidos, incorporando una descripción detallada del proyecto, la identificación de impactos existentes y potenciales, y la definición de medidas ambientales orientadas a corregir, mitigar y prevenir impactos, sin ampliar la huella ecológica ni modificar sustancialmente las condiciones del entorno.

Ley de Aguas Nacionales (LAN)

La Ley de Aguas Nacionales regula la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas nacionales y de los bienes inherentes a ellas. El proyecto se localiza dentro de un sistema lagunar considerado cuerpo de agua nacional; no obstante, no realiza obras hidráulicas, desvíos, dragados, rellenos ni modificaciones del cauce o del régimen hidrológico. La infraestructura asociada a las actividades recreativas se ha diseñado y operado bajo criterios de mínima intervención, utilizando elementos desmontables, precisamente para evitar impactos estructurales sobre el sistema acuático y los tapetes microbianos.

La solicitud de concesión de zona federal ha sido gestionada de manera reiterada a lo largo del tiempo; mientras dicha resolución se emite, el proyecto se mantiene bajo un enfoque precautorio y de sujeción plena a la competencia de la autoridad federal.

Ley General de Bienes Nacionales (LGBN)

Esta Ley regula el uso, aprovechamiento y administración de los bienes del dominio público de la Federación, incluyendo zonas federales asociadas a cuerpos de agua nacionales. El proyecto reconoce que cualquier ocupación, uso o aprovechamiento de bienes nacionales se encuentra sujeto a concesión o permiso federal.

En congruencia con ello, las instalaciones existentes en la zona federal no constituyen obras permanentes ni generan ocupación definitiva, y pueden ser reconfiguradas en función de las determinaciones de la autoridad competente, lo cual es consistente con el carácter de regularización del presente instrumento.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

Regula la generación, manejo y disposición de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos. El proyecto contempla sistemas de manejo integral de residuos, priorizando la separación, almacenamiento temporal adecuado y disposición final conforme a la normatividad

vigente. En el marco de la regularización, se fortalecen las medidas de control y registro, asegurando la trazabilidad de los residuos y evitando cualquier riesgo de contaminación al suelo, subsuelo o cuerpos de agua.

Ley General de Vida Silvestre (LGVS)

La LGVS protege la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre. El proyecto no implica el aprovechamiento extractivo de flora o fauna silvestre ni la introducción de especies exóticas. Por el contrario, incorpora medidas de protección de la vegetación ribereña, respeto a la fauna local y mantenimiento de la conectividad ecológica, especialmente relevantes en un ecosistema lagunar de alta sensibilidad.

Ley General de Cambio Climático (LGCC)

Esta Ley establece bases para la mitigación y adaptación al cambio climático. El proyecto, en su proceso de regularización, adopta medidas orientadas a la reducción de la huella ambiental, uso eficiente del agua y la energía, y preferencia por infraestructura ligera y de bajo consumo energético, contribuyendo de manera indirecta a los objetivos de mitigación y adaptación establecidos en la legislación.

Normas Oficiales Mexicanas (NOM) aplicables

El proyecto se vincula, entre otras, con las NOM en materia de calidad del agua, descargas, manejo de residuos, protección de especies y seguridad ambiental, las cuales se consideran como referencia técnica obligatoria para la operación y para el establecimiento de medidas correctivas dentro del proceso de regularización.

NOM-001-SEMARNAT-2021

Límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en cuerpos receptores nacionales: El proyecto no contempla descargas directas de aguas residuales al cuerpo de agua nacional correspondiente a la Laguna de Bacalar. Las aguas residuales generadas por la operación del proyecto son conducidas a sistemas de tratamiento que permiten su adecuado manejo, evitando su vertimiento al sistema lagunar. Al tratarse de una MIA de regularización, se refuerzan los controles operativos y de monitoreo para asegurar que cualquier descarga tratada cumpla con los límites establecidos por la norma y no genere impactos negativos al ecosistema acuático.

NOM-002-SEMARNAT-1996

Límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales a sistemas de alcantarillado urbano o municipal. En los casos en que las aguas residuales tratadas sean conducidas a sistemas de disposición distintos al cuerpo receptor natural, el proyecto considera los parámetros establecidos en esta norma como referencia técnica para su operación. El proyecto incorpora medidas de control para asegurar que las aguas residuales cumplan con los parámetros normativos, reforzando su manejo como parte del proceso de regularización ambiental.

NOM-003-SEMARNAT-1997

Límites máximos permisibles de contaminantes para aguas residuales tratadas que se reúsan en servicios al público. Aunque actualmente el agua tratada en el sistema es extraida,

transportada por pipas autorizadas furera del predio, se está trabajando en sistemas alternativos de tratamiento y uso a través de una Jardinera de Evapotranspiración y un monitoreo par adeterminar que las auguas tratadas alcancen el cumplimiento de la NOM para poder solicitar una autorizaciónante CONAGUA para utilizar el agua tratada para riego de caminos permeables en la partealta del predio.

NOM-004-SEMARNAT-2002

Protección ambiental.– Lodos y biosólidos.– Especificaciones y límites máximos permisibles. Actualmente el sistema de tratamiento no genera lodos, pero el agua tratada es extraída de manera continua, evitando su disposición inadecuada en el suelo o cuerpos de agua.

NOM-052-SEMARNAT-2005

Características, identificación, clasificación y listados de los residuos peligrosos. El proyecto no genera residuos peligrosos de manera sistemática; sin embargo, en caso de generarse (aceites, lubricantes, productos de mantenimiento), éstos serán identificados, almacenados y entregados a gestores autorizados conforme a esta norma. Se implementan medidas preventivas para evitar riesgos al suelo, subsuelo y cuerpos de agua.

NOM-083-SEMARNAT-2003

Especificaciones de protección ambiental para sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos. El proyecto no cuenta con sitios de disposición final propios; los residuos sólidos urbanos son enviados a sitios autorizados por la autoridad competente.Se evita cualquier disposición inadecuada dentro del predio o zona de influencia lagunar.

NOM-059-SEMARNAT-2010

Protección ambiental.– Especies nativas de flora y fauna silvestres en riesgo. El proyecto se localiza en una región de alta sensibilidad ecológica. No se realiza aprovechamiento extractivo de flora o fauna silvestre, ni se introducen especies exóticas. Se mantiene la vegetación ribereña y se adoptan medidas para evitar afectaciones a especies protegidas. La operación histórica y actual del proyecto se ha orientado a minimizar la perturbación del hábitat, reforzando medidas de protección como parte de la regularización ambiental.

NOM-120-SEMARNAT-2011

Prácticas de protección ambiental para actividades turísticas en zonas naturales. Las actividades recreativas del proyecto se desarrollan bajo criterios de bajo impacto, control de visitantes, infraestructura ligera y desmontable, y respeto a los ecosistemas acuáticos y terrestres. El proyecto se alinea con las prácticas de turismo sustentable establecidas en la norma, reforzando su cumplimiento dentro del proceso de regularización.

NOM-161-SEMARNAT-2011

Residuos de manejo especial – criterios para su clasificación y planes de manejo. Los residuos de manejo especial generados por la operación del proyecto se identifican y manejan conforme a través de prestadores de servicios autorizados. Se fortalece la trazabilidad y el control de residuos como parte del proceso de regularización.

El análisis de congruencia con las Normas Oficiales Mexicanas se realiza reconociendo el carácter preexistente del proyecto, evaluando su operación histórica y actual bajo la normatividad vigente, y estableciendo medidas de fortalecimiento ambiental que permitan su regularización administrativa, sin incrementar impactos ni modificar sustancialmente las condiciones ecológicas del sistema lagunar de Bacalar.

Instrumentos de planeación y regulación

Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Othón P. Blanco



Imagen III-1. UGA del POEL municipio OPB en el predio Los Rápidos. Fuente: Datos POEL OPB, Creación Propia

Dado que el predio donde se localiza Los Rápidos Lagoon Club se encuentra ubicado en el municipio de Othón P. Blanco, este se encuentra totalmente regulado por el Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL) de dicho , en las Unidades de Gestión Ambiental (UGA) 29 y 30 de dicho instrumento, colindantes con la UGA 31 referida como Laguna de Bacalar.

En este contexto, el análisis que se presenta a continuación tiene como objetivo demostrar cómo las actividades y la infraestructura del proyecto se ajustan a las políticas, criterios de uso de suelo y lineamientos de conservación del POEL, identificando áreas de congruencia y señalando medidas compatibles, complementarias o correctivas cuando fuere necesario. Además, se considera la evolución h istórica del predio, desde su establecimiento en 1992 como rancho familiar agropecuario, pasando por la apertura gradual a visitantes, hasta la implementación de prácticas de manejo ambiental y turismo controlado, previo y posterior a la publicación del POEL en 2015.

Antes de proceder al análisis de los instrumentos legales, es importante contextualizar la operación de Los Rápidos como proveedor de servicios de restaurante y balneario. Este contexto permitirá comprender de manera adecuada la aplicación de dichos instrumentos. Cabe recordar que el rancho denominado Los Rápidos, identificado como Parcela 78 en su título de propiedad, cuenta con una superficie de 179.41 hectáreas.

De esta extensión, 3.1 hectáreas (1.7 %) corresponden a terracerías y brechas que originalmente servían a las actividades de la iniciativa familiar agropecuaria desarrollada en la década de 1990, y contaba con dos áreas de balneario utilizado por la familia en una superficie conjunta de poco mas de 6 mil m2, es decir, 20 a 25 años antes del decreto y establecimiento del ordenamiento ecológico

local del municipio de Othón P. Blanco y comenzó a operar como balneario y restaurante turístico a principios de la década de los 2010, aproximadamente 5 años antes de dicho decreto.

En la actualidad y dentro del POEL municipal vigente, la superficie de 179.41 hectáreas, se encuentra distribuida en dos Unidades de Gestión Ambiental (UGA) distintas del instrumento denominado Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Othón P. Blanco[6]: 170 hectáreas en la UGA 29 - Corredor Turístico Xul-Ha Bacalar y 9.41 hectáreas en la UGA 30 - Occidente Xul-Ha y colindante con la UGA 31, denominada Laguna de Bacalar (**Tabla III.1; Imagen III.1 y 2**).

Tabla III-1. Unidades de gestión ambiental en los que se localiza el predio Los Rápidos

UGA	NOMBRE	INSTRUMENTO	SUPERFICIE (HA)
30	Occidente Xul-Ha.	POELOPB	9.41
29	Corredor Turístico Bacalar - Xul Ha	POELOPB	170
31	Laguna de Bacalar	POELOPB	Colindante
Superficie total del predio			179.41

El proyecto se ha desarrollado bajo un enfoque de minimización de impactos ambientales, incorporando un sistema que permite el tratamiento del 100 % de las aguas residuales generadas, así como una gestión integral de la totalidad de los residuos sólidos. En etapas iniciales de operación, el manejo de las aguas residuales se realizaba mediante el retiro con pipas para su disposición en sitios autorizados, sin tratamiento previo.

Actualmente, el proyecto cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que permite tratar los efluentes conforme a la normatividad aplicable, manteniéndose de manera complementaria el uso de pipas autorizadas para la disposición final, de lo cual se cuenta con los comprobantes correspondientes incluidos en los anexos. De forma adicional, se analiza la posible instalación de una jardinera de evapotranspiración para el aprovechamiento parcial del agua tratada y se evalúa el trámite de un permiso de descarga para riego de caminos de terracería, siempre que se cumpla con los criterios normativos vigentes.

En cuanto al uso del suelo, el proyecto se ajusta a la regulación para el establecimiento de desarrollos turísticos, sin poner en riesgo la calidad del acuífero. Las áreas destinadas a uso turístico representan únicamente el 0.37 % de la superficie total del predio, mientras que los caminos ocupan un 3.1 %, manteniéndose permeables y sin rebasar en conjunto los umbrales establecidos para la Unidad de Gestión Ambiental (UGA). Por lo que la infraestructuar y desarrollo completo no ocupa más del 2.09% del predio. No se han desarrollado fraccionamientos campestres ni subdivisiones del predio.

El desarrollo privilegia actividades vinculadas al turismo sustentable, tales como la operación de restaurante, balneario y actividades recreativas de baja intensidad, las cuales se realizan de manera controlada y ocupan una fracción mínima del área total. Este enfoque ha permitido la conservación de los ecosistemas circundantes y la compatibilidad con los lineamientos ecológicos aplicables a la UGA.

[6] Decreto: 7 de octubre de 2015

Las áreas del predio que presentan pendientes mayores a 30 grados han sido conservadas sin urbanización, incorporándose de facto como zonas de conservación natural, lo que contribuye a la prevención de procesos de erosión, escurrimientos no controlados y degradación del suelo.

Asimismo, el proyecto cumple con el umbral máximo de desmonte, el cual no supera el 30 % de la superficie total. Las zonas de servicio y caminos se localizaron principalmente en áreas que ya se encontraban desprovistas de vegetación, correspondientes a antiguos trazos asociados a un proyecto de autopista cancelado en la década de 1990. En conjunto, las áreas intervenidas por caminos y servicios representan aproximadamente el 3.47 % del predio.

Respecto a la capacidad de alojamiento, el proyecto se mantiene muy por debajo de los límites establecidos puesto que no se brindan servicios de hospedaje (los balnearios funcionan como clubs de día con operaciones de 10 am a 6pm). Existen departamentos que se usan para personal y para usos múltiples cuando se requiere No se han construido cuartos hoteleros, ni se desarrollan viviendas suburbanas dentro del predio, por lo que se cumple plenamente con los umbrales máximos permitidos para este tipo de infraestructura.

Congruencia del proyecto con la política ambiental de la UGA 29

La UGA 29 tiene como política ambiental el Aprovechamiento Sustentable, con un objetivo explícito de propiciar el desarrollo turístico sustentable en una zona con alto potencial paisajístico asociado al sistema lagunar de Bacalar, manteniendo la funcionalidad ecológica y la protección del acuífero. El proyecto Balneario Los Rápidos se enmarca dentro de este objetivo, al tratarse de un desarrollo turístico de baja y media intensidad, enfocado en el uso recreativo y contemplativo del paisaje acuático, tal como se describe en el Capítulo II, descripción general del proyecto y componentes de infraestructura (véanse subsecciones de obras permanentes y temporales, así como imágenes del sitio).

Superficie intervenida, desmonte y conservación de vegetación

De conformidad con el criterio AS-45, el proyecto contempla un umbral máximo de desmonte inferior al 30 % de la superficie del predio localizado en la UGA 29, concentrando la infraestructura en áreas previamente impactadas o con vegetación secundaria, y manteniendo áreas de conservación interna. Esta estrategia se encuentra documentada en el Capítulo II de la MIA, particularmente en los apartados de descripción de obra y en los planos de distribución de obras (imágenes de localización).

Asimismo, en cumplimiento de los criterios CU-01 y CU-07, el diseño del proyecto incorpora vegetación nativa del ecosistema, conserva individuos arbóreos relevantes dentro de áreas verdes y zonas de amortiguamiento, e integra la vegetación existente al diseño paisajístico del balneario.

Densidades y parámetros de aprovechamiento turístico

Las densidades de cuartos, cabañas y/o infraestructura turística consideradas para el Balneario Los Rápidos se calcularon con base en la superficie efectiva de 170 ha dentro de la UGA 29, respetando el criterio CU-22, que establece una densidad máxima de 15 cuartos hoteleros por hectárea, así como el criterio AS-32, que define la metodología de cálculo de densidades por superficie total del predio.

En este sentido, el número de unidades, descritas en el Capítulo II se encuentra por debajo de los umbrales máximos permitidos por la UGA, garantizando que el aprovechamiento turístico no comprometa los procesos ecológicos ni rebase la capacidad de carga territorial.

Manejo del agua, aguas residuales y prevención de la contaminación

El proyecto cumple con los criterios CU-03, CU-28 y PC-03, al contemplar sistemas propios de tratamiento de aguas residuales, diseñados para cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas

aplicables y evitar descargas que afecten el acuífero y el sistema lagunar. La descripción técnica de estos sistemas se encuentra desarrollada en el Capítulo II de la MIA y el manual de operaciones anexo, en las subsecciones correspondientes a infraestructura hidráulica y sanitaria, así como en las imágenes de plantas de tratamiento y áreas de reúso.

Adicionalmente, se han dejado la recuperación de la vegetacion donde se encontraban los potreros que ayuda a la prevención del arrastre de sedimentos, manejo integral de residuos sólidos y control de contaminantes, en congruencia con los criterios PC-04, PC-08 y PC-10, reforzando el carácter sustentable del proyecto dentro de una UGA con alta importancia para la recarga de acuíferos

Arquitectura, diseño y adaptación ambiental

El diseño arquitectónico de los balnearios de Los Rápidos Lagoon Club considera principios de arquitectura bioclimática, ventilación natural, eficiencia energética y uso racional del agua, en cumplimiento del criterio CU-29. Asimismo, las alturas, niveles constructivos y características estructurales se ajustan a los criterios CU-14 y CU-16, minimizando riesgos asociados a fenómenos hidrometeorológicos y garantizando la estabilidad sobre el sustrato kárstico, aspectos descritos en el Capítulo II, descripción de obras, apoyados con imágenes y esquemas del proyecto.

En síntesis, en su superficie efectiva de 170 ha dentro de la UGA 29, presenta una congruencia plena con los lineamientos ecológicos, criterios de regulación y política ambiental del POEL-OPB, al concentrar su desarrollo en un esquema de aprovechamiento sustentable, respetar los umbrales de desmonte y densidad, implementar infraestructura ambientalmente responsable y priorizar la conservación del paisaje y del sistema hidrológico lagunar.

El siguiente análisis tiene como objetivo evaluar la compatibilidad del desarrollo “Los Rápidos Lagoon Club” con los lineamientos ecológicos establecidos para la UGA 29 (Tabla II.2). Los puntos analizados se incluyen en la Tabla III.2. La presente tabla se elaboró considerando únicamente la superficie del predio localizada dentro de la UGA 29 (170 ha). En consecuencia, todas las densidades, superficies, cálculos y criterios de evaluación ambiental corresponden exclusivamente a dicha unidad de gestión, asegurando la congruencia del proyecto con el POEL-OPB vigente.

Congruencia del proyecto con la política ambiental de la UGA 30

Una porción menor del predio Los Rápidos, con una superficie aproximada de 9 hectáreas, se localiza dentro de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) 30 “Occidente Xul-Ha”, regulada por el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Othón P. Blanco (POEL-OPB) (**Tabla III.3**) Esta fracción del predio se ubica en la zona colindante con la Carretera Federal 307, a una distancia significativa del sistema lagunar de Bacalar y fuera del área donde se desarrollan las actividades recreativas y balnearias del proyecto, las cuales se concentran exclusivamente en la UGA 29.

La política ambiental de la UGA 30 es de Aprovechamiento Sustentable, orientada al desarrollo suburbano de baja intensidad, equipamiento y servicios, así como a actividades compatibles con la conservación de los procesos ecológicos, particularmente la recarga del acuífero. En este contexto, la infraestructura existente y considerada en esta porción del predio se limita únicamente a una casa de vigilancia y a establos, los cuales cumplen una función auxiliar y de apoyo operativo, sin constituir infraestructura turística, urbana o habitacional de mediana o alta densidad.

Tabla III-2. Compatibilidad de Los Rápidos Lagoon Club (170 hectáreas) en la UGA 29 – Corredor Turístico Bacalar–Xul-Ha, del POEL OPB

Lineamiento / Criterio aplicable	**Disposición normativa**	**Evaluación de cumplimiento**	**Fundamentación técnica (MIA)**
Política ambiental de la UGA	Política de Aprovechamiento Sustentable	**Cumple**	El proyecto se localiza mayoritariamente dentro de la UGA 29, cuya política ambiental es el Aprovechamiento Sustentable, permitiendo el desarrollo turístico bajo esquemas de bajo impacto ambiental. La totalidad de la infraestructura, cálculos de densidad y superficies analizadas corresponden exclusivamente a las **170 ha del predio localizadas en dicha UGA**. Capítulo II, apartados II.1 e II.1.2; planos de localización.
Uso de suelo permitido	Usos compatibles: Turismo convencional y turismo alternativo	**Cumple**	El proyecto corresponde a un balneario/restaurante de carácter turístico-recreativo, uso expresamente compatible con la UGA 29. Capítulo II, apartado II.1.1 Naturaleza del proyecto.
Superficie máxima de desmonte	AS-45: desmonte ≤ 30% del predio	**Cumple**	La superficie intervenida por infraestructura permanente representa una fracción mínima del predio, manteniéndose el resto como áreas de conservación y amortiguamiento. No se rebasa el umbral máximo de desmonte permitido. Capítulo II, apartados II.1.3 e II.2; tablas de superficies y planos.
Densidad de cuartos hoteleros	CU-22 y AS-32	**Cumple**	La densidad de cuartos se calcula con base en la superficie efectiva de 170 ha dentro de la UGA 29, sin rebasar el máximo permitido de 15 cuartos por hectárea ni los umbrales globales de la UGA. Capítulo II, descripción de componentes y datos de inversión e infraestructura. No obstante, no se ofertan cuartos hoteleros, por ser un club de laguna (playa) sin pernocta.
Conservación de vegetación nativa	CU-01 y CU-07	**Cumple**	El proyecto incorpora vegetación nativa en áreas verdes y conserva individuos arbóreos existentes que

Lineamiento / Criterio aplicable	Disposición normativa	Evaluación de cumplimiento	Fundamentación técnica (MIA)
			coinciden con áreas de uso común y amortiguamiento, integrándolos al diseño del sitio. Capítulo II, descripción del sitio, obras y material fotográfico.
Sistemas de tratamiento de aguas residuales	CU-03 y CU-28	**Cumple**	El proyecto cuenta con sistemas propios de tratamiento de aguas residuales, diseñados, operados y mantenidos conforme a la normatividad ambiental aplicable, evitando descargas directas al acuífero y a cuerpos de agua superficiales. Capítulo II, infraestructura sanitaria y fotografías del sistema.
Manejo integral de residuos sólidos	Lineamientos UGA 29	**Cumple**	Se implementa un esquema de manejo integral de residuos sólidos que contempla separación, almacena-miento temporal y disposición final mediante servicios autorizados. Capítulo II, apartado de operación del proyecto.
Prevención de contaminación de suelo y agua	PC-03	**Cumple**	A lo largo de todo el desarrollo del conjunto y su operación se aplican medidas para prevenir el arrastre de sedimentos y contaminantes hacia cuerpos de agua y zonas inundables. Capítulo II, medidas ambientales y operación. Hay un 96% del predio, en la meseta al poniente, y en los humedales de la planicie sedimentaria, bajo regeneración natural o conservación.
Actividades recreativas de bajo impacto	PC-04 y AS-06	**Cumple**	Las actividades recreativas asociadas al balneario se realizan bajo esquemas de bajo impacto, con reglamentos de operación y control de accesos. Capítulo II, operación y medidas de manejo.
Diseño arquitectónico sustentable	CU-29	**Cumple**	Las edificaciones incorporan criterios de ventilación natural, eficiencia energética y uso racional del agua, reduciendo la huella ecológica del proyecto. Capítulo II,

Lineamiento / Criterio aplicable	Disposición normativa	Evaluación de cumplimiento	Fundamentación técnica (MIA)
			memoria descriptiva y descripción de infraestructura.
Altura y características constructivas	CU-14 y CU-16	**Cumple**	Las edificaciones cumplen con los límites de altura permitidos, son principalmente de madera y con criterios de seguridad estructural sobre sustrato kárstico, considerando riesgos hidrometeorológicos y sin interferir con flujos hidrológicos. Capítulo II, planos arquitectónicos y estructurales.
Conservación de procesos ecológicos y paisaje	Objetivo UGA 29	**Cumple**	El proyecto mantiene amplias áreas sin intervención dentro del predio, garantizando la conservación del paisaje, la recarga del acuífero y la funcionalidad ecológica del sistema lagunar. Capítulo II, descripción del predio y justificación ambiental.

De acuerdo con lo descrito en el Capítulo II de la Manifestación de Impacto Ambiental, estas instalaciones se localizan en áreas previamente utilizadas y consolidadas, sin implicar la apertura de nuevas vialidades, la fragmentación del hábitat ni la ampliación de superficies desmontadas. En este sentido, el aprovechamiento del suelo en la UGA 30 se mantiene muy por debajo de los umbrales máximos de desmonte permitidos por el POEL-OPB, garantizando que la mayor parte de la superficie conserve su condición permeable y su función hidrológica.

Cabe destacar que no se desarrollan en esta UGA usos habitacionales, fraccionamientos, cuartos hoteleros ni infraestructura turística, por lo que no resultan aplicables los criterios de densidad de vivienda o de alojamiento turístico previstos en el ordenamiento ecológico. Asimismo, las actividades pecuarias asociadas a los establos se limitan a una escala reducida, sin carácter intensivo, y se realizan en áreas ya destinadas a este fin, en congruencia con los criterios que permiten este tipo de uso siempre que no impliquen cambio de uso de sulo forestal ni riesgos de contaminación al subsuelo kárstico.

En materia de manejo ambiental, las instalaciones localizadas en la UGA 30 cuentan con esquemas de manejo sanitario y de residuos sólidos acordes con su baja generación, evitando descargas directas al suelo o al acuífero y sin representar una fuente significativa de contaminantes. La lejanía de esta porción del predio respecto a cuerpos de agua superficiales, aunada a la ausencia de actividades recreativas acuáticas o de servicios turísticos, reduce de manera sustancial el riesgo de afectaciones ambientales directas.

En términos de paisaje y funcionalidad ecológica, la infraestructura existente mantiene baja altura, mínima huella física y una integración visual acorde con el entorno, sin alterar la conectividad ecológica ni los procesos naturales dominantes en la zona. De esta manera, el uso del suelo en la UGA 30 se considera ambientalmente compatible, al cumplir con los objetivos de la unidad de gestión y con los criterios de regulación ecológica establecidos en el POEL-OPB.

Así, la porción del predio Los Rápidos localizada dentro de la UGA 30 – Occidente Xul-Ha presenta una congruencia plena con la política de aprovechamiento sustentable, al destinarse exclusivamente a infraestructura de apoyo de muy baja intensidad, claramente diferenciada y funcionalmente separada del área turística principal del proyecto. Esta delimitación espacial y funcional refuerza la viabilidad ambiental del proyecto en su conjunto y permite una evaluación clara, objetiva y diferenciada de los impactos ambientales por unidad de gestión.

Tabla IIII-3 Compatibilidad de Los Rápidos Lagoon Club (9.41 hectáreas) en la UGA 30 Occidente Xul Ha, del POEL OPB

Lineamiento / Criterio	**Disposición aplicable UGA 30**	**Evaluación de cumplimiento**	**Fundamentación técnica**
Política ambiental	Aprovechamiento Sustentable	**Cumple**	La UGA 30 tiene como política ambiental el Aprovechamiento Sustentable, orientado a desarrollo suburbano y equipamiento de apoyo al turismo. La casa de vigilancia y los establos constituyen infraestructura de apoyo, sin cambio de vocación turística ni urbana.
Uso del suelo	Usos compatibles: Desarrollo suburbano, equipamiento y servicios	**Cumple**	Las edificaciones existentes corresponden a equipamiento auxiliar del predio, compatibles con los usos autorizados en la UGA 30. No se desarrollan usos urbanos ni turísticos intensivos. Capítulo II, descripción del sitio y componentes del proyecto.
Localización respecto a cuerpos de agua	No colindante con cuerpos lagunares	**Cumple**	La fracción de 9 ha se localiza en la porción colindante con la carretera federal 307, alejada del sistema lagunar, reduciendo riesgos de afectación directa a cuerpos de agua. Capítulo II, plano de localización e imágenes del sitio.
Umbral máximo de desmonte	AS-47: ≤ 40% de la superficie del predio	**Cumple**	Las obras existentes ocupan una superficie menor al umbral máximo permitido. No se prevén desmontes adicionales significativos.
Densidad de viviendas	CU-19: hasta 8 viviendas por hectárea	**No aplica**	En esta porción del predio solo existe una vivienda que solía ser la casa del rancho y actualmente es la casa del velador, fraccionamientos ni infraestructura habitacional.
Infraestructura turística	Permitida bajo esquemas de bajo impacto	**No aplica**	No existen balnearios, áreas recreativas ni infraestructura turística en esta UGA; dichas actividades se

Lineamiento / Criterio	Disposición aplicable UGA 30	Evaluación de cumplimiento	Fundamentación técnica
			concentran exclusivamente en la UGA 29.
Tratamiento de aguas residuales	CU-03 y CU-28	**Cumple**	Las instalaciones cuentan con manejo sanitario independiente y no generan descargas que pongan en riesgo el acuífero. No se utilizan fosas sépticas simples. Capítulo II, infraestructura sanitaria.
Manejo de residuos sólidos	Lineamientos generales UGA 30	**Cumple**	Los residuos generados por la casa de vigilancia y establos son de bajo volumen y se manejan mediante separación, almacenamiento temporal y disposición final autorizada. Capítulo II, operación del proyecto.
Prevención de contaminación del suelo y acuífero	PC-01, PC-02, PC-04	**Cumple**	No se realizan actividades industriales ni agropecuarias intensivas; se implementan medidas preventivas para evitar infiltración de contaminantes al subsuelo kárstico.
Actividades pecuarias	AS-39: restringidas a áreas ya utilizadas	**Cumple**	Los establos se localizan en un área previamente utilizada para este fin, sin ampliación ni cambio de uso de suelo forestal.
Conservación del paisaje	Objetivo UGA 30	**Cumple**	La infraestructura mantiene baja densidad constructiva y no altera el carácter paisajístico ni la funcionalidad ecológica del entorno. Capítulo II, descripción del entorno.
Riesgo hidrológico y recarga del acuífero	Zona con alta importancia para recarga	**Cumple**	No se prevén obras impermeables extensivas ni alteraciones a los flujos naturales de infiltración. La superficie permeable se mantiene mayoritaria.

Congruencia del proyecto Balnearios Los Rápidos con la UGA 31- Laguna de Bacalar

La Unidad de Gestión Ambiental (UGA) 31 “Laguna de Bacalar” cuenta con una superficie aproximada de 9,572.74 hectáreas y se rige bajo una política ambiental de Protección, orientada a mantener la continuidad de los servicios ambientales, así como la calidad y funcionalidad del sistema geohidrológico del municipio de Othón P. Blanco.

Esta UGA se caracteriza por su alta fragilidad ecológica y por albergar ecosistemas estratégicos como manglares, tulares y el cuerpo lagunar, los cuales cumplen funciones clave en la regulación hidrológica, la biodiversidad y el paisaje regional. De acuerdo con la información oficial del POEL-OPB, la UGA 31 está compuesta principalmente por manglar (49.47%), cuerpo de agua lagunar

(42.89%) y tular (3.28%), lo que evidencia su vocación eminentemente ecológica y su relevancia como sistema natural de alto valor ambiental Asimismo, más del 52% de la superficie presenta vegetación en buen estado de conservación, condición que refuerza la prioridad de mantenerla libre de presiones antrópicas directas.

Relación territorial del proyecto con la UGA 31

El proyecto de Balnearios Los Rápidos no se localiza dentro de la UGA 31, ni ocupa superficie correspondiente al cuerpo lagunar, manglares o tulares asociados. El predio del proyecto se encuentra principalmente en la UGA 29, mientras que una fracción menor se localiza en la UGA 30, ambas con políticas de aprovechamiento sustentable. No obstante, dada la colindancia funcional y ecológica entre la UGA 29 y la UGA 31, resulta indispensable analizar la congruencia del proyecto desde un enfoque de zona de influencia, en apego al principio preventivo. En este sentido, el diseño y operación del proyecto respetan la delimitación física y normativa entre las áreas terrestres de uso recreativo y el ecosistema lagunar protegido, evitando cualquier tipo de ocupación, relleno, dragado o modificación directa dentro de la UGA 31.

Congruencia con la política de protección y el sistema geohidrológico

El objetivo central de la UGA 31 es mantener la continuidad de los servicios ambientales y la funcionalidad del sistema geohidrológico mediante la regulación de las actividades productivas En congruencia con este objetivo, los Balnearios Los Rápidos incorpora medidas que previenen afectaciones directas e indirectas al cuerpo lagunar y al acuífero kárstico, entre las que destacan:

La ausencia de descargas de aguas residuales al cuerpo de agua lagunar, mediante el uso de sistemas de tratamiento adecuados.

La extracción de aguas residuales fuera del predio, reduciendo el riesgo de contaminación por escorrentías.

La conservación de áreas permeables que favorecen la infiltración natural y disminuyen la carga de contaminantes hacia el sistema lagunar.

La no utilización de embarcaciones motorizadas, dragados, anclajes permanentes ni infraestructura fija dentro del cuerpo de agua.

Estas medidas se alinean con la necesidad de proteger la calidad del agua, uno de los componentes más sensibles y estratégicos de la UGA 31.

Conservación de ecosistemas y paisaje

La descripción biofísica de la UGA 31 resalta su carácter alargado y su función como sistema continuo de manglares, tulares y cuerpo lagunar, con alto valor paisajístico y potencial turístico bajo esquemas de bajo impacto Los Balnearios de Los Rápidos reconocen esta condición y evita generar presión adicional sobre la UGA, al concentrar la infraestructura turística en áreas previamente destinadas a este uso, sin promover la expansión hacia el espejo de agua ni hacia zonas de vegetación primaria. De esta manera, el proyecto no interrumpe la conectividad ecológica, no altera la estructura de los ecosistemas costeros-lagunares y contribuye indirectamente a la conservación del paisaje, al mantener una relación de uso controlado y regulado con el entorno.

La ficha de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) 31 “Laguna de Bacalar” establece que su regulación corresponde a la competencia federal, en términos de lo dispuesto por el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la Ley de Aguas Nacionales, reconociendo simultáneamente su integración al territorio municipal de Othón P. Blanco. En estricto apego a este marco jurídico, los promoventes del proyecto han promovido de manera continua y documentada, desde hace aproximadamente diez a trece años, el trámite de concesión de Zona

Federal, sin que a la fecha se haya emitido resolución administrativa definitiva por parte de la autoridad competente.

Derivado de la ausencia de una resolución expresa y con el fin de no generar actos que pudieran interpretarse como ocupación permanente, modificación física o aprovechamiento exclusivo del cuerpo nacional de agua, el proyecto ha adoptado un enfoque estrictamente precautorio, absteniéndose de ejecutar obras fijas, irreversibles o que impliquen alteraciones a la estructura geológica, hidrológica o biológica del sistema lagunar.

La infraestructura que actualmente se encuentra establecida en el área de influencia de la UGA 31 ha sido diseñada, instalada y operada bajo criterios de temporalidad, desmontabilidad total y reversibilidad, precisamente para evitar cualquier afectación directa o indirecta a los tapetes microbiolíticos del canal, así como para ordenar el uso del espacio y reducir la presión ambiental sobre el ecosistema, concentrando las actividades humanas en áreas controladas y de bajo impacto.

Es importante señalar que dicha infraestructura no constituye ocupación definitiva ni consolidada de la Zona Federal, no genera derechos adquiridos, ni limita el ejercicio de las facultades de la autoridad federal competente, toda vez que puede ser retirada en su totalidad de manera inmediata, en el momento en que así se determine o una vez que se emita la resolución correspondiente al trámite de concesión. Esta condición garantiza que el proyecto permanezca plenamente sujeto a la competencia federal.

En congruencia con lo anterior, los promoventes reiteran su compromiso de continuar gestionando de manera activa y permanente la solicitud de concesión de Zona Federal ante la autoridad federal competente, hasta en tanto se emita una resolución administrativa definitiva. Dicha gestión se realizará en estricto apego al marco jurídico aplicable y bajo un enfoque de coordinación institucional, transparencia y cumplimiento, manteniendo en todo momento las medidas precautorias implementadas y la disposición plena para ajustar o modificar cualquier infraestructura que así lo determine la autoridad competente. Este compromiso garantiza que el desarrollo y operación del proyecto se mantengan subordinados a la competencia federal, sin menoscabo de los objetivos de protección ambiental de la Laguna de Bacalar ni de las facultades de las autoridades responsables.

En consecuencia, el proyecto se desarrolla bajo un esquema de prevención reforzada, priorizando la protección de los ecosistemas acuáticos de alta fragilidad, la conservación de los servicios ambientales de la Laguna de Bacalar y el respeto irrestricto al marco jurídico aplicable, evitando cualquier conflicto de competencia y asegurando la compatibilidad ambiental y normativa con la política de protección establecida para la UGA 31.

Esta iniciativa presenta una congruencia ambiental indirecta y preventiva con la UGA 31 – Laguna de Bacalar, al no localizarse dentro de esta unidad ni promover actividades incompatibles con su política de protección. El proyecto reconoce la alta fragilidad y relevancia ecológica del sistema lagunar y adopta medidas de diseño, operación y manejo que previenen impactos negativos directos e indirectos, manteniendo intactos los ecosistemas acuáticos, los manglares y la funcionalidad del sistema geohidrológico.

Este enfoque refuerza la viabilidad ambiental del proyecto y su alineación con los objetivos de conservación establecidos en el POEL-OPB, contribuyendo a una gestión territorial coherente entre las unidades de aprovechamiento sustentable (UGA 29 y 30) y la unidad de protección prioritaria (UGA 31).

Congruencia del proyecto Balnearios Los Rápidos con los Criterios Ecológicos de Aplicación General del Municipio de Othón P. Blanco

El proyecto Balnearios Los Rápidos se desarrolla dentro del municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, y se encuentra sujeto a los Criterios Ecológicos de Aplicación General establecidos en el Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL-OPB) (**Tabla III.4**), los cuales tienen como finalidad garantizar la protección del recurso hídrico, del suelo y subsuelo, así como de la biodiversidad, independientemente de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) específica en la que se localicen los proyectos.

El predio presenta una división territorial y funcional claramente diferenciada:

> UGA 29 “Corredor Turístico Bacalar–Xul-Ha”, donde se concentran aproximadamente 170 ha y se localiza la infraestructura turística y recreativa principal, incluyendo los balnearios.
>
> UGA 30 “Occidente Xul-Ha”, con una superficie aproximada de 941. ha, ubicada en la franja colindante con la carretera federal, donde únicamente se localizan infraestructura de apoyo (casa de vigilancia y establos), sin actividades recreativas, turísticas ni balnearias.

Esta diferenciación espacial permite una aplicación precisa, proporcional y congruente de los criterios generales.

Congruencia con los criterios relativos al recurso prioritario: Agua

El proyecto, en ambas UGA, atiende de manera integral los criterios CG-01 a CG-17, orientados a la protección del recurso hídrico y del acuífero kárstico característico de la región.

En la UGA 29, donde se desarrollan las actividades turísticas, el diseño del proyecto prioriza la infiltración natural de las aguas pluviales (CG-01), manteniendo amplias superficies permeables y evitando la canalización artificial que pudiera alterar los flujos naturales. Las aguas pluviales y las aguas residuales se manejan mediante infraestructura independiente (CG-02), lo que previene la contaminación cruzada y reduce riesgos al manto freático.

Las aguas residuales generadas por las actividades turísticas cuentan con sistemas de tratamiento adecuados, cumpliendo con la normatividad vigente (CG-06), sin canalizarse a pozos de absorción ni a cuerpos de agua naturales. Adicionalmente, se implementan medidas de retención de grasas, sólidos y sedimentos, en congruencia con los criterios CG-02 y CG-07, minimizando cualquier riesgo de contaminación indirecta del sistema lagunar.

En la UGA 30, dada la ausencia de actividades recreativas y la baja generación de aguas residuales, el manejo sanitario es igualmente compatible con los criterios generales, sin descargas al subsuelo ni a cuerpos de agua, y manteniendo condiciones de muy bajo riesgo ambiental.

En ambas UGA, el proyecto incorpora medidas de ahorro de agua, así como acciones de prevención de contaminación del acuífero, debidamente documentadas en la Manifestación de Impacto Ambiental, en cumplimiento del CG-10 y CG-12. Asimismo, se contempla el registro de volúmenes de extracción de agua en la bitácora ambiental, conforme al CG-17, garantizando que el aprovechamiento no exceda la capacidad del acuífero.

Congruencia con los criterios relativos al suelo y subsuelo

Respecto al recurso suelo y subsuelo, el proyecto cumple con los criterios CG-18 a CG-28, aplicando el principio de aprovechamiento proporcional y equitativo del predio.

En la UGA 29, el porcentaje de desmonte se mantiene dentro de los umbrales máximos permitidos, conforme al CG-22, concentrando la infraestructura en áreas previamente impactadas o con vegetación secundaria, y conservando extensas áreas naturales. En ningún caso se acumulan

porcentajes de desmonte que excedan lo autorizado, ni se transfieren densidades o aprovechamientos entre UGAs, en estricto apego a los criterios CG-23 y CG-28.

En la UGA 30, las áreas desprvistas de vegetación son mínimas y se limitan a áreas previamente utilizadas, sin afectación a pendientes pronunciadas, zonas inundables o áreas con escorrentía, cumpliendo con el CG-24. Las actividades desarrolladas no implican asentamientos humanos ni usos indebidos del derecho de vía, conforme al CG-25.

En ambas áreas, los materiales pétreos y de construcción provienen de bancos autorizados (CG-18), los residuos sólidos y materiales derivados de obras se disponen exclusivamente en sitios autorizados (CG-19 y CG-26), y se cuenta con medidas específicas para campamentos y actividades temporales de obra, conforme al CG-21, incluyendo manejo adecuado de residuos y condiciones de higiene y seguridad.

Congruencia con los criterios relativos a biodiversidad, flora y fauna

El proyecto también muestra congruencia con los criterios CG-29 a CG-39, enfocados en la conservación de la biodiversidad y la funcionalidad ecológica del territorio.

En la UGA 29, el diseño del proyecto prioriza el uso de áreas previamente intervenidas (CG-29) y contempla la ejecución de programas de rescate selectivo de flora y fauna previos al desmonte (CG-32 y CG-33), con especial atención a especies protegidas o de lento desplazamiento. NO se ha realizado remoción de vegetación, conforme a los criterios CG-35 y CG-39.

En la UGA 30, debido a la baja intensidad de uso y a la naturaleza auxiliar de la infraestructura, los impactos sobre la biodiversidad son mínimos; no obstante, se mantienen medidas preventivas que evitan la fragmentación del hábitat y la afectación a la conectividad ecológica, cumpliendo con el espíritu de los criterios CG-36 y CG-37, aun cuando no se desarrollan obras lineales extensivas.

El proyecto no contempla el uso de especies exóticas invasoras ni actividades acuícolas en cuerpos de agua naturales, y cualquier manejo de especies cumple con lo establecido en el CG-31. Asimismo, se promueve el uso de materiales regionales y de bajo procesamiento, reduciendo la huella ambiental de las construcciones, en congruencia con el CG-38.

En conjunto, el análisis integral de los Balnearios, considerando de manera diferenciada las 170 ha localizadas en la UGA 29 y las 9.41 ha localizadas en la UGA 30, demuestra una congruencia plena con los Criterios Ecológicos de Aplicación General del POEL del Municipio de Othón P. Blanco.

La clara separación funcional y espacial entre la zona turística-recreativa y la zona de infraestructura de apoyo, aunada a la aplicación de medidas preventivas, de manejo ambiental y de conservación, garantiza que el proyecto no contraviene los objetivos de protección del agua, del suelo ni de la biodiversidad, y que su desarrollo se ajusta a los principios de aprovechamiento sustentable y proporcionalidad establecidos en el ordenamiento ecológico vigente.

Tabla III-4. Congruencia con los Criterios Ecológicos de Aplicación General. Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Othón P. Blanco. Proyecto: Balnearios Los Rápidos

Criterio General	**Recurso prioritario**	**Congruencia UGA 29 – Corredor Turístico Bacalar–Xul-Ha (170 ha)**	**Congruencia UGA 30 – Occidente Xul-Ha (9 ha)**
CG-01	Agua	Cumple. El diseño del proyecto mantiene superficies permeables y permite la infiltración natural de aguas pluviales, sin alterar flujos hidrológicos.	Cumple. No existen superficies impermeables extensivas; se conserva la infiltración natural.

Criterio General	Recurso prioritario	Congruencia UGA 29 – Corredor Turístico Bacalar–Xul-Ha (170 ha)	Congruencia UGA 30 – Occidente Xul-Ha (9 ha)
CG-02	Agua	Cumple. Infraestructura separada para aguas pluviales y residuales; sistemas de retención de grasas en áreas de servicios.	Cumple. Baja generación de aguas residuales; manejo sanitario independiente.
CG-03	Agua	No aplica. No se desarrollan ecosistemas marinos.	No aplica.
CG-04	Agua	Cumple. Se conservan franjas de protección y vegetación asociada a cuerpos de agua; no se altera su estructura geológica.	No aplica. No colinda con cuerpos de agua.
CG-05	Agua	No aplica. No se emplean agroquímicos de manera intensiva.	No aplica.
CG-06	Agua	Cumple. Aguas residuales tratadas conforme a normatividad; sin descargas al subsuelo ni a cuerpos de agua.	Cumple. Manejo sanitario adecuado sin riesgo al acuífero.
CG-07	Agua	Cumple. Drenaje pluvial con filtración y retención de sedimentos; sin descargas directas.	No aplica.
CG-08	Agua	Cumple. No se realizan dragados ni desecaciones.	Cumple.
CG-09	Agua	No aplica. No se realizan actividades acuícolas.	No aplica.
CG-10	Agua	Cumple. Se implementan acciones de ahorro de agua y prevención de contaminación del manto freático.	Cumple.
CG-11	Agua	No aplica.	No aplica.
CG-12	Agua	Cumple. Se considera captación de agua pluvial y/o reúso de aguas tratadas.	Cumple.
CG-13	Agua	Cumple. Las construcciones respetan las características del terreno y flujos hídricos.	Cumple.
CG-14	Agua	No aplica. No se proyectan sitios de disposición final de RSU.	No aplica.
CG-15	Agua	No aplica.	No aplica.
CG-16	Agua	No aplica.	No aplica.
CG-17	Agua	Cumple. Registro de volúmenes de extracción en bitácora ambiental.	Cumple.
CG-18	Suelo y subsuelo	Cumple. Materiales provenientes de bancos autorizados.	Cumple.

Criterio General	Recurso prioritario	Congruencia UGA 29 – Corredor Turístico Bacalar–Xul-Ha (170 ha)	Congruencia UGA 30 – Occidente Xul-Ha (9 ha)
CG-19	Suelo y subsuelo	Cumple. Disposición de residuos conforme a normatividad.	Cumple.
CG-20	Suelo y subsuelo	Cumple. En caso de hallazgos arqueológicos se dará aviso al INAH.	Cumple.
CG-21	Suelo y subsuelo	Cumple. Campamentos y obras con medidas sanitarias, de seguridad y manejo de residuos.	Cumple.
CG-22	Suelo y subsuelo	Cumple. El porcentaje de desmonte se mantiene dentro del umbral de la UGA.	Cumple. Desmonte mínimo.
CG-23	Suelo y subsuelo	Cumple. No se acumulan porcentajes de desmonte fuera de lo permitido.	Cumple.
CG-24	Suelo y subsuelo	Cumple. No se intervienen pendientes críticas ni zonas inundables.	Cumple.
CG-25	Suelo y subsuelo	Cumple. No se utilizan derechos de vía para asentamientos humanos.	Cumple.
CG-26	Suelo y subsuelo	Cumple. Materiales derivados de obra dispuestos en sitios autorizados.	Cumple.
CG-27	Suelo y subsuelo	Cumple. El proyecto no solicita más del 25% del umbral de aprovechamiento de la UGA.	Cumple.
CG-28	Suelo y subsuelo	Cumple. No se transfieren densidades ni porcentajes de desmonte entre UGAs.	Cumple.
CG-29	Biodiversidad	Cumple. Se prioriza el uso de áreas previamente impactadas.	Cumple.
CG-30	Biodiversidad	Cumple. Uso controlado de insumos; preferencia por productos orgánicos.	Cumple.
CG-31	Biodiversidad	No aplica. No se manejan especies exóticas.	No aplica.
CG-32	Biodiversidad	Cumple. Programa de rescate selectivo de flora previo al desmonte.	No aplica.
CG-33	Biodiversidad	Cumple. Programa de rescate y reubicación de fauna.	No aplica.
CG-34	Biodiversidad	Cumple. Aceites usados gestionados por empresas autorizadas.	Cumple.
CG-35	Biodiversidad	Cumple. Recuperación de suelo vegetal y generación de composta.	No aplica.
CG-36	Biodiversidad	Cumple. Reubicación de fauna con sitios autorizados.	No aplica.

Criterio General	Recurso prioritario	Congruencia UGA 29 – Corredor Turístico Bacalar–Xul-Ha (170 ha)	Congruencia UGA 30 – Occidente Xul-Ha (9 ha)
CG-37	Biodiversidad	Cumple. Se mantiene conectividad ecológica.	No aplica.
CG-38	Biodiversidad	Cumple. Uso de materiales regionales y de bajo impacto.	Cumple.
CG-39	Biodiversidad	Cumple. NO se ha realizado desmonte, y las áreas que estaban destinadas a ganadería llevan un proceso de regeneración de 15 años con especies nativas.	No aplica.

Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Golfo de México y Mar Caribe y la UGA 152 “Bacalar”

El proyecto Los Rápidos Lagoon Club, descrito en el Capítulo II de la Manifestación de Impacto Ambiental, se localiza dentro de la UGA 152 “Bacalar”, definida en el ordenamiento ecológico regional como una unidad con vocación turística, urbana y de servicios, estrechamente vinculada al sistema lagunar de Bacalar y su entorno kárstico. En este contexto, resulta indispensable analizar la congruencia del proyecto no sólo a escala local, sino también regional, considerando las Acciones Generales (A) y los Criterios Específicos (G) del POER del Golfo y el Caribe, así como la zona de influencia ecológica y funcional de la Laguna de Bacalar (**Imagen III.2**).

Enfoque preventivo en el manejo del agua y protección del sistema kárstico–lagunar

Uno de los ejes centrales del POER GMyC es la protección del recurso hídrico, particularmente en regiones con alta vulnerabilidad hidrogeológica, como la Península de Yucatán. En congruencia con las Acciones A-005, A-006, A-021, A-063, A-066, A-067 y los criterios G001, G055 y G067, el proyecto Los Rápidos Lagoon Club incorpora un diseño que minimiza pérdidas de agua, promueve la captación de agua pluvial, el uso eficiente del recurso y el manejo diferenciado de aguas residuales y pluviales, evitando descargas directas al cuerpo lagunar.

Estas medidas resultan particularmente relevantes en la zona de influencia de la Laguna de Bacalar, donde la conectividad entre suelo, subsuelo y cuerpos de agua es directa. El proyecto reconoce esta condición y adopta un enfoque precautorio reforzado, orientado a evitar la contaminación del acuífero y del sistema lagunar, alineándose plenamente con los objetivos regionales de protección de la calidad del agua.

Uso del suelo, densificación controlada y contención de la expansión territorial

El POER GMyC establece como prioridad desincentivar las actividades extensivas, promover el uso intensivo del suelo acorde a su aptitud y evitar la expansión de la frontera urbana y productiva sobre áreas naturales (Acciones A-053, A-054, A-057 y criterios G021, G022, G046). En este sentido, el proyecto Los Rápidos Lagoon Club opera bajo un esquema de densificación y ordenamiento del uso del espacio, concentrando la infraestructura en áreas previamente intervenidas y compatibles con la UGA 152, sin promover la ocupación de zonas de conservación ni la expansión hacia ecosistemas sensibles.

Este enfoque contribuye indirectamente a reducir la presión sobre la UGA 31 “Laguna de Bacalar”, al ofrecer un uso turístico regulado y controlado fuera del cuerpo lagunar, en congruencia con la estrategia regional de contención territorial y aprovechamiento sustentable.

Conservación de biodiversidad y prevención de impactos ecológicos

El proyecto es congruente con las Acciones A-007, A-011, A-014, A-016, A-017, A-018 y los criterios G004, G013, G018, G020, G026, al incorporar medidas de rescate, conservación y restauración de la vegetación, evitar la introducción de especies potencialmente invasoras y mantener la conectividad ecológica en el entorno inmediato.

Asimismo, el diseño y operación del proyecto evitan actividades que puedan generar afectaciones a manglares, humedales, dunas o vegetación acuática sumergida, elementos expresamente protegidos por el POER. La ausencia de dragados, rellenos, modificación de perfiles costeros o alteraciones al sistema lagunar refuerza su congruencia con las políticas regionales de protección de ecosistemas estratégicos.

Manejo de residuos, emisiones y tecnologías limpias

En alineación con las Acciones A-021, A-023, A-026, A-062, A-068, A-069 y los criterios G041, G043, G058, G060, el proyecto contempla un manejo integral de residuos sólidos, de manejo especial y peligrosos, conforme a la normatividad vigente, evitando su disposición inadecuada y reduciendo riesgos de contaminación del suelo y del agua.

Adicionalmente, el proyecto incorpora criterios de uso de tecnologías ambientalmente amigables, eficiencia energética y reducción de emisiones, lo que resulta congruente con las acciones y criterios del POER orientados a la mitigación del cambio climático y a la transición hacia modelos de desarrollo de menor huella ambiental (A-024, A-037, A-072; G006, G028, G035).

Turismo sustentable y articulación conservación–uso recreativo

El POER GMyC promueve explícitamente la coordinación entre el sector turismo y el sector conservación, así como el impulso del turismo de naturaleza bajo criterios de sustentabilidad (Acciones A-071 y A-072). En este marco, el proyecto Los Rápidos Lagoon Club se concibe como un desarrollo turístico de bajo impacto, que reconoce el alto valor ambiental y paisajístico de la Laguna de Bacalar y orienta su operación a minimizar la afectación de los ecosistemas, al tiempo que aprovecha de manera ordenada y regulada el potencial turístico de la región.

Esta visión es consistente con la política regional de diversificación productiva (A-049, A-053, G049), al fortalecer una actividad económica compatible con la conservación y reducir la dependencia de actividades extractivas o ambientalmente intensivas.

Congruencia regional

El proyecto Los Rápidos Lagoon Club, tal como se describe en el Capítulo II de la MIA, presenta una congruencia sólida, integral y verificable con el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Golfo de México y Mar Caribe, con la UGA 152 “Bacalar” y con la zona de influencia de la Laguna de Bacalar.

El proyecto se alinea con los principios regionales de prevención, uso eficiente de recursos, densificación controlada, conservación de la biodiversidad y turismo sustentable, evitando impactos directos sobre ecosistemas prioritarios y contribuyendo a una gestión territorial coherente entre las escalas local y regional.

Tabla III-5. Congruencia del proyecto Los Rápidos Lagoon Club en el POER Golfo de México y Mar Caribe – UGA 152 Bacalar – Zona de influencia Laguna de Bacalar		
Eje ambiental	**Acciones / Criterios POER aplicables**	**Congruencia del proyecto (Capítulo II)**
Gestión del agua y sistema kárstico	A-005, A-006, A-021, A-063, A-066, A-067; G001, G055, G067	**Congruente.** El proyecto implementa uso eficiente del agua, separación de aguas pluviales y residuales, captación de lluvia y sistemas de tratamiento que evitan descargas al cuerpo lagunar y al acuífero, atendiendo la alta vulnerabilidad hidrogeológica de la región de Bacalar.
Protección de la Laguna de Bacalar (zona de influencia)	A-021, A-031, A-032; G011, G020	**Congruente.** No se realizan dragados, rellenos, modificación del perfil lagunar ni alteraciones físicas o químicas del cuerpo de agua. Las actividades se desarrollan fuera del espejo lagunar, bajo un enfoque preventivo reforzado.
Uso del suelo y contención de la expansión territorial	A-053, A-054, A-057; G021, G022, G046	**Congruente.** El proyecto se formula bajo un esquema de densificación controlada y uso intensivo del espacio compatible con la UGA 152, evitando la expansión sobre áreas naturales, humedales o zonas de conservación.
Biodiversidad y conectividad ecológica	A-007, A-011, A-014, A-016, A-017, A-018; G004, G013, G018, G026	**Congruente.** Se evita la introducción de especies invasoras, se conservan áreas de vegetación, se implementan acciones de rescate y restauración, y se mantiene la conectividad ecológica del entorno.
Protección de ecosistemas sensibles (manglares, humedales, dunas)	A-012, A-014, A-027, A-028, A-031, A-032; G063, G064	**Congruente.** El proyecto no se localiza ni interviene manglares, humedales, dunas o vegetación acuática sumergida, respetando los ecosistemas prioritarios del POER.
Manejo de residuos y prevención de contaminación	A-021, A-023, A-062, A-068, A-069, A-070; G058, G060	**Congruente.** Manejo integral de residuos sólidos, de manejo especial y peligrosos conforme a la normatividad vigente, evitando contaminación del suelo, agua y ecosistemas costeros.
Calidad del aire y cambio climático	A-024, A-026, A-037; G006, G028, G035	**Congruente.** Se promueve el uso de tecnologías ambientalmente amigables, eficiencia energética y reducción de emisiones, alineándose con los objetivos regionales de mitigación del cambio climático.
Energías renovables y eficiencia energética	A-037, A-039; G028, G029, G030, G035	**Congruente.** El diseño del proyecto favorece prácticas de eficiencia energética y la

Tabla III-5. Congruencia del proyecto Los Rápidos Lagoon Club en el POER Golfo de México y Mar Caribe – UGA 152 Bacalar – Zona de influencia Laguna de Bacalar		
Eje ambiental	**Acciones / Criterios POER aplicables**	**Congruencia del proyecto (Capítulo II)**
		incorporación de energías limpias cuando es técnicamente viable.
Turismo sustentable y conservación	A-071, A-072; G021, G022, G049	**Congruente.** El proyecto se alinea con el turismo de bajo impacto y de naturaleza, integrando criterios de sustentabilidad ambiental y social en su diseño y operación.
Prevención de riesgos y resiliencia	A-050, A-051, A-057, A-060; G019, G050, G051	**Congruente.** El proyecto considera criterios de prevención ante eventos hidrometeorológicos extremos y evita localizar infraestructura en zonas de riesgo o alta fragilidad.
Gobernanza ambiental y cumplimiento normativo	A-055, A-062, A-068; G040, G041, G043	**Congruente.** El proyecto se articula con los instrumentos de ordenamiento ecológico locales y regionales y se sujeta a los mecanismos de evaluación, vigilancia y cumplimiento ambiental.

Congruencia del proyecto “Los Rápidos Lagoon Club” con los criterios específicos del Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Golfo y el Caribe – UGA 152

1. Gestión del agua

G001. Implementar tecnologías/prácticas de manejo para el uso eficiente del agua. El proyecto integra sistemas de tratamiento de aguas residuales. Estas medidas aseguran la eficiencia hídrica y contribuyen a la sostenibilidad del recurso, evitando la sobreexplotación de acuíferos locales y alineándose con la política regional de conservación de agua.

G002. Promover el establecimiento del pago por servicios ambientales hídricos. Se prevé la colaboración con programas de compensación ambiental que incentiven la protección de cuencas locales y humedales asociados. Al participar en esquemas de pago por servicios ambientales, el proyecto contribuye al reconocimiento del valor de los ecosistemas hídricos, fomentando su preservación y restauración.

2. Conservación de biodiversidad y manejo de especies

G003. Impulsar y apoyar la creación de UMA para evitar el comercio de especies de extracción. Se han identificado especies locales se promueve la regeneración natural en la mayor parte del predio privado. El predio es vigilado y no se permite cacería en el área. Esto reduce la presión sobre especies silvestres y contribuye a la conservación de la biodiversidad regional.

G004. Instrumentar campañas de vigilancia y control de la extracción de flora y fauna silvestre. Se implementan protocolos internos de vigilancia, se conocen los protocolos para recurrir a las autoridades ambientales, para evitar la captura ilegal de especies protegidas por la NOM-059.

Garantiza que las actividades recreativas o turísticas no afecten la fauna local y cumple con la normativa federal.

G005. Establecer bancos de germoplasma. No se contempla la creación de viveros con especies vegetales nativas para restauración de áreas verdes y recuperación de márgenes de cuerpos de agua, pero se está permitiendo la regenración natural hace 15 años en más del 50% del predio. Esto contribuye a la conservación genética de la flora regional y refuerza la resiliencia ecológica del sitio.

3. Cambio climático y emisiones

G006. Reducir la emisión de gases de efecto invernadero. La infraestructura del club priorizó durante 10 años el suo de energía solar, iluminación LED, sistemas de eficiencia energética. Estas acciones disminuyen la huella de carbono del proyecto, alineándose con los objetivos de mitigación de la UGA 152.

G028. Promover e implementar el uso de energías renovables. Durante 10 años se utilizaron paneles solares para cubrir demanda de energía de áreas comunes y servicios. Debido al esquema de mejora de eficiencia se conectó a la red eléctrica, fortaleciendo la sostenibilidad energética del proyecto.

4. Manejo territorial y conservación de ecosistemas

G010. Reutilización de áreas agropecuarias para evitar expansión hacia áreas naturales. Las instalaciones se ubican en terrenos previamente alterados, evitando la conversión de áreas naturales no perturbadas. Con ello se minimiza la fragmentación del hábitat y se preservan los ecosistemas circundantes de mayor valor ecológico.

G014/G020. Promover reforestación y recuperación de vegetación en márgenes de ríos y zonas inundables. Se mantienen y protegen las especies nativas en áreas ribereñas del predio. Esto estabiliza las riberas, previene erosión y mejora la conectividad ecológica local.

G013. Evitar la introducción de especies invasoras. Se mantiene un control estricto sobre especies vegetales y animales del predio, priorizando nativas. Se mantiene un registro de especies invasoras que estan colonizando en toda la laguna y existe la disposición de participar en cauqluier programa que la autoridad impulse para minimiza impactos sobre la flora y fauna local y evita desequilibrios ecológicos.

5. Desarrollo urbano, infraestructura y riesgo

G019. Incluir análisis de riesgo frente a cambio climático en PDUs. En los 33 años que la infraestructura ha estado establecida en los balnearios no se ha tenido problemas de inundación, Se considera la ubicación de infraestructura en las zonas inundables y se aplica diseño resistente a eventos hidrometeorológicos extremos. Esto asegura la resiliencia del proyecto frente a inundaciones o huracanes, cumpliendo con lineamientos de ordenamiento y reducción de riesgos.

G046. Regular la creación e impulso de asentamientos humanos en el ASO. Se organizó y opera de manera controlada, respetando límites de densidad, evitando asentamientos informales dentro de la UGA 152. Contribuye a un desarrollo urbano ordenado y compatible con la capacidad de carga ambiental del área.

6. Gestión de residuos y saneamiento

G053/G054/G055. Manejo y reutilización de residuos y aguas residuales. Implementación de sistemas de tratamiento integral de aguas residuales y manejo de residuos sólidos con separación, compostaje y reuso en áreas verdes. Garantiza que el proyecto no genere contaminación hacia cuerpos de agua ni suelos, cumpliendo con la normatividad ambiental vigente.

7. Captura de carbono y reforestación

G024. Crear nuevos reservorios de CO_2 por forestación. Se mantienen especies arbóreas nativas de crecimiento rápido y en las áreas en reegenración y lso humedales del predio, hay un alto contenido de biomasa. Esto incrementa la captura de carbono en el sitio, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y fortaleciendo la resiliencia ecológica del entorno.

G025. Fomentar el uso de especies nativas tolerantes a parámetros ambientales cambiantes. Las áreas verdes mantienen especies locales adaptadas a sequías, salinidad y fluctuaciones hídricas. Garantiza la supervivencia y funcionalidad de la vegetación, reduciendo mantenimiento y asegurando conectividad ecológica.

G026. Identificar áreas importantes para la conectividad ambiental en gradientes altitudinales. Se respeta la continuidad de corredores ecológicos entre humedales, riberas y vegetación remanente del predio. Favorece el movimiento de fauna, polinización y dispersión de semillas, asegurando integridad del ecosistema.

8. Energía y eficiencia

G027/G028. Promover uso de combustibles no fósiles y energías renovables. Durante años el proyecto se manejó con paneles solares y sistemas de eficiencia energética en edificaciones y transporte interno eléctrico. La baja densidad del proyecto y la planeación de operaciones permite reducir emisiones de gases de efecto invernadero y dependencia de combustibles fósiles, en línea con objetivos regionales de sostenibilidad energética.

G029/G030/G031. Uso eficiente de combustibles y equipos energéticamente eficientes. Equipos eléctricos de bajo consumo, iluminación LED, bombas de agua de alta eficiencia. Minimiza la demanda energética y emisiones indirectas, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

G032/G033. Promover investigación y uso de energía a partir de hidrógeno y otras fuentes renovables. Se mantiene la posibilidad de integrar futuras tecnologías limpias (hidrógeno o mini-hidráulica) conforme se desarrollen. Puede posicionar al proyecto en la vanguardia de innovación energética y compatibilidad con la estrategia regional.

G034/G035/G036/G037. Incrementar cobertura eléctrica y eficiencia energética de viviendas e industrias. NO hay areas residenciales ni industria en el predio.

9. Agricultura, suelos y ordenamientos locales

G038. Elaborar modelos agroecológicos para evaluar sostenibilidad. No se desarrollan actividades de agricultura en el predio, no obstante, aproximadamente 90 hectáreas se mantienen en proceso de regeneración natural pasiva, sin intervención, permitiendo la recuperación espontánea de la vegetación nativa y de las funciones ecológicas del ecosistema. Esta condición contribuye a la protección del sistema lagunar, a la conservación del suelo kárstico y a la reducción de presiones ambientales asociadas al uso turístico.

G039. Evaluar potencial del suelo para captura de carbono. Desde 2024 se ha estado trabajando en una evaluación de captura de carbono en áreas regeneradas y en la zon ade humedales a fin de determinar el volumen de carbono capturado de manera natural en el predio en los ultimos 15 años para establecer un proceso de conpensación de huell adecarbono para los propios balnearios.

G040. Fortalecer ordenamientos ecológicos locales. El diseño del predio sigue criterios de UGA 152 y las UGA 29 y 30 del POEL Othon P. Blanco, respetando la zonificación ambiental.

10. Industria, transporte y desarrollo urbano

G041. Participación de industrias en auditorías ambientales. Registro de actividades y evaluación periódica de impactos ambientales en operación de servicios. Garantiza la transparencia y mejora continua en gestión ambiental.

G042. Elaboración de programas de desarrollo urbano. Coordinación con autoridades municipales para integrar la infraestructura del club en la planificación de la zona, ya que se encuentra fuera de las zonas urbanas. Favorece desarrollo ordenado y minimiza conflictos con infraestructura pública existente.

G046/G047/G048. Consolidar asentamientos humanos y transporte público. Los departamentos y servicios turísticos se ubican en zonas ya perturbadas; se promueve movilidad interna sostenible y acceso a transporte público existente. Evita expansión desordenada y contribuye a la conectividad del transporte urbano.

G049. Diversificación de actividades productivas. Turismo, recreación, conservación en el plan de uso del predio. Fomenta desarrollo económico diversificado, reduciendo presión sobre recursos naturales.

11. Protección civil, desastres y construcción

G050/G051. Prevención ante desastres y consolidación de comités de protección civil. Protocolos internos de emergencia, señalización de rutas de evacuación y coordinación con autoridades locales. Mejora la resiliencia frente a eventos hidrometeorológicos y cumple con normas de seguridad.

G052. Construcciones resistentes a eventos hidrometeorológicos. Edificaciones con criterios de diseño bioclimático e hidrometeorológicas. Minimiza riesgos para personas e infraestructura, alineándose con la planificación regional de reducción de riesgos.

12. Residuos y saneamiento

G053/G054/G055/G056/G058/G060. Manejo adecuado de residuos y aguas residuales. Planta de tratamiento de aguas residuales para todo el predio y extracción con pipa. Separación de residuos sólidos y manejo de residuos peligrosos. Disposición final regulada de residuos municipales y especiales. Evita contaminación de cuerpos de agua y suelos, mejora higiene y cumple con la legislación vigente.

13. Actividades petroleras, infraestructura y ANPs

G061/G062/G063/G064/G067/G068. Obras e infraestructura en ANPs y ecosistemas sensibles. No existen Áreas Naturales Protegidas en colindancias; infraestructura costera limitada y diseñada para minimizar afectaciones a vegetación acuática y calidad del agua; construcción de caminos y andadores evitando cambios en hidrología natural lo que asegura la compatibilidad con legislación ambiental aun con ausencia de una ANPs, preservando integridad de ecosistemas acuáticos y terrestres.

Del análisis realizado se desprende que el proyecto Los Rápidos Lagoon Club presenta una congruencia integral y verificable con los instrumentos jurídicos y de planeación ambiental aplicables en los ámbitos federal, estatal y municipal, incluyendo la legislación ambiental vigente, las Normas Oficiales Mexicanas, el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Golfo de México y Mar Caribe, así como el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Othón P. Blanco y sus Unidades de Gestión Ambiental 29 y 30.

La evaluación se realiza reconociendo expresamente el carácter preexistente del proyecto y su condición de regularización ambiental, lo que permite analizar su operación histórica y actual bajo

el principio de progresividad ambiental, sin promover la ampliación de la huella ecológica ni la intensificación del uso del suelo. En este sentido, el proyecto mantiene sus actividades dentro de los usos compatibles, respeta los umbrales de desmonte y densidad, y conserva amplias superficies sin intervención, actualmente en procesos de regeneración natural.

Asimismo, se constata que la infraestructura y las actividades recreativas asociadas al proyecto se desarrollan bajo esquemas de bajo impacto, con medidas orientadas a la prevención de la contaminación del suelo, el acuífero y el sistema lagunar de Bacalar, atendiendo los criterios de protección del recurso hídrico y de la biodiversidad establecidos en los instrumentos de ordenamiento.

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL

Delimitación y caracterización del sistema ambiental para la evaluación de impactos

Para la identificación, caracterización y evaluación de los impactos ambientales asociados al proyecto Los Rápidos Lagoon Club, el presente Capítulo IV adopta un enfoque territorial y funcional, basado en los instrumentos de ordenamiento ecológico vigentes y en las condiciones ambientales reales del sitio. Es importante, antesq ue nada aclarar que el Sistema Ambiental constituye el contexto regional de análisis, mientras que el Área de Influencia Directa corresponde al espacio donde podrían manifestarse efectos indirectos del proyecto, sin implicar intervención directa.

Relación espacial entre el área del proyecto, el área de influencia y el sistema Ambiental

Para efectos de la presente evaluación se estableció una jerarquización espacial que permite analizar el proyecto en diferentes escalas territoriales, desde el contexto regional definido por el instrumento de ordenamiento ecológico hasta la superficie específica en la que se concentran las obras e instalaciones objeto del presente procedimiento de regularización.

Esta diferenciación permite reconocer que el área en la que se ubican las instalaciones del proyecto sujeta a proceso de regularización, no es equivalente a la superficie total del predio ni al territorio ambientalmente relacionado con éste. Cada una de las escalas consideradas cumple una función específica dentro del análisis ambiental: el Sistema Ambiental permite contextualizar los procesos ecológicos, hidrológicos y territoriales de escala regional; el Área de Influencia Directa permite analizar las relaciones ambientales inmediatas que pueden extenderse más allá de la superficie ocupada por las instalaciones; el predio constituye la unidad territorial completa en la que se inserta el proyecto, sujeta a regularización; y el área del proyecto sujeta a regularización**,** corresponde específicamente a los polígonos que concentran las obras, instalaciones y actividades sujetas al presente procedimiento de regularización ante PROFEPA.

La jerarquización espacial adoptada se integra de la siguiente manera:

Área de Influencia Directa (AID) → Sistema Ambiental (SA) → Predio → Área del proyecto.

1. Área de Influencia Directa (AID)

El Área de Influencia Directa (AID) comprende el ámbito territorial ampliado en el que las obras, instalaciones y actividades objeto de evaluación pueden generar efectos ambientales o mantener relaciones funcionales con componentes ecológicos e hidrológicos vinculados al proyecto. Su delimitación considera que los procesos ambientales relevantes no necesariamente se restringen a los límites del predio ni coinciden con las unidades territoriales definidas por los instrumentos de ordenamiento ecológico.

Para el presente estudio, el AID se establece considerando la continuidad de los ecosistemas terrestres y acuáticos, la conectividad hidrológica superficial y subterránea, la relación con el sistema lagunar de Bacalar, la presencia de humedales y las posibles vías de propagación de alteraciones en la calidad del agua, el sustrato, la vegetación y los hábitats asociados.

A diferencia de una delimitación basada exclusivamente en la proximidad física, el AID incorpora las relaciones ambientales que permiten explicar cómo las actividades desarrolladas en distintos sectores del territorio pueden interactuar con el entorno de Los Rápidos y el sector sur de la Laguna de Bacalar. En este sentido, la evaluación considera tanto las características propias del sitio del proyecto como las presiones ambientales externas que, por su localización y mecanismos potenciales de impacto, ameritan ser examinadas en relación con el sistema hidrológico regional.

La delimitación considera los siguientes criterios:

- Continuidad y conectividad de los ecosistemas terrestres y acuáticos.
- Conectividad hidrológica superficial y posibles relaciones de circulación subterránea.
- Relación funcional con el sistema lagunar de Bacalar y el entorno de Los Rápidos.
- Presencia, distribución y continuidad de humedales.
- Interacción entre áreas terrestres, márgenes ribereñas y cuerpos de agua.
- Continuidad de la vegetación y del paisaje.
- Presencia de áreas ambientalmente sensibles.
- Localización de actividades que constituyen presiones ambientales externas, incluida la extracción de materiales, la transformación de la cobertura vegetal y la disposición de residuos identificadas en el territorio de Juan Sarabia.
- Posibles vías de propagación de efectos sobre la calidad del agua, el subsuelo y los hábitats acuáticos.

Con base en estos criterios, el AID incorpora el entorno de Los Rápidos, el sector sur de la Laguna de Bacalar y las porciones territoriales cuya relación ecológica o hidrológica con el proyecto justifique su inclusión. Considera particularmente la UGA 31, correspondiente al sistema lagunar, así como las porciones ambientalmente relacionadas de las UGA 29 y 30 que se encuentran fuera del predio.

La consideración de estas unidades no implica que sus límites determinen automáticamente el área de influencia. Las UGA constituyen unidades territoriales establecidas por el instrumento de ordenamiento ecológico, mientras que el AID responde a los criterios específicos de la evaluación ambiental y a la extensión espacial de los procesos que deben analizarse.

En consecuencia, para esta MIA, el AID se delimita como un ámbito territorial de análisis más extenso que el Sistema Ambiental, al incorporar las relaciones y presiones externas que pueden resultar relevantes para comprender los efectos potenciales sobre Los Rápidos y la Laguna de Bacalar. Esta jerarquía deberá reflejarse de manera consistente en la cartografía, mediante polígonos diferenciados y una explicación de los criterios que justifican la extensión de cada delimitación.

2. Sistema Ambiental (SA)

El Sistema Ambiental (SA) constituye el marco territorial de referencia para caracterizar las condiciones ambientales en las que se inserta el proyecto y analizar la estructura y el funcionamiento de los componentes ecológicos comprendidos en ese ámbito.

Para el presente estudio, el SA se encuentra integrado por las UGA 29, 30 y 31 del Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Othón P. Blanco, publicado en el Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo en 2015.

La selección conjunta de estas unidades permite describir el contexto territorial del predio, considerando las relaciones entre las áreas terrestres, el sistema lagunar, los humedales, la vegetación y el paisaje. Asimismo, proporciona una referencia para examinar la compatibilidad territorial del proyecto con los criterios de ordenamiento ecológico aplicables y para interpretar las condiciones ambientales observadas en el sitio.

El SA cumple una función analítica distinta de la del AID. Su delimitación establece el marco territorial dentro del cual se describen los componentes ambientales, sus características y sus relaciones, mientras que el AID incorpora una extensión mayor para examinar las posibles vías de interacción ambiental y las presiones externas que podrían incidir en el proyecto y sus receptores ecológicos.

Por ello, el SA no debe interpretarse como el límite máximo dentro del cual pueden producirse efectos ambientales. La conectividad hidrológica, la continuidad de los ecosistemas y la posible propagación de alteraciones pueden extenderse más allá de las UGA seleccionadas como marco de referencia. La consideración de estas relaciones ampliadas corresponde al análisis del AID, sin que ello modifique por sí mismo la delimitación de las unidades de gestión ambiental establecidas en el instrumento de ordenamiento.

En consecuencia, el SA se mantiene como el marco territorial de referencia definido por las UGA 29, 30 y 31, mientras que el AID constituye el ámbito ampliado de evaluación de las relaciones y presiones ambientales vinculadas con el proyecto. Esta diferenciación permite analizar de forma complementaria la estructura ambiental del territorio y los procesos que podrían generar efectos más allá del predio.

3. Predio

El tercer nivel de análisis corresponde a la totalidad del predio en el que se encuentra inserto el proyecto, con una superficie de 179.41 hectáreas.

Esta escala territorial resulta fundamental para la evaluación debido a que el predio constituye la unidad espacial completa en la que se desarrolla el proyecto y dentro de la cual coexisten superficies con diferentes condiciones ambientales, grados de intervención y funciones territoriales.

La superficie de 179.41 hectáreas no corresponde a la superficie del proyecto ni puede considerarse en su totalidad como superficie directamente intervenida por las instalaciones turísticas. El predio comprende, además de los espacios ocupados por las instalaciones, áreas con vegetación, zonas de regeneración natural, superficies previamente intervenidas, caminos internos y áreas que no forman parte de la infraestructura turística objeto del presente procedimiento.

El análisis a escala predial permite, por tanto, establecer la relación entre las superficies ocupadas por las instalaciones y el conjunto territorial en el que éstas se encuentran, así como reconocer la continuidad espacial existente entre las áreas intervenidas y las áreas que conservan funciones ambientales dentro del inmueble.

Desde esta perspectiva, el predio constituye una unidad territorial intermedia entre el entorno ambiental definido mediante el Sistema Ambiental y el Área de Influencia Directa, por una parte, y los polígonos específicos ocupados por las instalaciones del proyecto, por otra.

La incorporación de esta escala permite además evitar que la evaluación de las obras se interprete de manera aislada respecto del territorio en el que se encuentran, al mismo tiempo que evita considerar como superficie directamente ocupada por el proyecto la totalidad del inmueble.

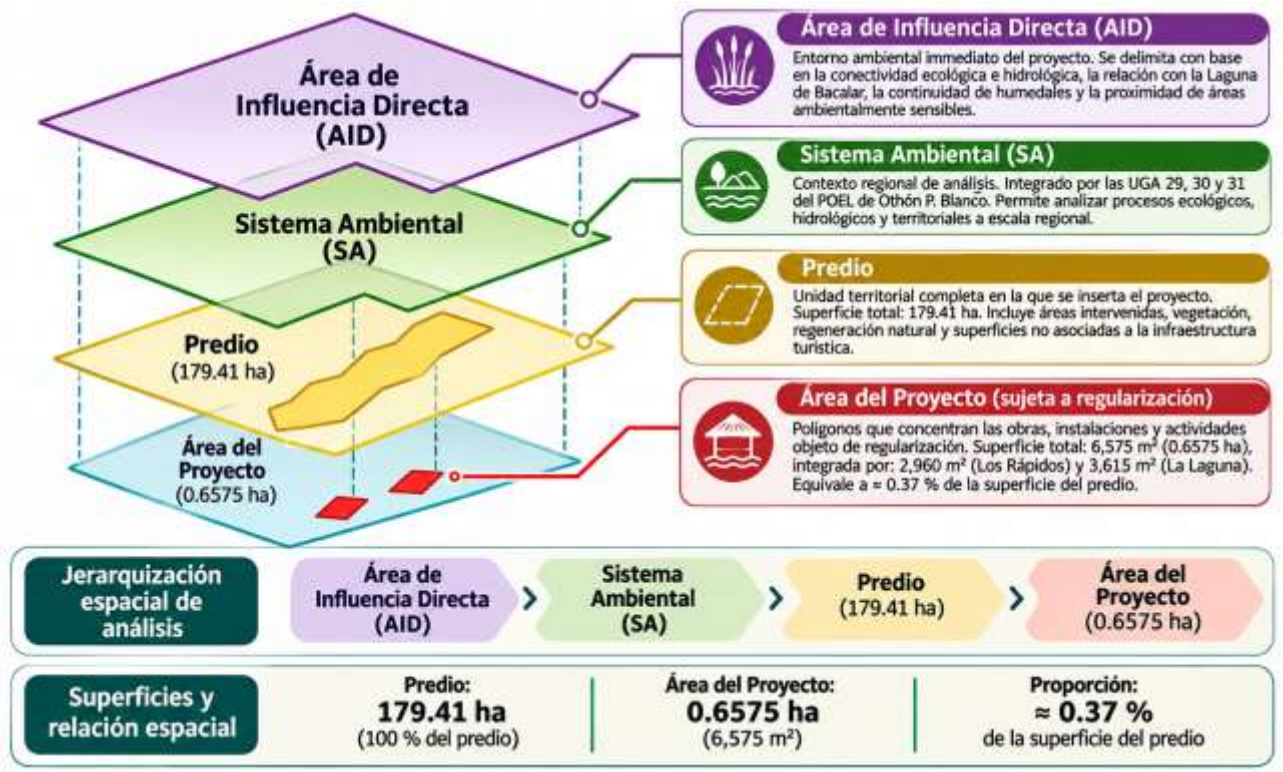


Ilustración IV-1. Relación espacial ente el Sistema ambiental, el área de influencia directa, predio y área delproyecto. Imagen generada con IA con información proporconada.

4. Área del proyecto sujeta a regularización

El cuarto nivel corresponde al área específica del proyecto, definida por los polígonos que concentran las obras, instalaciones y actividades objeto del presente procedimiento de regularización.

- El área del proyecto comprende una superficie total de 6,575 m², equivalente a 0.6575 hectáreas, integrada por:
- 2,960 m² correspondientes al polígono de la sección Los Rápidos, asociado al Canal de Xul-Ha; y
- 3,615 m² correspondientes al polígono de la sección La Laguna, asociado a la Laguna de Bacalar.
- En conjunto, ambas superficies representan aproximadamente el 0.37 % de la superficie total del predio de 179.41 hectáreas.

Esta proporción se incorpora como un dato de dimensión y relación espacial, que permite identificar la concentración territorial de las obras e instalaciones respecto de la superficie total del inmueble. El porcentaje no se utiliza, por sí mismo, como criterio para determinar la significancia o magnitud de los impactos ambientales, ya que dicha valoración depende de las características particulares de cada impacto, incluyendo su naturaleza, intensidad, extensión, duración, reversibilidad, acumulación, sinergia y relación con los componentes ambientales potencialmente afectados.

El área del proyecto constituye, por tanto, la escala en la que se realiza el análisis puntual de las obras, instalaciones y actividades sujetas al presente procedimiento de regularización, incluyendo sus características constructivas, ubicación, superficie ocupada, funcionamiento y relación con los componentes ambientales presentes en el sitio.

La delimitación de esta superficie permite distinguir entre el espacio físico directamente ocupado por las instalaciones y las áreas del predio que, aunque mantienen relaciones ambientales con el proyecto, no forman parte de los polígonos específicos de infraestructura objeto de regularización.

El sistema ambiental de referencia se define a partir de las Unidades de Gestión Ambiental (UGA) 29 “Corredor Turístico Bacalar–Xul-Ha” y 30 “Occidente Xul-Ha”, establecidas en el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Othón P. Blanco, las cuales corresponden al ámbito territorial donde se localizan las obras, instalaciones y actividades del proyecto. Estas unidades integran de manera coherente los componentes físicos, bióticos y socioambientales relevantes para la evaluación de impactos, así como los criterios de regulación ecológica aplicables al uso del suelo, intensidad del aprovechamiento y protección de los recursos naturales.

Adicionalmente, y en atención a las características del sistema kárstico regional, se reconoce la UGA 31 “Laguna de Bacalar” como zona de influencia indirecta, derivada de la conectividad hidrológica y ecológica existente entre el predio y el cuerpo lagunar. Esta consideración se incorpora bajo un enfoque preventivo y precautorio, con el objeto de identificar y valorar posibles efectos indirectos, sin que ello implique la existencia de impactos directos sobre el sistema lagunar.

Cabe señalar que la UGA 31 se integra como parte del Sistema Ambiental en términos funcionales e hidrológicos; sin embargo, no constituye un área de intervención directa del proyecto, limitándose su análisis a la evaluación de efectos indirectos y acumulativos.. El análisis se centra en la verificación de que las medidas de manejo y operación del proyecto evitan cualquier afectación al sistema lagunar, manteniendo la evaluación dentro de una escala territorial proporcional al alcance real del proyecto.

De esta manera, la delimitación del sistema ambiental establecida en el presente capítulo permite una evaluación técnica y jurídicamente sustentada de los impactos ambientales, congruente con los instrumentos de planeación aplicables y con el carácter preexistente y de regularización del proyecto.

El proyecto Los Rápidos Lagoon Club corresponde a un establecimiento preexistente, cuya operación inició con anterioridad a la entrada en vigor de diversos instrumentos de ordenamiento ecológico, criterios de regulación ambiental y disposiciones normativas actualmente aplicables en la región de la Laguna de Bacalar. En este contexto, la presente Manifestación de Impacto Ambiental se formula con fines de regularización, y no como solicitud de autorización para un desarrollo de nueva creación ni para la ampliación de la huella ecológica del proyecto.

Bajo este enfoque, la evaluación de impactos ambientales desarrollada en este capítulo se orienta a identificar, caracterizar y valorar los impactos derivados de la operación histórica y actual del proyecto, considerando las condiciones ambientales existentes al momento de la evaluación y reconociendo los procesos de adaptación progresiva a la normatividad ambiental vigente. La MIA no contempla la incorporación de nuevas obras, el incremento de superficies desmontadas, ni la intensificación del uso del suelo o de las actividades recreativas.

El análisis se sustenta en el principio de progresividad ambiental, establecido en la legislación ambiental mexicana, privilegiando la consolidación de medidas de prevención, control y manejo ambiental de bajo impacto, reversibles y compatibles con la fragilidad del sistema kárstico–lagunar. En este sentido, el proyecto mantiene amplias superficies sin intervención, actualmente en procesos de regeneración natural, lo que contribuye a la conservación de los procesos ecológicos regionales y a la protección indirecta de la Laguna de Bacalar.

De acuerdo con esta tabla la UGA 29 “Corredor Turístico Bacalar – Xul Ha”, con 177.71 ha dentro del predio, constituye la unidad principal del proyecto, donde se localizan la mayor parte de las instalaciones, senderos, áreas recreativas y servicios turísticos.

Tabla IV-1. Unidades de gestión ambiental en los que se localiza el predio los rápidos

UGA	NOMBRE	INSTRUMENTO	SUPERFICIE (HA)
30	Occidente Xul-Ha.	POEL OPB	9.41
29	Corredor Turístico Bacalar - Xul Ha	POEL OPB	170
31	Laguna de Bacalar	POEL OPB	Colindante con el predio

El Sistema Ambiental analizado se delimitó con base en el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Othón P. Blanco, tomando como unidades ambientales de referencia las UGA 29, 30 y 31. Estas unidades integran funcionalmente el sistema terrestre–lagunar asociado a la Laguna de Bacalar, permitiendo incorporar los principales procesos ecológicos, hidrológicos y paisajísticos que regulan el funcionamiento ambiental de la región.

La delimitación del sistema ambiental considera tanto el núcleo lagunar (UGA 31) como su zona de influencia terrestre inmediata (UGA 29 y 30), lo cual resulta congruente con el carácter de regularización del proyecto y con los criterios establecidos en el POEL vigente.La UGA 152 “Bacalar”, definida en el POEL, se incluye para efectos comparativos de planificación territorial y cumplimiento de lineamientos de conservación y desarrollo turístico en la región.

La delimitación se fundamenta en los siguientes criterios:

- Dimensiones y distribución del proyecto: considerando áreas de infraestructura principal, servicios, senderos, muelles y disposición temporal de materiales.
- Factores sociales: comunidades cercanas cuya población podría interactuar con el proyecto.
- Rasgos geomorfoedafológicos y hidrográficos: relieve, tipos de suelos, cuerpos de agua y conectividad de ecosistemas.
- Rasgos meteorológicos y tipos de vegetación: clima tropical subhúmedo, selva mediana subcaducifolia, humedales y vegetación ribereña.
- Continuidad de unidades ambientales y ecosistemas: asegurando la conectividad ecológica y evitando la fragmentación.
- Usos de suelo permitidos: conforme a los lineamientos del POEL y el POERGMC, asegurando ompatibilidad con actividades turísticas y de conservación.

Con esta delimitación, el área de estudio refleja de manera integral la interacción del proyecto con su entorno natural, social y territorial, garantizando un análisis ambiental representativo y suficiente para la identificación de impactos y la propuesta de medidas de mitigación.

Tabla IV-2. Unidades de Gestión Ambiental POEL municipal OPB que conforman el Sistema Ambiental

Clave UGA	Nombre de la UGA (POEL Othón P. Blanco)	Superficie total (ha)	Política ambiental	Función dentro del sistema ambiental
UGA 29	Corredor Turístico Xul-Ha – Bacalar	754.08	Aprovechamiento sustentable	Zona terrestre inmediata de influencia lagunar, con uso turístico regulado
UGA 30	Occidente Xul-Ha	1,848.60	Aprovechamiento sustentable	Zona de transición terrestre con influencia suburbana y turística
UGA 31	Laguna Bacalar	9,572.74	Protección	Núcleo del sistema lagunar y del sistema geohidrológico regional
Superficie total del Sistema Ambiental de referencia: 12,175.42 ha				

Justificación cartográfica de la delimitación del Sistema Ambiental

Criterios generales de delimitación

La delimitación cartográfica del Sistema Ambiental se realizó con base en criterios funcionales, ecológicos y normativos, y no únicamente administrativos, de conformidad con los lineamientos de evaluación de impacto ambiental establecidos por SEMARNAT para proyectos de regularización. El instrumento rector utilizado para la delimitación fue el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Othón P. Blanco, vigente, del cual se retomaron las Unidades de Gestión Ambiental (UGA) 29, 30 y 31, al integrar un sistema ambiental continuo y funcional asociado a la Laguna de Bacalar.

Criterios cartográficos específicos

La delimitación del Sistema Ambiental consideró los siguientes criterios cartográficos:

a) Criterio de conectividad ecológica

Las UGA 29 y 30 constituyen la zona terrestre de influencia inmediata del sistema lagunar, donde se desarrollan procesos de:

- Recarga del acuífero kárstico,
- Escurrimientos subterráneos preferenciales,
- Conectividad de hábitats entre selva, humedales y cuerpos de agua.

La UGA 31 corresponde al núcleo lagunar, donde convergen dichos flujos ecológicos y geohidrológicos, por lo que su inclusión resulta indispensable para evaluar impactos indirectos y acumulativos.

b) Criterio hidrológico y geohidrológico

Desde el punto de vista cartográfico, el Sistema Ambiental se delimitó incorporando:

- La Laguna de Bacalar como receptor final de flujos subterráneos (UGA 31) a nivel regional y local,
- Las zonas terrestres con alta importancia para la recarga del acuífero (UGA 29 y 30),
- La continuidad espacial del sistema kárstico, caracterizado por su alta permeabilidad y vulnerabilidad.

Este criterio es particularmente relevante en el contexto de una MIA de regularización, dado que los principales impactos potenciales se asocian a la calidad del agua y al sistema geohidrológico.

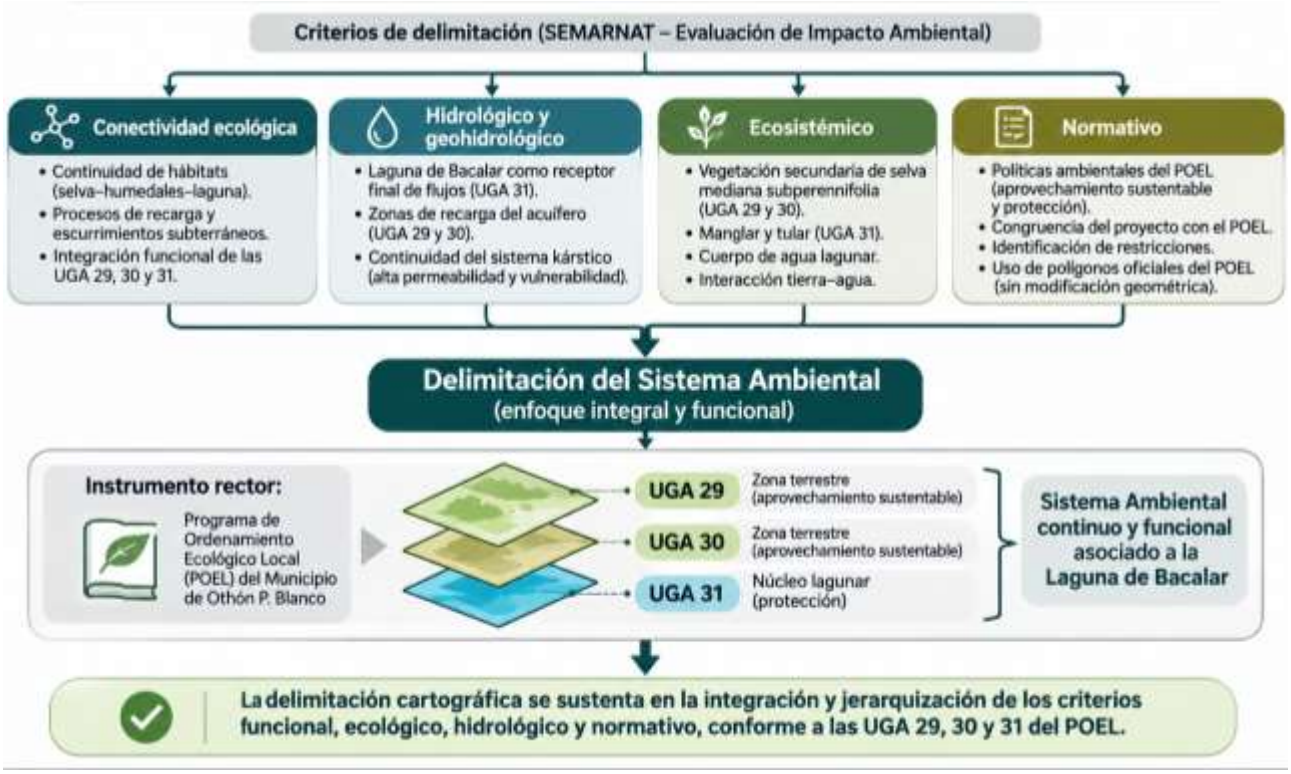


Ilustración IV-2. Jerarquización e interrelación de criteros para delimitación acrtográfica del SA. Ilustracion generada con IA basada en la información del texto.

c) Criterio ecosistémico

Cartográficamente, el Sistema Ambiental integra los principales

Ecosistemas reconocidos en el POEL:

- Vegetacoón secundaria de Selva mediana subperennifolia (predominante en UGA 29 y 30),
- Manglar y tular (UGA 31),
- Cuerpo de agua lagunar.

La integración de estos ecosistemas en un mismo sistema ambiental permite evaluar la interacción tierra–agua, condición indispensable para la correcta valoración de impactos en proyectos ubicados en el entorno lagunar.

d) Criterio normativo

Las UGA 29, 30 y 31 presentan políticas ambientales diferenciadas (aprovechamiento sustentable y protección), lo cual permite:

- Evaluar la congruencia del proyecto con el POEL,
- Identificar restricciones específicas,
- Contextualizar el proyecto dentro del modelo territorial municipal.

La delimitación cartográfica respeta íntegramente los polígonos oficiales del POEL, sin modificaciones geométricas, garantizando congruencia normativa y certeza jurídica.

Contexto territorial de presiones ambientales. Caracterización del área de influencia directa

El ejido Juan Sarabia, municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, se localiza en un contexto hidrogeológico regional de relevancia para la evaluación ambiental del sur del estado. El territorio se encuentra en el ámbito del acuífero Península de Yucatán y en el entorno regional de sistemas lagunares, humedales y cuerpos de agua asociados con Xul-Há, la Laguna de Bacalar, el Río Hondo y la Bahía de Chetumal. Para la presente Manifestación de Impacto Ambiental, este contexto resulta pertinente al caracterizar las presiones externas que podrían incidir en el área de influencia de Los Rápidos y en los componentes hidrológicos y ecológicos relacionados en la Laguna de Bacalar.

El predio formó parte hasta 2012 del territorio bajo propiedad social, pero a partir de ese años se desincorporó bajo el proceso de dominio pleno y seconvirtio´en propiedad privada. No obstante el resto del territorio a su alrededor continúa siendo ejidal. En ese territorio, la información cartográfica y documental reunida identifica la concurrencia de diversas presiones territoriales: extracción de materiales pétreos, transformación de la cobertura vegetal, excavaciones con puntos cartografiados como posibles alumbramientos freáticos y disposición de residuos en tiraderos a cielo abierto. La importancia ambiental de estas actividades deriva de los mecanismos mediante los cuales pueden modificar el terreno, reducir la protección natural del subsuelo y constituir fuentes potenciales de contaminantes. Su eventual incidencia sobre Los Rápidos y la Laguna de Bacalar debe analizarse en función de la conectividad hidrogeológica local, sin asumir una relación causal que todavía no haya sido demostrada.

La interpretación cartográfica de trabajo identifica aproximadamente 8,276 ha de superficies transformadas o desprovistas de cobertura vegetal asociadas con actividades agropecuarias; un polígono principal de banco de material de aproximadamente 132 ha; cinco polígonos adicionales que sumarían aproximadamente 38.78 ha; varios puntos identificados como alumbramientos freáticos dentro o próximos a zonas de extracción; y dos tiraderos a cielo abierto con superficies aproximadas de 6,700 m² y 4,000 m². Estas cifras son estimaciones de trabajo y requieren validación mediante revisión de imágenes, levantamiento de campo y consulta de expedientes oficiales.

La documentación técnica de CONAGUA caracteriza el acuífero Península de Yucatán, clave 3105, como un sistema libre y kárstico vulnerable a la contaminación por su elevada conductividad hidráulica, la presencia de oquedades y discontinuidades y la poca profundidad del agua subterránea en determinados sectores. En este contexto, las actividades que remueven grandes volúmenes de roca, reducen la cobertura protectora o pueden interceptar el nivel freático requieren una evaluación específica de sus condiciones de operación, medidas preventivas y posibles vías de infiltración.

Como antecedente documental, en noviembre y diciembre de 2023 medios locales reportaron denuncias de habitantes de Juan Sarabia por presuntos daños a viviendas asociados con detonaciones en un banco de material relacionado con obras del Tren Maya. Estas publicaciones constituyen antecedentes periodísticos que deben contrastarse con actas, dictámenes, inspecciones y expedientes oficiales; no sustituyen por sí mismas una determinación técnica de daño ni acreditan un incumplimiento ambiental.



Imagen IV-1Contexto regional del área de influencia directa (ejido Juan Sarabia) y su relación espacial con Xul-Há, Bacalar, Huay-Pix, Río Hondo y la Bahía de Chetumal. La figura representa el contexto territorial de referencia y no constituye, por sí sola, una delimitación hidrogeológica de precisión predial

La cuestión relevante para la evaluación ambiental consiste en establecer qué actividades se encuentran autorizadas, cuáles fueron efectivamente ejecutadas, qué condiciones de operación se establecieron y qué medidas de prevención, mitigación, restauración y vigilancia se implementaron. La comparación entre autorizaciones, condiciones observadas y evidencia documental es necesaria para determinar la magnitud de las presiones y su posible relación con el sistema ambiental de interés.

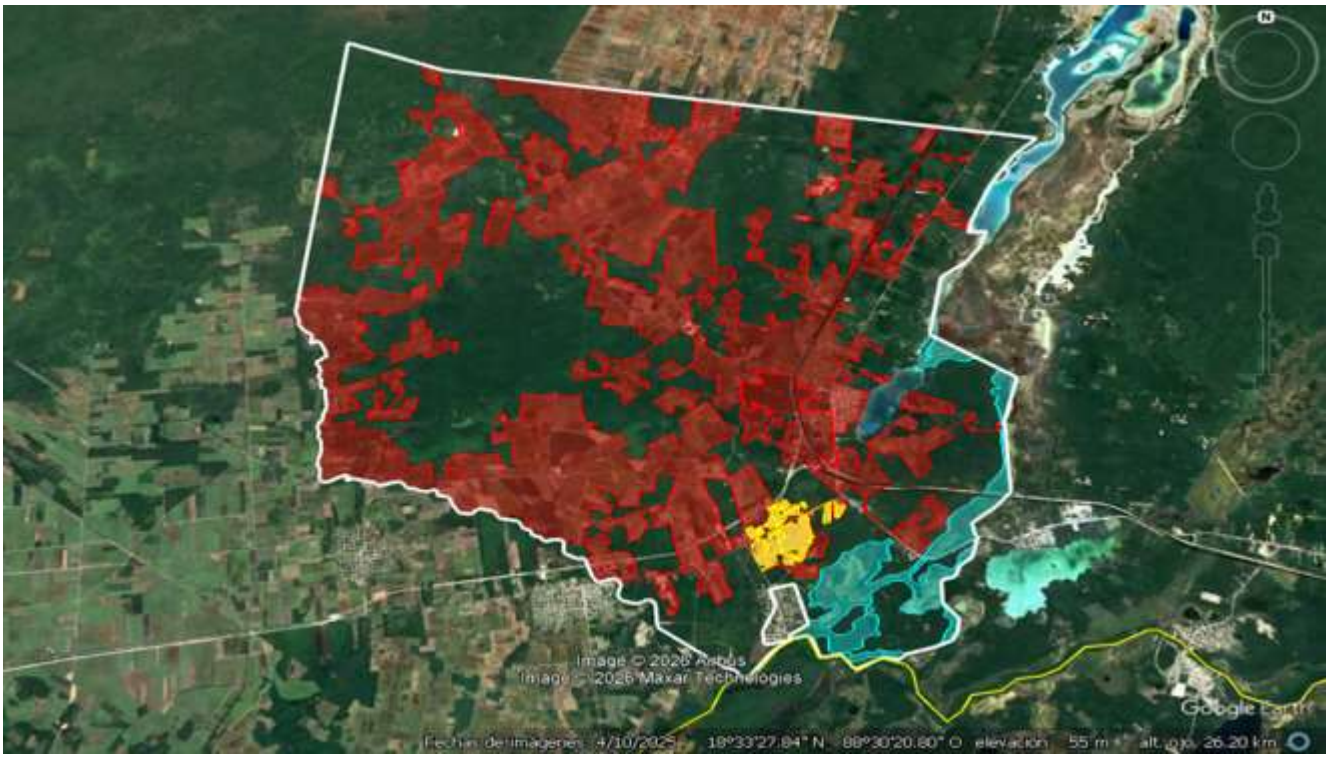


Imagen IV-2 Interpretación satelital de la zona de influencia directa: superficies transformadas, banco principal y zonas de humedal. Elaboración de trabajo a partir de imágenes aportadas. Los polígonos y categorías deben validarse mediante análisis multitemporal y verificación de campo.

Hallazgo	**Dato de trabajo**	**Qué debe verificarse**
Transformación territorial	≈ 8,276 ha	Clasificación multitemporal y cambio de uso de suelo.
Banco principal	≈ 132 ha	Polígono, se solicitó mediante transparencia expediente ambiental a SEMA, superficie realmente explotada y etapas.
Otros bancos	Varios polígonos; cinco suman ≈38.78 ha	No se encontraron expedientes individuales y posibles traslapes.
Agua freática	Múltiples puntos JS-01 a JS-15	Profundidad, fecha, cota y relación con excavaciones.
Tiraderos	≈6,700 m² + ≈4,000 m²	Legalidad, antigüedad, composición de residuos y cercanía al agua.
Acuífero	Península de Yucatán, clave 3105	Condiciones locales de vulnerabilidad.
Conflicto social	Denuncias por explosiones y daños a viviendas	Actas, censos, inspecciones y resoluciones.

Posición hidrogeológica y vulnerabilidad del acuífero en la zona de influencia directa

El Acuerdo de CONAGUA publicado en el Diario Oficial de la Federación en 2013 identifica el acuífero Península de Yucatán, clave 3105, como un acuífero libre y kárstico de elevada conductividad hidráulica y alta vulnerabilidad a la contaminación. Las oquedades, fracturas y conductos de disolución, junto con la limitada capacidad de filtración de algunos sectores y la posible poca profundidad del agua subterránea, pueden facilitar el ingreso y desplazamiento de contaminantes.

Para el análisis del área de influencia, esta condición significa que las excavaciones profundas, la remoción de roca y la disposición de residuos deben evaluarse considerando la posible reducción de la protección natural del acuífero. Cuando una excavación se aproxima al nivel freático o lo intercepta, cambia la relación entre la superficie y el agua subterránea, por lo que resulta necesario conocer la profundidad de excavación, la posición del nivel freático y las medidas de protección aplicables.

Los puntos cartografiados como alumbramientos freáticos no prueban por sí mismos la existencia de contaminación ni permiten determinar la dirección de circulación del agua. Sí constituyen ubicaciones que deben verificarse mediante coordenadas, cotas, profundidad, fecha de observación, variación estacional y análisis de calidad del agua, así como contrastarse con los polígonos de extracción y las autorizaciones correspondientes.

Evidencia hidrogeológica regional en el área de influencia

La cartografía hidrogeológica reproducida en este informe procede del artículo “Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México”, publicado en 2015 por Sánchez-Sánchez y colaboradores en la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. El estudio analizó 53 pozos de abastecimiento durante octubre y noviembre de 2012 y describe la heterogeneidad hidrogeológica del sur de Quintana Roo.

El estudio describe la circulación subterránea en un medio carbonatado a través de una combinación de matriz, fracturas y conductos de disolución. Estas características pueden generar variaciones espaciales en el comportamiento del acuífero y en la relación entre las zonas de infiltración y los sistemas acuáticos regionales. Por ello, los patrones de circulación regional son un antecedente para formular hipótesis de conectividad, pero no permiten asignar una trayectoria exacta a un contaminante procedente de un predio o instalación específica.

Dirección regional del flujo subterráneo en el área de influencia

Los vectores representan direcciones regionales inferidas a partir de la información hidrogeológica disponible; no deben interpretarse como una tubería subterránea única ni como una trayectoria exacta desde cada banco o tiradero hasta Bacalar, Xul-Há, el Estero de Chac o el Río Hondo. Su utilidad consiste en mostrar que las presiones territoriales deben examinarse en un contexto hidrológico más amplio que los límites catastrales.

La relevancia ambiental del territorio no se limita al cambio de uso del suelo. En un medio kárstico, la infiltración puede ser rápida y el agua puede circular por fracturas, conductos de disolución y otras discontinuidades. La remoción extensiva de roca y suelo, la apertura de excavaciones, la exposición del nivel freático o la disposición de residuos sobre superficies permeables pueden modificar las condiciones de protección del acuífero y crear vías potenciales de ingreso de contaminantes.

Sánchez-Sánchez et al. (2015) identificaron procesos hidrogeoquímicos regionales relacionados con la disolución de calizas y dolomías e intercambio iónico, la mezcla con agua marina y el aporte de nutrientes asociado con actividades humanas. Este último proceso resulta pertinente para evaluar fuentes potenciales de nutrientes y contaminantes procedentes de actividades

agropecuarias, tiraderos y aguas residuales. Su presencia en un sitio concreto debe comprobarse mediante datos de calidad del agua.

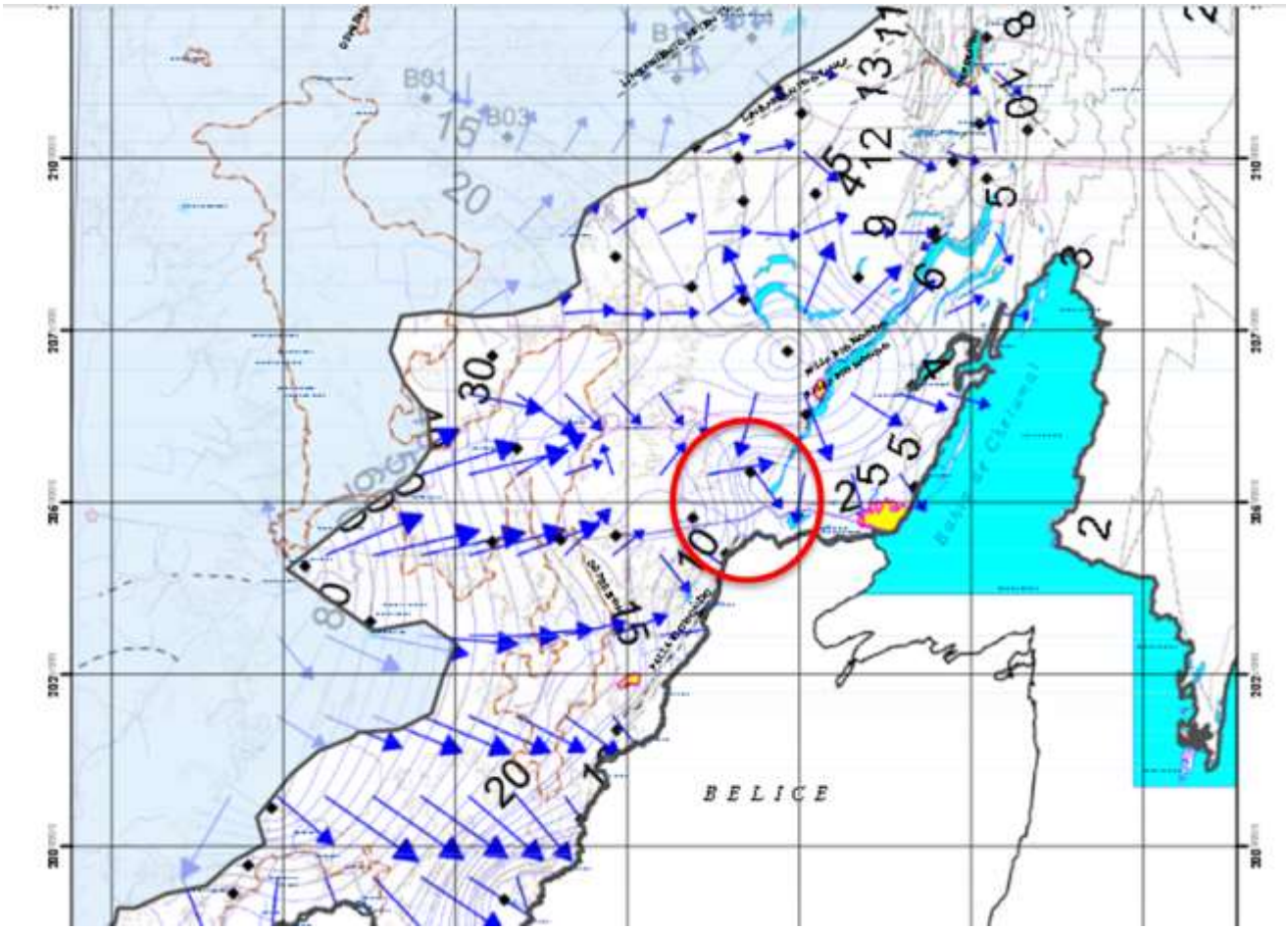


Imagen IV-3Cartografía hidrogeológica regional del sur de Quintana Roo, con vectores de circulación del agua subterránea. El círculo rojo señala la zona aproximada de incidencia del territorio de Juan Sarabia. Fuente: Sánchez-Sánchez et al. (2015), figura reproducida de la publicación consultada

Relación entre las condiciones hidrogeológicas y las presiones territoriales

Actividad / condición	Mecanismo de riesgo	Relevancia hidrogeológica	Qué debe verificarse
Banco de material y excavaciones	Remoción de cobertura y roca; posible acercamiento o exposición del nivel freático; apertura de vías preferenciales de infiltración.	Alta en un medio kárstico, especialmente donde ya se observan alumbramientos freáticos.	Profundidad de excavación, nivel freático, geología local, permisos, condicionantes y medidas de protección.
Alumbramientos freáticos dentro o cerca de bancos	Evidencian interacción directa entre excavación y agua subterránea.	Muy alta: indican que el agua subterránea puede quedar expuesta en superficie.	Coordenadas, fecha, profundidad, estacionalidad, calidad del agua y relación con cada banco.

Actividad / condición	Mecanismo de riesgo	Relevancia hidrogeológica	Qué debe verificarse
Tiraderos a cielo abierto	Infiltración de lixiviados y nutrientes; riesgo microbiológico y químico.	Alta por la permeabilidad kárstica y el potencial transporte rápido hacia el subsuelo.	Tipo de residuos, antigüedad, volumen, distancia al nivel freático, análisis de agua y responsabilidad administrativa.
Desmonte / transformación agropecuaria	Reduce cobertura protectora y modifica infiltración, escorrentía y carga de nutrientes.	Moderada a alta, dependiendo del suelo, intensidad y proximidad a zonas de recarga.	Superficie real, temporalidad, prácticas agropecuarias, fertilizantes y agroquímicos.
Humedales, Xul-Há, Estero de Chac y Río Hondo	Pueden funcionar como expresiones superficiales de interacciones hidrogeológicas regionales.	Alta: cualquier alteración de calidad o cantidad del agua subterránea puede repercutir en sistemas conectados.	Conectividad hidráulica local, niveles, calidad del agua y series temporales.

La cartografía regional sustenta la necesidad de considerar la conectividad hidrogeológica como una hipótesis de evaluación ambiental. No demuestra, por sí sola, que un contaminante originado en un punto específico de Juan Sarabia llegue a Los Rápidos o a la Laguna de Bacalar. Para establecer esa relación se requieren datos hidrogeológicos locales, identificación de la fuente, una vía de transporte plausible y resultados de calidad del agua compatibles con el contaminante investigado.

En consecuencia, las actividades que impliquen excavación, extracción de materiales, disposición de residuos, transformación extensiva de la cobertura o manejo de aguas residuales deben evaluarse con criterios preventivos y a una escala que permita examinar sus posibles efectos acumulativos. La evaluación debe considerar tanto los cambios visibles en superficie como la posible modificación de las rutas de infiltración y de la protección natural del agua subterránea.

La presencia de puntos cartografiados como alumbramientos freáticos dentro o próximos a zonas de extracción hace especialmente importante verificar las profundidades reales, la relación con el nivel freático y las medidas previstas en las autorizaciones y programas de vigilancia ambiental.

Geología y bancos de material en el área de influencia

El contexto geológico regional incluye estructuras y fracturamiento que deben considerarse al analizar la circulación subterránea. La presencia de una falla geológica no demuestra, por sí sola, que funcione como conducto hidráulico en un sitio específico; esa relación requiere evidencia hidrogeológica. Para la evaluación de los bancos de material son variables críticas la geología local, la profundidad de extracción, la relación con el nivel freático y las medidas de protección del subsuelo.

Alumbramientos freáticos y exposición del acuífero en el área de influencia

Las imágenes satelitales muestran cuerpos de agua entre zonas identificadas como bancos de material en el área de influencia. Sin embargo, la información disponible no permite determinar si estos cuerpos corresponden a alumbramientos freáticos ni establecer su relación con los polígonos de extracción.

Para confirmar su origen y evaluar las condiciones en que se realizaron las excavaciones sería necesario consultar las manifestaciones de impacto ambiental correspondientes, sus resoluciones y condicionantes, así como los informes de cumplimiento y la información hidrogeológica disponible.

Con los elementos actualmente integrados en este estudio no es posible establecer la profundidad del nivel freático durante las evaluaciones, la profundidad autorizada de excavación, la eventual extracción por debajo del nivel freático ni las medidas específicas de protección y monitoreo exigidas.

Por lo anterior, estos elementos se consideran aspectos pendientes de corroboración y no hechos acreditados. Se mencionan por su posible relevancia para la conectividad hidrológica y los riesgos potenciales para el sistema lagunar ubicado aguas abajo, en el que se encuentra el sitio de Los Rápidos.



Imagen IV-4 Banco de material y puntos de alumbramiento freático identificados en el trabajo cartográfico. Los puntos constituyen una capa de investigación que debe validarse mediante coordenadas y levantamiento de campo.

Explosivos, ruido y vibraciones: antecedentes que requieren verificación en la zona de influencia

En noviembre de 2023, medios locales reportaron que habitantes de Juan Sarabia bloquearon la carretera Chetumal–Escárcega por presuntos daños a viviendas atribuidos a explosiones de un banco de material relacionado con obras del Tren Maya. Las publicaciones también recogieron cuestionamientos sobre la frecuencia de las detonaciones. Estos antecedentes justifican revisar los expedientes, los programas de voladuras, las medidas de control de ruido y vibraciones, las inspecciones y cualquier dictamen disponible.

Transformación territorial y actividades agropecuarias en la zona de influencia

La interpretación cartográfica utilizada para este informe delimita aproximadamente 8,276 ha de superficie transformada o desprovista de cobertura vegetal natural asociada con actividades agropecuarias. La cifra es un dato de trabajo, no una estadística oficial de deforestación, y requiere validación multitemporal, clasificación de coberturas y revisión de las autorizaciones de cambio de uso de suelo que correspondan.

La superficie identificada equivale aproximadamente al 38% de la superficie actual del núcleo agrario consignada en el PHINA utilizado en el informe. Esta comparación describe la escala territorial de la transformación cartografiada; no significa que toda esa superficie sea ilegal o que se encuentre ambientalmente degradada. Su importancia para la MIA consiste en justificar el análisis

de pérdida de cobertura, fragmentación de hábitats, modificación de infiltración y posibles aportes de nutrientes o sustancias asociadas con las prácticas productivas.

Conflictos y presiones socioambientales que requieren verificación, pero no es parte de este estudio

Conflicto	Qué se conoce
Extracción y distribución de beneficios	Disputas reportadas sobre ingresos y transparencia asociados con la extracción de material para el Tren Maya.
Explosiones y viviendas	Habitantes denunciaron daños a viviendas y cuestionaron la frecuencia de detonaciones en 2023.
Agua y subsuelo	Alumbramientos freáticos asociados espacialmente con bancos.
Humedales y Estero de Chac	Existen antecedentes públicos de denuncias sobre rellenos y modificaciones en humedales.
Cambio territorial	Parcelación, dominio pleno, expropiaciones y expansión de actividades.

Relación entre las escalas de análisis

Las cuatro escalas descritas no son excluyentes, sino complementarias. Cada una permite analizar una dimensión diferente de la relación del proyecto con el territorio:

Tabla IV-3 Relación entre las escalas de análisis

Escala	Superficie / referencia	Función dentro de la evaluación
Área de Influencia Directa (AID) (Contexto Territorial de Presiones Ambientales - CTPA	**Territorio del Ejido Juan Sarabia y superficies territorialmente relacionadas con el proyecto**	Permite caracterizar las **condiciones de transformación y las presiones ambientales externas y preexistentes** que concurren en el entorno territorial del proyecto, incluyendo cambios de cobertura vegetal, bancos de material, infraestructura, caminos, intervenciones sobre el subsuelo y el nivel freático, tiraderos a cielo abierto y otras actividades. Se utiliza como **escala complementaria de contexto**, sin sustituir al SA ni constituir por sí mismo el AID.
Sistema Ambiental (SA)	**UGA 29 + UGA 30 + UGA 31** del POEL de Othón P. Blanco	Constituye el **contexto regional de referencia** para el análisis de los procesos ecológicos, hidrológicos, territoriales y paisajísticos relacionados con el proyecto.
Predio	**179.41 ha**	Constituye la **unidad territorial completa en la que se inserta el proyecto**, permitiendo analizar la relación entre las áreas ocupadas por infraestructura, las áreas previamente intervenidas y las superficies que mantienen otras condiciones y funciones ambientales.

Escala	Superficie / referencia	Función dentro de la evaluación
Área del proyecto	**6,575 m² / 0.6575 ha / 0.37 % del predio**	Corresponde a la **superficie específica que concentra las obras, instalaciones y actividades objeto del procedimiento de regularización**, sobre la cual se realiza el análisis puntual de sus características e impactos ambientales.

Esta estructura de análisis permite valorar el proyecto desde una perspectiva multiescalar, reconociendo que los procesos ambientales no se encuentran necesariamente contenidos dentro de los límites físicos de las instalaciones. Al mismo tiempo, permite diferenciar con precisión la superficie efectivamente ocupada por las obras respecto de la superficie total del inmueble y del contexto ambiental regional.

En consecuencia, la superficie de 179.41 hectáreas corresponde a la unidad territorial completa del predio, mientras que los 6,575 m² corresponden exclusivamente a los polígonos que concentran las obras e instalaciones objeto del procedimiento de regularización. La diferencia entre ambas escalas se considera expresamente en la evaluación ambiental, sin asumir que la proporción superficial determine por sí misma la importancia o significancia de los impactos.

La evaluación de los efectos ambientales se realiza, por tanto, de manera diferenciada para cada escala: el Sistema Ambiental permite contextualizar; el Área de Influencia Directa permite analizar las relaciones ambientales inmediatas; el predio permite comprender la estructura territorial completa del sitio; y el área del proyecto permite evaluar puntualmente las obras, instalaciones y actividades sujetas a regularización.

Antecedentes históricos de transformación del sitio e infraestructura preexistente

La configuración territorial actual del predio ha sido resultado de un proceso de transformación desarrollado durante varias décadas, por lo que la interpretación de las condiciones ambientales presentes requiere considerar las intervenciones históricas documentadas para el área y distinguirlas de las obras y actividades asociadas al proyecto objeto del presente estudio.

Uno de los antecedentes de mayor relevancia corresponde al proyecto de construcción de la Autopista Chetumal-Bacalar, cuya ejecución se desarrolló durante la primera mitad de la década de 1990. De acuerdo con el Decreto número 113 de la VII Legislatura Constitucional del Estado de Quintana Roo, de fecha 23 de mayo de 1995, en marzo de 1992 se recibieron instrucciones para iniciar el proyecto ejecutivo de dicha obra, cuya elaboración y entrega al consorcio constructor se desarrolló progresivamente hasta enero de 1993. El propio documento señala que la construcción se inició sin contar con un proyecto ejecutivo completo.

El mismo Decreto documenta que la obra correspondía a una concesión para la construcción, explotación y conservación de la Autopista de Cuota Chetumal-Bacalar, otorgada por el Gobierno del Estado a Impulsora del Sur de Quintana Roo, S.A. de C.V.

De acuerdo con los antecedentes técnicos y cartográficos integrados al presente estudio, aproximadamente 1.74 km del trazo de dicha infraestructura atravesaron el predio, generando una intervención física previa a la consolidación de las instalaciones turístico-recreativas actuales.

Antecedentes ambientales de la infraestructura carretera



Imagen IV-5. Antecedentes históricos del trazo de la autopista Chetumal Bacalar antes de 1992 y despues de 1992. Fuente: Google earth.

La documentación oficial generada con motivo de la revisión de la Autopista Chetumal-Bacalar contiene información relevante respecto de las condiciones ambientales y físicas existentes en el corredor intervenido.

El Decreto 113 refiere que la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, Delegación Estatal en Quintana Roo, remitió a la Contraloría del Gobierno del Estado una resolución derivada de estudios ecológicos y ambientales realizados con motivo de la construcción de la carretera, en la cual se determinó que la empresa concesionaria había infringido disposiciones federales en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente.

Asimismo, los estudios técnicos incorporados al expediente histórico identificaron, entre otras condiciones, la presencia de zonas pantanosas con suelos orgánicos o turbas, problemas de estabilidad asociados con los terraplenes, susceptibilidad a procesos erosivos y deficiencias en las

obras de drenaje. También se señalaron alcantarillas insuficientes o ubicadas inadecuadamente y observaciones respecto de la localización del puente correspondiente al kilómetro 8.

Para diciembre de 1992 la empresa concesionaria del estado decidió unilateralmente cerrar el trazo de la autopista atravesándolo en el polígono del predio Los Rápidos, donde se colocó 1.4 kilómetros de esta infarestructura. Pese a las protestas de ejidatarios, ejidos, propietarios y posesionarios cuyos predios estaban siendo cortados por la construcción de esta vía. Estos antecedentes constituyen evidencia documental de que el territorio en el que posteriormente se consolidó el proyecto ya había experimentado modificaciones físicas e hidrológicas asociadas a infraestructura carretera.

El propio Decreto concluyó que en la ejecución de la obra vial no se había realizado una previsión adecuada de sus impactos ambientales y que la obra representaba una afectación significativa al entorno ecológico, además de señalar incumplimientos a disposiciones federales y estatales aplicables.

Infraestructura carretera y evolución posterior del predio

La infraestructura carretera constituye, por tanto, un elemento preexistente de transformación territorial que debe ser considerado al analizar la condición ambiental actual del predio.

Las modificaciones producidas por la construcción de la carretera corresponden temporalmente a la primera mitad de la década de 1990 y anteceden al proceso de consolidación del aprovechamiento turístico-recreativo que posteriormente se desarrolló en el inmueble.

En particular, la existencia de terraplenes, rellenos, modificaciones de la superficie natural, caminos y obras de drenaje asociadas al antiguo corredor carretero debe considerarse dentro de la reconstrucción histórica de las condiciones físicas del sitio. Su presencia constituye una condición antecedente que debe diferenciarse de las obras posteriormente realizadas para el funcionamiento del proyecto turístico.

La diferenciación temporal resulta relevante para la evaluación ambiental, particularmente cuando se analizan elementos como:

- Modificaciones de la topografía;
- Rellenos y terraplenes;
- Alteraciones de los patrones de escurrimiento;
- Obras de drenaje;
- Caminos y superficies previamente compactadas;
- Áreas con vegetación secundaria;
- Zonas previamente intervenidas.

La atribución de una modificación ambiental determinada a una obra o actividad específica requiere considerar su ubicación, fecha de ejecución, características constructivas y relación espacial con las diferentes etapas de transformación del predio. El conocimiento de las intervenciones históricas permite establecer una condición de referencia más precisa para la evaluación de las obras y actividades objeto del presente estudio.

El predio no constituye un territorio que haya permanecido sin modificaciones desde su condición natural original. Su evolución incluye intervenciones vinculadas con infraestructura carretera, caminos, actividades agropecuarias, infraestructura rural y, posteriormente, instalaciones destinadas al aprovechamiento recreativo y turístico.

Por ello, la evaluación de impactos ambientales diferencía entre:

- Modificaciones ambientales preexistentes, cuya formación corresponde a etapas históricas anteriores;
- Modificaciones asociadas con infraestructura carretera preexistente, particularmente las derivadas del corredor de la autopista chetumal-bacalar;
- Obras e instalaciones desarrolladas posteriormente para el aprovechamiento turístico-recreativo; y
- Adecuaciones y actividades correspondientes a la etapa actual de operación y regularización.

Esta diferenciación permite establecer con mayor precisión la condición ambiental de partida del proyecto y evita atribuir de manera indistinta al aprovechamiento actual modificaciones cuya existencia puede ser anterior a éste. En consecuencia, el análisis ambiental del proyecto considera la secuencia histórica de transformación del territorio, utilizando como referencia documental los antecedentes oficiales disponibles y la información técnica y cartográfica correspondiente a las diferentes etapas de ocupación e intervención del predio.

Predio

Ecosistemas en el predio

La caracterización preliminar de ecosistemas dentro del predio Los Rápidos se realizó mediante análisis cartográfico, revisión en campo y fotointerpretación satelital, integrando información espacial sobre cobertura vegetal, unidades geomorfológicas y usos antrópicos. Los resultados presentados constituyen una caracterización inicial sujeta a verificación de campo, particularmente en aquellas coberturas cuya identificación requiere confirmación botánica o edáfica.

El predio abarca una superficie aproximada de 179.41 hectáreas, conformando un mosaico heterogéneo de ecosistemas naturales en regeneración, áreas intervenidas y humedales. La configuración espacial observada en la imagen satelital evidencia una clara transición desde unidades de planicie sedimentaria y vegetación secundaria hacia el borde lagunar y la franja federal adyacente, donde se localizan humedales, manantiales y el sistema hidráulico asociado al canal de Los Rápidos.

Desde el punto de vista estructural, el paisaje del predio está dominado por vegetación secundaria en distintos estadios sucesionales, asociada a antecedentes de uso agropecuario histórico, combinada con superficies de infraestructura, caminos y bancos de material de extensión reducida y una extensa planicie sedimentaria colonizada por manglares y petenes.

Tabla IV-4 Tipos de ecosistema natural y hechos por el hombre y superficies que ocupan dentro de predio los rápidos.

Clave Color	NOMBRE	SUPERFICIE (ha)	m2
	Planicie Sedimentaria Baja	31.6	316000
	Planicie Sedimentaria Alta	42	420000

Clave Color	NOMBRE	SUPERFICIE (ha)	m2
	Vegetación Secundaria Baja	38.9	389000
	Acahual Selva Baja	21.14	211400
	Acahual Joven	40.6	406000
	Regeneración vegetación ruderal camino	0.36	3600
	Regeneración vegetación ruderal camino	0.044	440
	Regeneración vegetación ruderal camino	0.0357	357
	Caminos	3.1	31000
	Infraestructura y equipamiento establos y casa velador	0.77	7700
	Infraestructura y equipamiento Zona oriente	0.3	3000
	Infraestructura y equipamiento Zona norte	0.56	5600
		179.41	1794097



Canal de Los Rápidos

A pesar de que el canal no es parte del predio, su interrelación con los ecosistemas de los Rápidos (y la UGA 31), especialmente con la planicies sedimentarias, hace necesario describir sus ecosistemas presentes. En la imagen abajo, en el eje central se observa el canal de flujo, identificado en la imagen como “Canal”, que constituye el cuerpo de agua con mayor dinámica hidráulica. A ambos lados del canal se delimitan franjas ecológicas con distinta composición y sensibilidad ambiental.

En color morado se identifican tapetes activos superficiales, correspondientes a comunidades microbianas expuestas y funcionales, asociadas a la formación y crecimiento de estructuras carbonatadas. En tonos verde grisáceo se delimitan áreas de sustrato de carbonato no consolidado sin tapetes, compuestas por sedimentos blandos susceptibles a resuspensión por tránsito acuático o modificación del fluj, por lo cual se construyó un andador (en naranja) cerca del límite con las zonas de vegetcaión de manglar con pastizal hidrófilo (ver vegetación más adelante), a fin de eliminar impactos por erosión y resuspensión de sedimento.

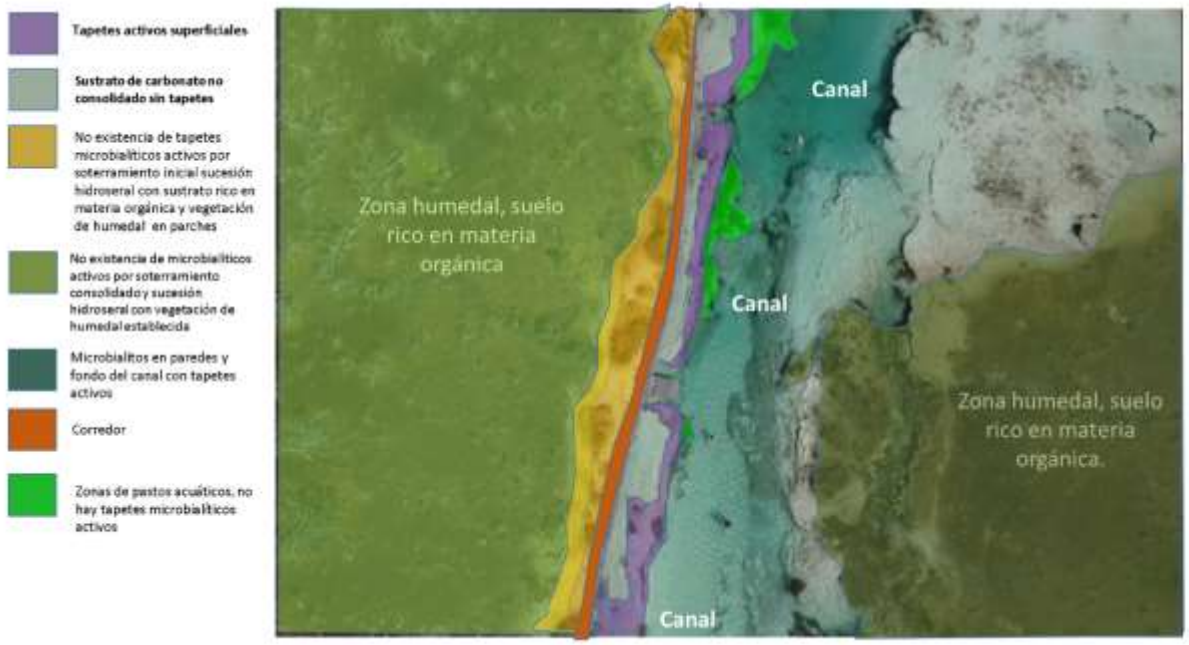


Imagen IV-6Estructura del Canal de los Rápidos. Elaboración propia sobre fotografia de dron (2025)

Las franjas amarillas indican sectores donde no existe presencia de tapetes microbianos activos por soterramiento natural o alteración de las condiciones de humedad, generalmente asociados a acumulación de material orgánico o cambios en el régimen hidrológico como parte del proceso de sucesió hidroseral que convierte las plataformas de microbialitos en zonas pantanosas a todo lo largo de los márgenes de la laguna de Bacalar.

En verde oscuro se identifican zonas con tapetes microbianos inactivos por soterramiento o microestabilización, lo cual sugiere procesos de cobertura sedimentaria o pérdida de condiciones óptimas de exposición. En verde brillante se representan zonas de pastos acuáticos y tapetes microbianos activos, constituyendo áreas de transición ecológica entre el canal y la planicie húmeda. En naranja se marca el andador, correspondiente a la franja de circulación principal o zona de intervención antrópica concentrada.

Fuera del canal, hacia ambos márgenes externos del sistema se observan amplias áreas clasificadas como zona húmeda con suelo rico en materia orgánica, que funcionan como matriz ecológica dominante y amortiguador natural del sistema, contribuyendo a la regulación hidrológica, filtración y estabilidad del ecosistema. En conjunto, la imagen evidencia un mosaico ecológico altamente heterogéneo, donde coexisten comunidades microbianas activas, sedimentos carbonatados, vegetación acuática y planicies orgánicas, resaltando la sensibilidad del canal y sus márgenes ante cualquier modificación en el régimen hidrodinámico, tránsito o alteración física del sustrato.

Bajo condiciones naturales, presenta características de baja concentración de nutrientes (oligotrofia), asociadas a alta transparencia del agua, baja biomasa fitoplanctónica, limitada disponibilidad de nitrógeno y fósforo disueltos. No obstante, el aporte recurrente de materia orgánica y nutrientes provenientes de la planicie sedimentaria durante eventos de crecida puede generar un incremento en la concentración de nutrientes disueltos, estimulación de productividad primaria, establecimiento progresivo de comunidades de macrófitas acuáticas (pastos sumergidos) en zonas previamente con baja cobertura vegetal y transición hacia estados tróficos intermedios (mesotrofización incipiente).

La acumulación de nutrientes en zonas de baja velocidad de flujo favorece la colonización por pastos y otras comunidades acuáticas oportunistas, lo cual modifica la estructura del hábitat, la dinámica de luz en la columna de agua y los ciclos biogeoquímicos locales.

Si estos eventos de aporte se vuelven frecuentes o se combinan con presiones adicionales (cambios de uso de suelo, descargas, compactación o pérdida de vegetación de la planicie), puede ocurrir un desplazamiento gradual del estado oligotrófico hacia condiciones mesotróficas. Este proceso implica una mayor productividad primaria, cambios en la composición de especies, sustitución de comunidades adaptadas a baja disponibilidad de nutrientes y alteración del equilibrio ecológico del canal. No obstante, los procesos descritos corresponden a dinámicas naturales del sistema y a presiones regionales acumulativas, no siendo atribuibles de manera directa a la operación del proyecto

En sistemas kársticos, donde la circulación del agua es rápida y la capacidad de amortiguamiento es limitada, pequeñas variaciones en la carga de nutrientes pueden generar efectos ecológicos desproporcionados. La conservación de la planicie sedimentaria baja no sólo es relevante por su fragilidad estructural, sino también por su papel en la regulación de flujos de nutrientes hacia el canal. A la fecha toda esa área se ha mantenido como zona de conservación y amortiguamiento. Mantener la cobertura vegetal y evitar la remoción o alteración del suelo reduce la probabilidad de exportación masiva de materia orgánica durante eventos de crecida.

La colocación del andador elevado, fabricado con madera y sin cementación en los pilotes, contribuido a reducir la erosión y la remoción de sedimentos. Porque se entendió que es una zona dinámica, donde esta unidad actúa tanto como zona de retención, bajo condiciones normales, como potencial fuente de nutrientes, bajo condiciones hidrológicas extremas. La gestión adecuada debe orientarse a preservar su capacidad de retención y minimizar procesos que incrementen la movilización de sedimentos y nutrientes. Esta infraestructura forma parte de las medidas históricas de manejo implementadas en el sitio, orientadas a reducir la erosión y la resuspensión de sedimentos.

Planicie Sedimentaria Baja (31.6 ha)

La planicie sedimentaria baja identificada en el predio Los Rápidos corresponde a una unidad geomorfológica de aproximadamente 31.6 hectáreas, ubicada en colindancia directa con la Zona Federal del cuerpo lagunar. Se caracteriza por ser una superficie topográficamente baja, prácticamente horizontal, asociada a procesos recientes de acumulación y estabilización de

sedimentos finos en un contexto kárstico–lacustre. En condiciones normales, esta unidad funciona como zona de retención; sin embargo, durante eventos hidrometeorológicos extremos, puede comportarse como fuente de exportación de nutrientes.

Geomorfología



Imagen IV-7. Planicie Sedimentaria Baja Los Rápidos (31.6 ha)

La unidad corresponde a una planicie sedimentaria baja de origen reciente, asociada a procesos de acumulación lacustre–palustre en un contexto kárstico. Presenta relieve prácticamente plano, pendientes menores al 2%, y se localiza en una posición topográfica inferior respecto a las áreas adyacentes del predio. Su conformación está vinculada a la deposición progresiva de sedimentos finos y precipitados carbonatados sobre una base de carbonato de calcio subyacente, típica de ambientes asociados a cuerpos de agua someros en regiones kársticas. Se trata de una geoforma joven, en proceso activo de estabilización superficial.

Edafología

Los suelos presentes se encuentran en etapa incipiente de formación (pedogénesis inicial). Se identifican estratos arcillosos y limo-arcillosos poco consolidados, material fino en proceso de acumulación, escasa diferenciación de horizontes y alta saturación hídrica. El perfil edáfico es somero y se desarrolla directamente sobre una superficie carbonatada. Las condiciones hidromórficas predominan durante la mayor parte del año, lo que limita la aireación del suelo y favorece la acumulación de materia orgánica parcialmente descompuesta. La capacidad portante es baja debido al alto contenido de humedad y a la falta de consolidación estructural.

Hidrología

La planicie presenta un régimen de inundación estacional a semipermanente, manteniendo niveles freáticos someros durante gran parte del año. La dinámica hídrica está influenciada por la fluctuación estacional del nivel del sistema lagunar, la interacción con el flujo subterráneo característico del sistema kárstico, la baja pendiente y limitada escorrentía superficial. Estas condiciones generan ambientes palustres que favorecen procesos de sedimentación fina, retención de nutrientes y acumulación orgánica.

Vegetación

La cobertura vegetal corresponde a comunidades halófitas e hidrófitas, adaptadas a suelos saturados y a posibles variaciones en la concentración de sales. Durante los recorridos de campo se registró la presencia de Individuos y parches de manglar en transición, comunidades de carrizales y pastos tolerantes a inundación permanente o temporal. Estas comunidades cumplen funciones ecológicas relevantes, tales como estabilización y retención de sedimentos, regulación microhidrológica, provisión de hábitat para fauna asociada a ambientes ribereños y palustres y amortiguamiento frente a fluctuaciones del nivel del agua.

Sensibilidad ambiental

Debido a su carácter de suelo poco consolidado, alta saturación hídrica y función de transición ecológica entre el sistema acuático y terrestre, la planicie sedimentaria baja presenta alta fragilidad ambiental. Las principales vulnerabilidades incluyen compactación por tránsito o infraestructura, alteración del régimen hidrológico, relleno o desecación y remoción de vegetación hidrófila. Cualquier intervención en esta unidad requiere considerar su función como zona de amortiguamiento y regulación hídrica dentro del sistema lagunar.

Servicios ambientales

La planicie sedimentaria baja desempeña funciones ecosistémicas estratégicas dentro del sistema lagunar y del predio Los Rápidos, constituyéndose como una unidad ambiental de regulación y amortiguamiento:

Regulación hidrológica

Funciona como zona de almacenamiento temporal de agua durante periodos de aumento del nivel lagunar. Contribuye a la laminación de excedentes hídricos, reduciendo escurrimientos concentrados; favorece la recarga e intercambio con el acuífero kárstico, manteniendo conectividad superficial–subterránea; su condición de suelo saturado permite amortiguar variaciones estacionales del nivel del agua, actuando como una zona de transición dinámica.

Retención de sedimentos y nutrientes

La vegetación hidrófila y halófita favorece la captura y estabilización de sedimentos finos, contribuye a la retención de materia orgánica y nutrientes, reduciendo su transporte directo hacia el cuerpo lagunar, disminuye procesos de erosión superficial en eventos de precipitación intensa. Esta función es particularmente relevante en sistemas kársticos, donde la infiltración es rápida y los contaminantes pueden movilizarse con facilidad.

Provisión de hábitat

Constituye un hábitat palustre y ribereño para fauna asociada a ambientes inundables, sirve como zona de alimentación, refugio y reproducción para aves, reptiles y macroinvertebrados. Y facilita corredores ecológicos entre el sistema acuático y las áreas terrestres adyacentes.

Captura y almacenamiento de carbono

La acumulación de materia orgánica en suelos saturados contribuye al almacenamiento de carbono en sedimentos anóxicos. La vegetación palustre participa en la fijación de carbono atmosférico mediante procesos fotosintéticos.

Amortiguamiento ecológico

Funciona como zona buffer natural entre el sistema lagunar y posibles áreas de intervención. Reduce impactos derivados de actividades antrópicas mediante procesos de filtración biogeoquímica.

Dinámica hidrológica estacional y transporte de materia orgánica.

Durante periodos de incremento extraordinario del nivel del agua (temporada de lluvias intensas, eventos meteorológicos o elevación sostenida del nivel lagunar), la planicie sedimentaria baja experimenta una conectividad hidráulica directa y prolongada con el canal principal. En estas condiciones se presentan los siguientes procesos:

- Resuspensión y movilización de sedimentos finos previamente depositados en la planicie.
- Liberación de materia orgánica acumulada en suelos hidromórficos.
- Transporte de fracciones orgánicas particuladas y nutrientes asociados (principalmente nitrógeno y fósforo) hacia el canal central y zonas adyacentes.

Los suelos saturados de la planicie funcionan como reservorios temporales de materia orgánica. Sin embargo, cuando el nivel del agua sobrepasa ciertos umbrales, el sistema pasa de una fase de retención a una fase de exportación neta de nutrientes. ES importante recalacar que la alta vulnerabilidad del sistema no deriva de un estado de deterioro, sino de sus características intrínsecas como sistema kárstico altamente permeable y sensible a perturbaciones.

Planicie Sedimentaria Alta (42 ha)

Superficie: 42 ha. Ubicación: Límite poniente de la formación sedimentaria del predio.

Geomorfología

La Planicie Sedimentaria Alta corresponde a una unidad geomorfológica de acumulación sedimentaria ubicada topográficamente por encima de la Planicie Sedimentaria Baja, constituyendo la transición entre las zonas palustres–lagunares y las superficies ligeramente más elevadas del predio.



Imagen IV-8. Planicie Sedimentaria Alta (42 ha) Los Rápidos.

Presenta relieve plano a suavemente inclinado (pendientes menores al 3%), con mayor estabilidad superficial en comparación con la planicie baja. Está conformada por depósitos sedimentarios finos a medios asociados a procesos de acumulación lacustre antigua y retracción progresiva del espejo de agua. Se trata de una geoforma más consolidada, con mayor tiempo de exposición subaérea y menor frecuencia de inundación prolongada.

Edafología

Los suelos presentes muestran un grado intermedio de desarrollo pedogenético, superior al observado en la planicie sedimentaria baja. Se caracterizan por texturas franco-arcillosas a limo-arcillosas., ayor diferenciación incipiente de horizontes.menor saturación hídrica anual, presencia de material carbonatado subyacente propio del sistema kárstico.

- El potencial de infiltración es relevante debido a:
- La naturaleza calcárea del sustrato.
- La conectividad con el acuífero subterráneo.
- La menor compactación natural.

Estos suelos permanecen secos durante mayor número de días al año, aunque pueden experimentar inundaciones intermitentes estacionales, principalmente durante periodos de precipitación intensa o elevación extraordinaria del nivel lagunar.

Hidrología

La planicie sedimentaria alta presenta un régimen de inundación temporal y episódica, a diferencia de la saturación casi permanente de la planicie baja. Su comportamiento hidrológico se caracteriza por una mayor capacidad de drenaje superficial. infiltración vertical significativa hacia el sistema kárstico e interacción indirecta con la dinámica del canal principal. Durante eventos de crecida extraordinaria, esta unidad puede integrarse hidráulicamente con la planicie baja, contribuyendo a procesos de redistribución de sedimentos y nutrientes.

Vegetación

La cobertura vegetal muestra un grado mayor de estructuración en comparación con la planicie baja. Se observa vegetación baja y matorral adaptado a suelos temporalmente inundables, pastos resistentes a anegamientos intermitentes, especies tolerantes a condiciones de humedad variable. El patrón de vegetación indica un ecosistema de transición entre ambientes palustres y superficies más secas, con mayor estabilidad radicular y cobertura continua.

Función ecológica y servicios ambientales

Regulación hídrica

Actúa como zona de amortiguamiento intermedia entre la planicie baja y áreas más elevadas, favorece la infiltración y recarga del acuífero, reduce escurrimientos concentrados hacia el canal, retención y transformación de nutrientes, en condiciones normales, esta unidad funciona como zona de retención parcial de sedimentos y nutrientes provenientes de áreas superiores del predio. Sin embargo, durante eventos de inundación extraordinaria puede movilizar materia orgánica acumulada, contribuir al transporte lateral de nutrientes hacia la planicie baja y eventualmente al canal.

Provisión de hábitat

Constituye hábitat para fauna terrestre asociada a ambientes húmedos intermitentes, funciona como corredor ecológico entre la zona forestal y el sistema lagunar. Estabilidad estructural del sistema. Al presentar mayor consolidación edáfica, la planicie alta ayuda a disminuir la erosión interna del predio y reducir la resuspensión de sedimentos finos hacia el sistema lagunar.

Sensibilidad ambiental

Aunque menos frágil que la planicie sedimentaria baja, esta unidad presenta sensibilidad media–alta debido a su papel en la infiltración hacia el acuífero kárstico, la posibilidad de exportación de nutrientes bajo alteraciones del suelo, su función como zona de amortiguamiento ecológico, la compactación, que desmonte o modificación del microrelieve puede alterar la infiltración natural, incrementar escurrimientos superficiales y aumentar la carga de sedimentos hacia el canal.



Imagen IV-9. Vegetación Secundaria Baja con manchón de tular (38.9 ha)Los Rápidos-

Vegetación Secundaria Baja con manchón de tular (38.9 ha)

Superficie: 38.9 h. Ubicación: Porción central del predio, en torno a una surgencia puntual del acuífero kárstico

Geomorfología

La unidad se desarrolla sobre una superficie de pendiente suave y continua, con inclinaciones promedio menores al 3–4%, según el perfil de elevación obtenido mediante análisis cartográfico. El ojo de agua (cenote) se localiza en una posición topográfica intermedia dentro de este gradiente descendente, y no en una depresión cerrada o cuenca endorreica definida. La topografía evidencia un descenso progresivo hacia la zona lagunar, lo que indica ausencia de estancamiento superficial amplio, condiciones favorables para drenaje difuso e integración geomorfológica con el sistema sedimentario del predio.

La surgencia del acuífero responde a la dinámica kárstica subterránea y no a procesos de acumulación pluvial superficial. El entorno inmediato presenta microrelieve ligeramente más bajo que la matriz circundante, suficiente para mantener condiciones de saturación localizadas sin configurar un humedal extensivo.

Edafología

Los suelos muestran características propias de sistemas kársticos con influencia hídrica localizada:Texturas franco-arcillosas a arcillosas en la periferia del ojo de agua, mayor contenido de materia orgánica en el perímetro inmediato de la surgencia y saturación hídrica permanente o semipermanente en el anillo inmediato al cuerpo de agua, así como presencia de material carbonatado subyacente.

En la matriz circundante (vegetación secundaria terrestre) hay una menor saturación anual, un desarrollo pedogenético incipiente a intermedio, una alta capacidad de infiltración vertical hacia el acuífero. La combinación de suelos saturados en el núcleo y suelos bien drenados en la periferia configura un gradiente edáfico–hidrológico bien definido.

Hidrología

El comportamiento hidrológico de la unidad está determinado principalmente por la descarga vertical del acuífero kárstico, más que por procesos de escurrimiento superficial. El perfil topográfico muestra un gradiente suave que permite drenaje lateral difuso en eventos de lluvia intensa, ausencia de encharcamientos extensivos y una rápida infiltración en suelos no saturados.

La saturación permanente se limita al anillo inmediato del ojo de agua, mientras que la matriz secundaria circundante presenta régimen de humedad variable con buena capacidad de infiltración vertical. Durante eventos de precipitación extraordinaria, puede presentarse escurrimiento superficial leve hacia zonas de menor cota; sin embargo, la pendiente suave y la cobertura vegetal reducen la posibilidad de erosión concentrada.

Vegetación

La cobertura vegetal presenta dos componentes claramente diferenciados:

a) Matriz dominante (vegetación secundaria baja):

- Selva baja subperennifolia en etapa sucesional intermedia.
- Estrato arbustivo–arbóreo bajo.
- Presencia de especies pioneras y heliófitas.
- Cobertura discontinua con claros naturales.

b) Manchón de tular asociado al ojo de agua:

- Vegetación hidrófila emergente adaptada a saturación permanente.

- Desarrollo en anillo alrededor del cuerpo de agua.
- Alta densidad radicular en suelos saturados.

Función ecológica y servicios ambientales

El patrón indica una comunidad secundaria terrestre con un parche hidrófilo puntual vinculado a la surgencia. Algunas de las funciones incluyen la regulación hídrica. Ya que actúa como zona de amortiguamiento natural alrededor del ojo de agua, favorece la infiltración en la matriz circundante y reduce la erosión puntual en el perímetro del cuerpo de agua. Ayuda a la retención y transformación de nutrientes: El tular funciona como filtro biológico local, retiene sedimentos y materia orgánica y contribuye a la estabilización química del microentorno inmediato. Además de provisión de hábitat, porque proporciona microhábitat para fauna asociada a ambientes palustres, de funcionar como nodo ecológico dentro de la matriz de vegetación secundaria y contribuir a la conectividad interna del predio.

Finalmente la estabilidad estructural del sistema:

- La vegetación radicular del tular estabiliza el borde del ojo de agua.
- La matriz secundaria reduce escurrimientos concentrados.
- Limita la movilización de sedimentos hacia puntos de descarga.

Sensibilidad ambiental

La sensibilidad ambiental de esta unidad es media–alta en el entorno inmediato del ojo de agua y media en la matriz secundaria circundante, debido a la conexión directa con el acuífero kárstico, la vulnerabilidad a compactación del suelo en zonas saturadas y el potencial de alteración de la infiltración natural.

Acahual Selva Baja (21.14 ha)

Superficie: 21.14 ha. Ubicación: Límite norponiente del predio, delimitado por el camino de acceso principal y el lindero norte, con forma triangular bien definida

Geomorfología

El Acahual de Selva Mediana Subperennifolia se localiza en la porción más elevada del predio, con altitudes que oscilan entre aproximadamente 13 y 20 m s.n.m., de acuerdo con el perfil de elevación analizado. El relieve es plano a suavemente inclinado, con pendientes promedio entre 1 y 3%, y pendientes máximas puntuales cercanas al 4–5% en zonas de transición hacia unidades más bajas. El perfil evidencia un descenso progresivo y continuo hacia la planicie sedimentaria y posteriormente hacia el sistema lagunar, lo que indica:

- Buena estabilidad geomorfológica.
- Ausencia de microcuencas cerradas.
- Escaso potencial de anegamiento prolongado.
- Bajo riesgo de erosión concentrada bajo cobertura vegetal intacta.

La unidad constituye la franja topográfica alta que regula el inicio del gradiente hidrológico interno del predio.



Imagen IV-10. Acahual Selva Baja (21.14 ha) Los Rápidos.

Hidrología.

El régimen hidrológico está dominado por infiltración vertical y escurrimiento superficial difuso controlado por cobertura vegetal. Dado que esta unidad se ubica en la parte alta del gradiente topográfico funciona como zona primaria de captación pluvial, contribuye a la recarga del acuífero kárstico y regula la descarga gradual hacia las planicies bajas.

Durante eventos de precipitación intensa, el perfil indica que el flujo superficial sigue una pendiente progresiva hacia el sureste, integrándose eventualmente al sistema sedimentario y lagunar. La cobertura forestal actual reduce significativamente la velocidad del escurrimiento, la movilización de sedimentos y la exportación de nutrientes.

Edafología

Los suelos corresponden a formaciones típicas del sistema kárstico peninsular, texturas franco-arcillosas a franco-limosas. Con presencia de horizonte orgánico superficial moderado, un substrato calcáreo cercano a superficie y buen drenaje natural. Se observa mayor desarrollo pedogenético en comparación con las planicies bajas del predio, lo que favorece el establecimiento de vegetación arbórea de mayor porte. El potencial de infiltración es alto debido a la naturaleza calcárea del sustrato, la fracturación kárstica subyacente y la cobertura vegetal que reduce compactación.

Vegetación

La cobertura corresponde a acahual de selva mediana subperennifolia, en etapa sucesional secundaria, con edad por determinar mediante verificación en campo. Se observa:

- Estrato arbóreo joven a intermedio.
- Altura variable, inferior a la selva madura regional.
- Densidad media a alta.
- Presencia probable de especies pioneras y secundarias tempranas.
- La estructura indica un proceso de regeneración natural posterior a disturbios históricos (posible uso agrícola previo o apertura de claros).
- No se identifican claros extensivos recientes ni evidencias de perturbación activa en la imagen satelital.

Función ecológica y servicios ambientales:

Regulación hídrica

Favorece infiltración y recarga del acuífero, reduce la velocidad de escurrimientos superficiales y contribuye a la estabilidad hidrológica interna del predio

Retención de suelo y nutrientes.

Sistema radicular que disminuye erosión, retención de materia orgánica y contribución a la formación y estabilidad del suelo.

Provisión de hábitat

Refugio para fauna terrestre asociada a vegetación secundaria, funciona como corredor ecológico entre áreas forestales externas al predio y unidades internas e incrementa la conectividad estructural del paisaje.

Captura de carbono

Biomasa en proceso de acumulación, potencial de captura superior al de matorrales bajos o planicies abiertas.

Acahual Joven (40.6 ha)

Superficie: 40.6 ha. Ubicación: Límite poniente–suroeste del predio, delimitado por caminos de acceso; colinda al sur con área agropecuaria activa y zona de infraestructura y equipamiento



Imagen IV-11. Acahual joven

Geomorfología

La unidad se ubica sobre superficie plana a ligeramente inclinada, correspondiente a la plataforma kárstica del predio. No se observan microdepresiones palustres ni rasgos asociados a acumulación lagunar. El relieve es homogéneo y estable, con pendientes suaves que favorecen drenaje superficial difuso. Su posición topográfica es intermedia respecto al gradiente general del predio, sin influencia directa de zonas de inundación permanente. La delimitación rectilínea del polígono y su configuración geométrica son consistentes con uso agropecuario previo.

Edafología

Los suelos muestran características asociadas a manejo agropecuario anterior, tal como texturas franco-arcillosas a franco-limosas, horizonte superficial con evidencia de disturbio previo, compactación ligera a moderada en algunos sectores y substrato calcáreo somero típico del sistema kárstico. Actualmente se observa acumulación progresiva de materia orgánica superficial derivada del proceso de regeneración natural. El potencial de infiltración es medio–alto, dependiendo del grado de compactación residual.

Hidrología

El régimen hidrológico es predominantemente de infiltración vertical con escurrimiento superficial leve en eventos de precipitación intensa. No se identifican cuerpos de agua permanentes dentro del polígono. Dada su historia de uso agropecuario, esta unidad pudo haber presentado mayor escurrimiento superficial en etapas anteriores; sin embargo, la regeneración vegetal actual contribuye a disminuir velocidad de escurrimiento, incrementar infiltración, reducir exportación de

sedimentos hacia unidades inferiores y funciona como superficie de transición entre zonas intervenidas y unidades con mayor cobertura forestal.

Vegetación

Corresponde a acahual joven en etapa sucesional temprana, derivado del abandono reciente de uso agropecuario. Se observa, cobertura herbácea dominante, presencia dispersa de arbustos pioneros, árboles jóvenes de baja altura y estructura abierta y heterogénea. El patrón de regeneración es consistente con vegetación “en descanso” reciente, en proceso de transición hacia etapas sucesionales intermedias. No se identifican rasgos de selva madura ni estructura forestal consolidada.

Función ecológica y servicios ambientales

Recuperación ecológica

Representa superficie en proceso activo de regeneración natural, incrementa progresivamente biomasa y cobertura vegetal, mejora estructura del suelo respecto a condición agropecuaria previa.

Regulación hídrica

Reduce escurrimientos concentrados en comparación con suelo desnudo, favorece infiltración gradual, disminuye erosión superficial.

Provisión de hábitat

Proporciona hábitat para fauna generalista y especies oportunistas, funciona como zona de expansión potencial para conectividad futura.

Captura de carbono

Biomasa en fase de incremento acelerado, alta tasa de fijación relativa por tratarse de etapa joven,

Desprovista de vegetación o huamil en recuperación (0.36 ha, 0.044 ha y 0.0357 ha)



Imagen IV-12. Desprovista de vegetación o huamil

Ubicación: Polígonos puntuales dentro de la matriz de vegetación secundaria, con acceso por caminos internos del predio. Las superficies identificadas como zonas con remoción de material corresponden a intervenciones realizadas aproximadamente en 1992 en el contexto de un proyecto carretero promovido por el gobierno, el cual fue posteriormente abandonado. El trazo y áreas asociadas fueron integrados funcionalmente como caminos internos del rancho, sin que desde entonces se hayan realizado actividades adicionales de extracción o ampliación. Estas superficies constituyen una condición histórica preexistente al proyecto actual.

Hidrología

El régimen hidrológico está determinado por infiltración directa en sustrato expuesto. Dada su reducida extensión superficial (<0.5 ha en conjunto) no representan cuencas de captación

relevantes, no generan escurrimientos concentrados significativos y no se vinculan directamente con el sistema lagunar. La infiltración es alta debido a la exposición de material calcáreo, aunque la compactación puntual puede generar escurrimientos superficiales menores durante lluvias intensas.

Vegetación

La cobertura vegetal es escasa a incipiente con presencia de herbáceas colonizadoras, arbustos pioneros dispersos, regeneración natural progresiva en bordes y no corresponde a vegetación forestal ni a ecosistema estructurado. Su escala reducida no fragmenta significativamente la matriz vegetal. Se encuentran insertos dentro de áreas de mayor cobertura.

Caminos internos

El predio cuenta con una red de caminos internos preexistente, desarrollada históricamente en el contexto del uso agropecuario del terreno y de la integración funcional del antiguo trazo carretero abandonado en la década de 1990.

La red cumple funciones de:

- Acceso principal desde las vialidades regionales.
- Conectividad interna entre áreas operativas.
- Acceso a la laguna y al manantial.
- Delimitación de linderos.
- Acceso a antiguas áreas de uso agropecuario.

Los caminos interiores se clasifican en aminos interiores permeables, con ancho promedio de 6 metros, destinados a tránsito vechicular regular. Y brechas, con anchos variables entre 3 y 4 metros, de uso restringido y baja intensidad.

Todos los caminos son de carácter rústico, conformados por material natural compactado del mismo suelo del predio, sin carpeta asfáltica ni revestimientos impermeables, lo que permite la infiltración pluvial y reduce la generación de escurrimientos superficiales concentrados. La longitud total de la red interna asciende a 6,548.23 metros, con una superficie acumulada de 31,068.88 m² (3.1069 ha). En términos relativos, esta superficie representa una fracción menor del predio total y corresponde en su mayoría a infraestructura histórica consolidada, no asociada a ampliaciones recientes. No se contemplan nuevos trazos ni ampliaciones significativas como parte del proyecto evaluado.

Tabla IV-5. Red de caminos internos del predio Los Rápidos (Ver también Capítulo II).

Clave	NOMBRE DE LA VÍA	Tipo	Ancho (m)	Longitud caminos (m)	m2	Superficie (Ha)
SCH	Salida a Chetumal	Camino interior permeable	6	507.23	3043.38	0.304338
SBC	Salida a Bacalar	Camino interior permeable	6	481	2886	0.2886
ACP	Acceso principal	Camino interior permeable	6	1825	10950	1.095
ACL	Acceso a la Laguna	Camino interior permeable	6	308	1848	0.1848
BRL	Brecha a la laguna	Brecha	3.5	662	2317	0.2317
BRM	Brecha manantial	Brecha	3.5	287	1004.5	0.10045

Clave	NOMBRE DE LA VÍA	Tipo	Ancho (m)	Longitud caminos (m)	m2	Superficie (Ha)
BRN	Brecha lindero norte	Brecha	3.5	615	2152.5	0.21525
BRS	Brecha lindero sur	Brecha	3.5	653	2285.5	0.22855
BRP	Brecha antiguo potrero	Brecha	3.5	516	1806	0.1806
BRC	Brecha área cerrada	Brecha	4	213	852	0.0852
MNT	Mensura norte	Brecha	3	481	1924	0.1924
				6548.23	31068.88	3.106888

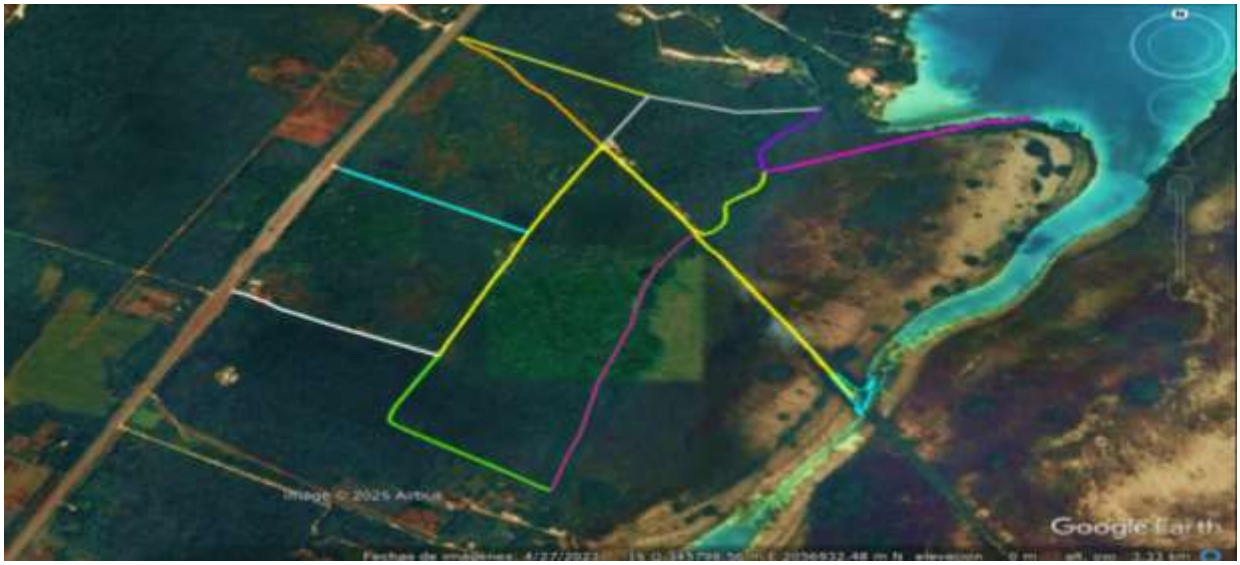


Imagen IV-13. Caminos interiores en el predio los Rápidos. Creación propia. Imagen Google Earth.

Medio Físico

Clima y Meteorología

Metodología y Fuentes de Información

Para la caracterización climática del Predio Los Rápidos, se analizaron las normales climatológicas (periodo 1991-2026) de las estaciones más representativas operadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en la zona de influencia. Dado que el predio se ubica en una zona de transición influenciada tanto por la dinámica costera de Chetumal como por las condiciones continentales de la zona de Juan Sarabia y Bacalar se revisaron las estaciones meteorológicas activas ubicadas en la zona listadas en la base de datos de Normales Climatológicas por Estado en la página de CONAGUA para Quintana Roo. Se encontraron los datos correspondientes a la estación Chetumal (DGE) (con datos hasta 2020) y Juan Sarabia (actualizada a 2026), las estaciones de Bacalar aparecen como suspendidas, algunas con datos de la década de los 1960, por lo que no fueron consideradas.

Para esta sección se realizó un análisis de referencia de ambas estaciones para determinar tendencias dado que el Predio Los Rápidos se ubica en una zona de transición ecológica y climática. Mientras que la estación Chetumal (23032) captura la influencia marítima y termorreguladora de la Bahía de Chetumal a una altitud de 9 msnm , la estación Juan Sarabia (23170) refleja condiciones más continentales y de mayor elevación (27 msnm). Utilizar ambas permite obtener un promedio ponderado que describe con mayor exactitud el microclima de Los Rápidos, que no es puramente costero ni totalmente continental (Tabla IV.3).

Al tomar datos de dos estaciones, se establece un rango de variabilidad en lugar de un dato único y estático. De este modo, utilizar dos fuentes permite identificar y descartar posibles anomalías o errores de medición en una estación específica, dado que Chetumal aporta una serie histórica sólida basada en las normales de 1991-2020, y Juan Sarabia complementa con datos más recientes de valores extremos hasta el año 2026 . Esta combinación asegura que la MIA no solo se base en promedios históricos, sino también en las tendencias climáticas más actuales y severas de la última década.

Como ventaja adicional para el tema hidrológico, dado que el predio se encuentra en una zona receptora de flujos hídricos, los datos de Juan Sarabia son esenciales para entender el comportamiento de la precipitación en las zonas de recarga y tránsito de agua que finalmente alimentan el canal de Xul Ha, proporcionando una visión sistémica de la cuenca que una sola estación local no podría ofrecer.

Tabla IV-6. Datos de estaciones climáticas consultadas. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Juan Sarabia (23170) y estación Chetumal (23032)

Campo	**Información**	
Institución	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	
Área	Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional	
Base de datos	Base de Datos Climatológica Nacional	
Tipo de información	Normal climatológica 1991–2020	
Emisión	02/01/2026	
Datos disponibles hasta	Enero de 2026	
Estación	23032	23170
Nombre	Chetumal (DGE)	Juan Sarabia
Estado	Quintana Roo	
Municipio	Othón P. Blanco	
Situación	Operando	
Clave OMM	76750	-----
Latitud	18.50055556 °	18.50305556 °
Longitud	-88.3275 °	-88.48138889 °
Altitud	9 msnm	27 msnm

Clasificación Climática

De acuerdo con el sistema de Köppen modificado por García (2004), el clima predominante en el área de influencia es Cálido Subhúmedo (Aw1). Este clima se caracteriza por presentar una temperatura media anual superior a los 22°C y un régimen de lluvias concentrado en los meses de verano, con una estación seca bien definida entre los meses de marzo y mayo.

Análisis Comparativo de Temperatura

El comportamiento térmico en el sistema ambiental de Los Rápidos es consistente con la región sur de Quintana Roo, mostrando temperaturas cálidas y estables durante todo el año. La estación Juan Sarabia presenta una mayor oscilación térmica y temperaturas extremas más drásticas debido a su ubicación tierra adentro.

Chetumal, por su parte, muestra una mayor estabilidad debido a la influencia termorreguladora de la Bahía. Para el predio, las temperaturas medias son fundamentales para los procesos biológicos de sus ecosistemas y para el arrecife de microbialitos presentes en el canal, cuya salud depende en parte de la estabilidad térmica del agua.

Tabla IV-7. Comparativa de las estaciones Juan Sarabia (23170) y Chetumal (23032)

Variable	Estación Chetumal (1991-2020)	Estación Juan Sarabia (2005-2026)
Temperatura Máxima (Normal/Media)	32.6°C	~32.5°C (Promedio de medias mensuales)
Mes más Cálido	Agosto (34.5°C)	Agosto (34.5°C)
Temperatura Mínima (Normal/Media)	22.9°C	~21.5°C (Promedio de medias mensuales)
Mes más Frío	Enero (19.2°C)	Enero (18.3°C)
Máxima Absoluta Registrada	48.2°C (Octubre 2015)*	41.0°C (Mayo 2016)
Mínima Absoluta Registrada	0°C (Diciembre 2010)*	7.0°C (Enero 2014 / Agosto 2014)

La estabilidad térmica es vital para la preservación de los microbialitos en el canal de Los Rápidos, ya que cambios bruscos en la temperatura del agua podrían afectar los procesos de calcificación de estas estructuras biológicas.

Un punto importante a considerar en el análisis comparativo entre las estaciones Chetumal (23032) y Juan Sarabia (23170) revela una variabilidad térmica significativa que debe ser interpretada bajo criterios de prevención de riesgos. Aunque el Predio Los Rápidos presenta un entorno natural más similar a Juan Sarabia (por su cobertura vegetal y el flujo constante de agua que actúa como regulador térmico), la presencia de registros históricos extremos en la estación Chetumal obliga a considerar escenarios de "peor caso" (worst-case scenario).

El registro de 48.2°C reportado en Chetumal (Octubre, 2015) es un valor atípico que supera por más de 10°C la normal mensual. Técnicamente, este dato puede atribuirse al efecto de Microclima Urbano: La ubicación de la estación en una zona con alta densidad de materiales absorbentes de calor (concreto/asfalto), a una anomalía Puntual como eventos meteorológicos extraordinarios de estabilidad atmosférica sin viento térmico marino.Para efectos de la MIA, este valor se toma como un indicador de estrés térmico máximo. En el Predio Los Rápidos, la protección de la vegetación riparia y la conservación de la transparencia del agua son las principales medidas para evitar que la temperatura de la laguna alcance niveles que comprometan la calcificación de los microbialitos.

En la tabla puede verse un registro de 0°C (Diciembre, 2010) representa un evento de helada extraordinario para la latitud del proyecto. Este valor se debió tal vez a la incursión de Masas de Aire Polar: El descenso de "Nortes" intensos con muy bajo contenido de humedad, a la geografía local donde el predio, al estar en una zona baja de la cuenca, puede funcionar como un receptáculo de aire frío por gravedad durante noches despejadas y sin viento.

Aun cuando los valores normales indican un clima cálido estable, la variabilidad histórica analizada establece que el sistema ambiental del Predio Los Rápidos está sujeto a pulsos térmicos y pluviales intensos. Por tanto, las medidas de mitigación aquí propuestas no solo atienden las condiciones

medias, sino que están diseñadas para garantizar el ecosistema ante los escenarios extremos documentados en las estaciones de referencia."

Tabla IV-8. Valores de Temperatura máxima (°C) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Chetumal (DGE) (23032)

Mes	Normal	Máx. mensual	Año máx.	Máx. diaria	Fecha máx. diaria	Años con datos
Ene	29.9	31.2	2012	34.2	13/2016	29
Feb	30.9	32.4	2017	36.4	26/2013	29
Mar	32	33.3	2015	38.6	dic-10	29
Abr	33.3	34.1	2006	39	oct-98	29
May	33.9	34.9	2007	39.5	15/2003	29
Jun	33.5	35	2010	38	may-16	29
Jul	34	35.2	2009	37.8	sep-05	29
Ago	34.5	36.2	2014	39.3	25/2014	28
Sep	34.2	35.5	2009	37.8	mar-08	28
Oct	32.9	34.3	2015	48.2	16/2015	28
Nov	31.3	33	2012	36.1	14/1997	28
Dic	30.3	32.2	2012	39	30/1994	28
Anual	**32.6**	-	-	-	-	-

Tabla IV-9. Valores de Temperatura máxima (°C) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Juan Sarabia (23170)

Mes	Años analizados	Máx. (°C)	Fecha	Récord	Mín. (°C)	Fecha	Récord	Media (°C)	Desv. estándar
Ene	21	36	07/01/2024	Sí	20.5	10/01/2010	No	29.8	2.3
Feb	21	37.5	22/02/2010	No	23	27/02/2020	No	30.8	2
Mar	21	38	12/03/2010	Sí	25	17/03/2010	Sí	32.1	1.8
Abr	21	39.2	26/04/2010	No	27	02/04/2005	No	33.6	1.6
May	21	41	04/05/2016	No	27	31/05/2008	Sí	34.2	1.8
Jun	21	39	05/06/2024	No	26	01/06/2008	No	33.5	2
Jul	21	37.7	09/07/2005	Sí	26.5	23/07/2005	No	33.9	1.6
Agt	21	38.5	29/08/2016	No	27.5	20/08/2007	No	34.5	1.7
Sep	21	38	24/09/2023	Sí	26	11/09/2014	No	34	1.8
Oct	21	38	11/10/2023	Sí	22	26/10/2005	No	32.7	2.3
Nov	20	36	09/11/2024	Sí	24	13/11/2026	No	31.2	2
Dic	19	35	18/12/2020	No	21	12/12/2018	No	30.2	2.1

Tabla IV-10. **Valores de Temperatura mínima (°C) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Chetumal (DGE) (23032)**

Mes	Normal	Mín. mensual	Año mín.	Mín. diaria	Fecha mín. diaria	Años con datos
Ene	19.2	16.8	2003	10	nov-10	29
Feb	20.5	17.9	2015	10.5	14/2006	29

Mes	Normal	Mín. mensual	Año mín.	Mín. diaria	Fecha mín. diaria	Años con datos
Mar	21.9	19.7	2010	8.9	dic-96	29
Abr	24.2	22.6	1993	14.7	ene-03	29
May	25.2	22.2	1992	17.7	sep-16	29
Jun	25.5	24.5	1999	20.2	22/1992	29
Jul	25.2	23.7	2000	20.2	ene-94	29
Ago	25.1	24	2013	19.3	30/2009	28
Sep	24.5	23.2	1991	20.4	25/1995	28
Oct	23.1	21.4	2017	15.8	27/2017	28
Nov	20.9	18.5	2008	10	23/2006	28
Dic	19.8	14.8	2010	0	may-10	28
Anual	**22.9**	-	-	-	-	-

Tabla IV-11. Valores de Temperatura mínima (°C) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Juan Sarabia (23170)

Mes	Años analizados	Máx. (°C)	Fecha	Récord	Mín. (°C)	Fecha	Récord	Media (°C)	Desv. estándar
Ene	21	25	27/01/2024	No	7	28/01/2014	No	18.3	2.9
Feb	21	25	21/02/2019	Sí	8.5	14/02/2006	No	18.7	2.8
Mar	21	28	26/03/2024	No	10	03/03/2013	No	20	2.8
Abr	21	28	28/04/2024	Sí	13.7	24/04/2012	No	22	2.6
May	21	28	24/05/2015	Sí	16	09/05/2016	No	23.6	2.2
Jun	21	28	20/06/2019	Sí	20.2	27/06/2006	Sí	24	1.7
Jul	21	28	27/07/2020	No	19.5	12/07/2006	Sí	23.5	1.6
Agt	21	27.7	26/08/2006	No	7	23/08/2014	No	23.4	1.5
Sep	21	27	27/09/2017	Sí	20	14/09/2012	No	23.3	1.3
Oct	21	28	14/10/2023	No	13.5	27/10/2005	No	22.3	2
Nov	20	26	15/11/2019	Sí	10	22/11/2006	No	20.1	2.7
Dic	19	24.5	24/12/2015	No	9	27/12/2010	No	18.9	2.9

Régimen de Precipitación

La precipitación es la variable más crítica para la gestión del sistema hidrológico de la zona, ya que el Predio recibe los escurrimientos de la cuenca alta hacia la Laguna de Bacalar (Tablas IV.9 y Tabla IV.10).

Precipitación Normal Anual: La zona registra una media de 1285.8 mm en Chetumal y 1317.4 mm en Juan Sarabia.

Distribución Estacional: Ambas estaciones coinciden en un pico máximo de precipitación durante septiembre y octubre, con valores mensuales que superan los 200 mm.

Intensidad y Riesgos: Se han registrado eventos extraordinarios de precipitación diaria (hasta 400 mm en eventos de tormentas tropicales), lo que aumenta el riesgo de inundación en las partes bajas del predio y el aporte de sedimentos hacia los microbialitos.

Tabla IV-12. Valores de Precipitación (mm) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Chetumal (DGE) (23032)

Mes	Normal	Máx. mensual	Año máx.	Máx. diaria	Fecha máx. diaria	Años con datos
Ene	66.4	231.2	1994	78.9	ago-15	29
Feb	29.5	88.8	2002	43.6	20/1995	29
Mar	27.9	89	2014	70	22/2002	29
Abr	47.8	248.5	1996	110.5	14/2019	29
May	123.6	324.7	2014	131.5	31/2020	29
Jun	195.6	442	2016	204.3	17/2016	29
Jul	124.1	369.5	2013	128	mar-91	29
Ago	164.2	517.1	2001	212.1	21/2001	28
Sep	179.5	360.2	2010	165.7	15/2010	28
Oct	209.8	628.5	2015	165.7	18/2015	28
Nov	124	484.3	2020	103.4	17/1995	28
Dic	63.1	191.4	2015	113.5	19/2015	28
Anual	**1355.5**	-	-	-	-	-

Tabla IV-13. Valores de Precipitación (mm) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Juan Sarabia (23170)

Mes	Años analizados	Máx. (mm)	Fecha	Récord	Mín. (mm)	Fecha	Récord	Media (mm)	Desv. estándar
Ene	21	166.5	22/01/2024	No	0	08/01/2005	Sí	2	8.7
Feb	21	53.3	03/02/2014	No	0	01/02/2005	Sí	1.2	4.7
Mar	21	58.2	16/03/2007	No	0	01/03/2005	Sí	1	5.6
Abr	21	73.5	22/04/2017	No	0	03/04/2005	Sí	1.3	6.4
May	21	141.7	26/05/2012	No	0	01/05/2005	Sí	3.9	13.4
Jun	21	260	27/06/2026	No	0	01/06/2005	Sí	8.4	21.2
Jul	21	96.3	07/07/2012	No	0	01/07/2005	Sí	4.8	10.7
Agt	21	177.5	20/08/2007	No	0	07/08/2005	Sí	5.3	15.7
Sep	21	189.7	01/09/2022	No	0	02/09/2005	Sí	6.8	16.8
Oct	21	171.5	16/10/2015	No	0	07/10/2005	Sí	6.8	17.2
Nov	20	103.5	13/11/2019	No	0	08/11/2006	Sí	4.2	12.1
Dic	20	70.6	19/12/2015	No	0	04/12/2005	Sí	2.2	6.1

Evaporación y Humedad

La evaporación potencial en la zona es elevada, con un promedio anual de 1580 mm en Chetumal y 1630 mm en Juan Sarabia. Los valores de humedad relativa se mantienen por encima del 75% durante gran parte del año, alcanzando saturación (>90%) durante la temporada de lluvias y el paso de frentes fríos ("Nortes") .

El análisis comparativo permite concluir que el predio posee un microclima de transición. Mientras que la temperatura es regulada por la proximidad a los cuerpos de agua, el régimen de lluvias es intenso y capaz de generar variaciones súbitas en el nivel del agua del canal.

Tabla IV-14. Valores de Evaporación (mm) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Chetumal (DGE) (23032)

Mes	**Normal**	**Años con datos**
Ene	99.7	27
Feb	125.1	27
Mar	174.3	27
Abr	194.1	27
May	197.8	27
Jun	163.5	26
Jul	172.4	26
Ago	167.3	26
Sep	144.7	26
Oct	122.5	26
Nov	99.5	26
Dic	90.5	26
Anual	**1751.4**	-

Tabla IV-15.Valores de Evaporación (mm) en zona de influencia del predio Los Rápidos. Fuente de datos: CONAGUA, Base de Datos Climatológica Nacional. Estación Juan Sarabia (23170)

Mes	Años analizados	Máx. (mm)	Fecha	Récord	Mín. (mm)	Fecha	Récord	Media (mm)	Desv. estándar
Ene	20	9.07	18/01/2024	No	0.04	26/01/2019	No	2.2	1.1
Feb	20	6.86	27/02/2005	No	0.05	27/02/2020	No	3.1	1.2
Mar	19	9.55	30/03/2005	No	0.11	15/03/2015	No	4.6	1.3
Abr	20	12.61	27/04/2024	No	0.08	02/04/2005	No	5.5	1.3
May	20	9.31	24/05/2016	No	0.35	23/05/2014	No	5.4	1.5
Jun	19	9.86	22/06/2012	No	0.09	01/06/2020	No	4.6	1.8
Jul	18	9.58	29/07/2021	No	0.32	18/07/2012	No	4.6	1.6
Agt	20	8.65	28/08/2007	No	0.08	02/08/2011	No	4.4	1.6
Sep	20	20.71	17/09/2026	No	0.2	17/09/2013	No	4	1.6
Oct	20	8.86	23/10/2014	No	0.03	13/10/2007	No	3.3	1.5
Nov	19	8.37	25/11/2014	No	0.1	09/11/2013	No	2.5	1.2
Dic	18	5.87	31/12/2018	No	0.1	29/12/2016	No	1.8	1

Geomorfología y Suelos

El predio se localiza en el sur del estado de Quintana Roo, dentro de la provincia geológica de la Plataforma de Yucatán, una extensa unidad estructural caracterizada por el predominio de rocas carbonatadas de origen marino somero, depositadas durante el Cenozoico y cubiertas parcialmente por depósitos cuaternarios recientes.

De acuerdo con la información del Servicio Geológico Mexicano, el área de estudio se encuentra sobre una secuencia estratigráfica poco deformada, con presencia de estructuras tectónicas (fallas), lo que es consistente con el carácter estable de la plataforma y con procesos geológicos dominados por sedimentación, disolución kárstica y relleno reciente, característicos de la falla geológica que dio origen a la Laguna de Bacalar.

Unidades geológicas presentes en el predio

El predio se asienta sobre dos unidades geológicas principales, ambas de edad cenozoica, con características litológicas y estratigráficas contrastantes que condicionan el comportamiento hidrogeológico y geotécnico del área de influencia, el sistema ambiental y del sitio.



Imagen IV-14. Unidades geológicas presentes en el predio. Fuente: Datos: Servico Geológico Nacional. Creación propia.

TmCz – Formación Bacalar (límite oriente del predio)

La unidad geológica identificada como TmCz, correspondiente a la Formación Bacalar, se encuentra presente en el límite oriente del predio, colindante con la laguna de Bacalar, ocupando una superficie aproximada de 80.3 hectáreas. De acuerdo con la cartografía geológica del Servicio Geológico Mexicano, esta unidad constituye una unidad estratigráfica de edad miocénica, depositada durante el Periodo Terciario del Cenozoico (Imagen IV.3).

Litológicamente, la Formación Bacalar está compuesta predominantemente por calizas de origen sedimentario, formadas en ambientes marinos someros, característicos de la evolución de la Plataforma de Yucatán durante el Mioceno. Estas calizas presentan una composición rica en

carbonato de calcio, con texturas que pueden variar de masivas a finamente estratificadas, y con un grado de compactación que oscila de medio a alto.

Desde el punto de vista geológico, esta unidad representa el basamento carbonatado regional, sobre el cual se desarrollan los procesos kársticos que caracterizan al sur de Quintana Roo. La naturaleza carbonatada de la roca la hace altamente susceptible a procesos de disolución química, especialmente en presencia de aguas ligeramente ácidas, lo que favorece el desarrollo de fracturas, fisuras y conductos subterráneos.

La presencia de la Formación Bacalar en el predio es particularmente relevante, ya que estas calizas miocénicas presentan alta permeabilidad secundaria, controlada principalmente por el grado de fracturamiento y por la existencia de fallas geológicas asociadas. Esta condición confiere a la unidad un papel fundamental en la circulación del agua subterránea, actuando como medio de transmisión directa entre el acuífero regional y los cuerpos de agua superficiales adyacentes. En términos estratigráficos, la unidad TmCz subyace a los depósitos cuaternarios recientes presentes en otras porciones del predio, lo que refleja una evolución geológica dominada por la estabilidad estructural de la plataforma, seguida por procesos de sedimentación superficial y relleno durante el Cuaternario.

En conjunto, la Formación Bacalar (TmCz) constituye la unidad geológica condicionada tanto la morfología del terreno como su comportamiento hidrogeológico. Su presencia implica una alta sensibilidad ambiental, especialmente en relación con el manejo del suelo y del agua, lo que debe ser considerado de manera prioritaria. La presencia de esta unidad en el límite poniente del predio, donde se ubica la planicie sedimentaria y el humedal, indica que el área se encuentra directamente relacionada con el sistema kárstico regional, que controla la dinámica del agua subterránea y la conectividad hidrológica con la Laguna de Bacalar.

Qhoal – Depósitos aluviales holocénicos (límite poniente del predio)

La unidad geológica identificada como Qhoal, correspondiente a depósitos aluviales de edad holocénica, se localiza en el límite oriente del predio, ocupando una superficie aproximada de 97.1 hectáreas. De acuerdo con la cartografía del Servicio Geológico Mexicano, esta unidad forma parte de los depósitos cuaternarios recientes desarrollados durante el Holoceno, dentro de la Era Cenozoica (Imagen IV.3).

Desde el punto de vista litológico, la unidad Qhoal está constituida por materiales aluviales de origen sedimentario, depositados por la acción de corrientes superficiales y procesos de escurrimiento asociados a la dinámica hidrológica reciente. Estos depósitos se caracterizan por presentar una consolidación baja a nula, así como una granulometría variable, que puede incluir arenas, limos y arcillas de composición predominantemente carbonatada, derivadas de la erosión y redistribución de las calizas subyacentes.

Al no corresponder a una formación estratigráfica formal, estos materiales se agrupan como depósitos recientes, cuyo espesor y distribución lateral pueden variar significativamente dentro del predio. En términos estratigráficos, los depósitos aluviales holocénicos recubren parcialmente el basamento carbonatado miocénico, funcionando como una capa superficial que media la interacción entre los procesos geológicos actuales y la roca caliza subyacente.

Desde una perspectiva geológica y ambiental, la unidad Qhoal presenta permeabilidad media a alta, condicionada por su grado de compactación y por la proporción relativa de materiales finos. Esta característica favorece la infiltración del agua de lluvia, aunque de manera más lenta que en las calizas fracturadas, y contribuye a la recarga del acuífero regional.

La presencia de estos depósitos en el límite oriente del predio está asociada a zonas de baja pendiente y acumulación sedimentaria, que pueden ser susceptibles a inundaciones temporales, cambios en el nivel freático y procesos de reacomodo del material superficial. Asimismo, su naturaleza no consolidada implica una menor capacidad de carga geotécnica, lo que requiere especial atención en actividades que impliquen modificación del suelo.

En conjunto, los depósitos aluviales holocénicos (Qhoal) representan la expresión más reciente de la evolución geológica del área, reflejando la interacción continua entre procesos hidrológicos superficiales, sedimentación y dinámica kárstica subyacente. Su distribución y características condicionan de manera directa el comportamiento hidrológico y ambiental del límite oriente del predio, lo que resulta particularmente relevante en el contexto de planeación territorial y regularización ambiental.

La presencia de depósitos aluviales en el límite oriente del predio indica una zona de transición entre ambientes continentales recientes y el sistema lagunar, actuando como interfaz entre procesos superficiales y subterráneos.

Qholg – Depósitos lagunares holocénicos

Es la unidad geológica colindante (fuera del predio). Se ubica en la zona del Estero de Chac, al otro lado del canal de Los Rápidos (límite poniente). La unidad geológica identificada como Qholg, correspondiente a depósitos lagunares de edad holocénica, se localiza en el Estero de Chac, al otro lado del canal de Los Rápidos, en el límite poniente del predio, formando parte de la zona colindante, aunque no incluida dentro del área del proyecto. De acuerdo con la cartografía del Servicio Geológico Mexicano, esta unidad se clasifica como un depósito reciente del Cuaternario, desarrollado durante el Holoceno dentro de la Era Cenozoica.

Desde el punto de vista litológico, los depósitos lagunares están constituidos por sedimentos finos de origen sedimentario, típicos de ambientes de baja energía hidrodinámica, donde predominan procesos de decantación. Estos materiales suelen estar conformados por limos y arcillas, con un alto contenido de carbonatos y materia orgánica, derivados tanto de la producción biogénica local como del aporte de materiales finos provenientes del entorno terrestre y subacuático.

Al tratarse de depósitos recientes, la unidad Qholg presenta un bajo grado de consolidación, con propiedades físicas altamente variables en función de la dinámica lagunar, las fluctuaciones del nivel del agua y los pulsos de sedimentación. En términos estratigráficos, estos sedimentos se disponen sobre el basamento carbonatado subyacente, rellenando depresiones y zonas de debilidad estructural asociadas a fallas y fracturas del sistema kárstico regional.

La ubicación de esta unidad en el Estero de Chac resulta geológicamente relevante, ya que estos depósitos reflejan la interacción directa entre el sistema lagunar y el acuífero regional, funcionando como una interfaz entre procesos hidrológicos superficiales y subterráneos. Su presencia evidencia condiciones de alta conectividad hídrica, particularmente a través del canal de Los Rápidos, el cual actúa como un conducto natural de intercambio de agua.

Desde una perspectiva ambiental, los depósitos lagunares holocénicos constituyen una unidad de alta sensibilidad, debido a su baja capacidad de carga, su función como área de acumulación de sedimentos finos y su estrecha relación con la calidad del agua lagunar. Aunque no forman parte directa del predio, su proximidad inmediata implica que cualquier modificación del entorno terrestre o del flujo hídrico puede incidir de manera indirecta en su dinámica sedimentaria y ecológica.

Aunque esta unidad no forma parte del predio, su proximidad inmediata es geológicamente relevante. Los depósitos lagunares holocénicos están compuestos por sedimentos finos, ricos en carbonatos y materia orgánica, asociados a ambientes de baja energía hidrodinámica. Estos

depósitos reflejan la conectividad directa entre el predio y el sistema lagunar, reforzando la importancia del contexto hidrogeológico y la sensibilidad ambiental del área, especialmente ante cambios en el uso del suelo.

En conjunto, la unidad Qholg – depósitos lagunares holocénicos representa la expresión más reciente de la evolución geológica del sistema lagunar adyacente al predio Los Rápidos, y constituye un elemento clave para la interpretación integrada del contexto geológico, hidrológico y ambiental del área de estudio donde los microbialitos tienen una función determinante en la construcción de este tipo de depósitos.

Este predio se localiza en una zona de contacto entre roca carbonatada miocénica (Formación Bacalar) y depósitos cuaternarios recientes, lo que genera un sistema geológico e hidrogeológico particular. De manera integrada, el marco geológico indica:

- Dominio de rocas sedimentarias carbonatadas, sin presencia de rocas ígneas o metamórficas.
- Presencia de fallas mayores, coherente con la historia geológica de esta zona de la Plataforma de Yucatán.
- Alta conectividad vertical y horizontal del agua, favorecida por la combinación de calizas kársticas y depósitos no consolidados.
- Condiciones que requieren especial atención en proyectos de regularización o desarrollo,
- debido a la vulnerabilidad del acuífero y del sistema lagunar adyacente.

Tabla IV-16. Fichas geologica del predio Los Rápidos. Fuente de datos: Servicio Geológico Mexicano.

Clave:	**TmCz**	**Clave:**	**Qhoal**
Superficie del predio: 80.3 ha		Superficie del predio: 97.1 ha	
Ubicación: límite poniente		Ubicación: límite oriente	
Litología:	Caliza	Litología:	Aluvial
Roca:	Sedimentaria	Roca:	Sedimentaria
Formación:	Bacalar	Formación:	No aplicable
Era:	Cenozoico	Era:	Cenozoico
Periodo:	Terciario	Periodo:	Cuaternario
Edad inicial:	Mioceno	Edad inicial:	Holoceno
Edad final:	Mioceno	Edad final:	Holoceno
Tipo de unidad:	Unidad Estratigráfica	Tipo de unidad:	Depósito Reciente

Tabla IV-17. Ficha geológica del Estero de Chac. Predo en la zona de influencia de los Rápidos. Fuente de datos: Servicio Geológico Mexicano.

Clave:	**Qholg**
Zona colindante	
Ubicación: Estero de Chac al otro lado del canal de Los Rápidos límite poniente (no es parte del predio)	
Litología:	Lagunar
Roca:	Sedimentaria
Formación:	No aplicable

Era:	Cenozoico
Periodo:	Cuaternario
Edad inicial:	Holoceno
Edad final:	Holoceno
Tipo de unidad:	Depósito Reciente

Geología estructural y relación con la dinámica lagunar



Imagen IV-15. Sistema de fallas de la Laguna de Bacalar (Sistema Rio Hondo Bacalar) que atravieza el predio.

El predio Los Rápidos se localiza dentro de un contexto geológico y estructural directamente influenciado por el sistema de fallamiento regional que dio origen a la Laguna de Bacalar, el cual constituye el principal elemento de control sobre la geomorfología, la hidrología subterránea y la dinámica lagunar del área. De acuerdo con la interpretación de cartografía del Servicio Geológico Mexicano y el análisis espacial mostrado en la imagen, el predio se encuentra atravesado y colindante con dos fallas geológicas normales, representadas por trazas estructurales de orientación predominante N–S a NNE–SSW, las cuales forman parte de un mismo sistema tectónico regional.

Estas fallas corresponden a segmentos estructurales asociados a lla Falla Normal Arroyo Hondo, localizada hacia el sector poniente, y la Falla Normal Bacalar, asociada directamente al borde estructural del sistema lagunar. Ambas fallas no deben interpretarse como estructuras aisladas, sino como componentes del sistema extensivo cenozoico que generó bloques hundidos (grabenes) y

bloques relativamente elevados (horsts), dando lugar a la depresión tectónica donde actualmente se aloja la Laguna de Bacalar.

El sistema de fallas condiciona la distribución y el contacto entre las unidades geológicas presentes en el predio y su entorno inmediato. En el límite poniente del predio, la unidad TmCz – Formación Bacalar (Mioceno), compuesta por calizas sedimentarias, se encuentra estructuralmente afectada por la falla normal Arroyo Hondo. Estas calizas, aunque consolidadas, presentan fracturamiento tectónico que incrementa la permeabilidad secundaria, favoreciendo procesos de disolución kárstica y la circulación subterránea del agua.

Hacia el límite oriente del predio, la unidad Qhoal – depósitos aluviales holocénicos se dispone sobre zonas estructuralmente deprimidas, asociadas al desplazamiento vertical generado por el sistema de fallas. La acumulación de sedimentos recientes en esta zona es consecuencia directa de la subsidencia tectónica y de la dinámica hidrológica superficial y subterránea controlada por la estructura geológica.

La presencia de estas fallas geológicas tiene un papel fundamental en el funcionamiento ambiental del área, particularmente en la conectividad entre el acuífero regional y la Laguna de Bacalar, la circulación preferencial del agua subterránea a través de zonas fracturadas y la explicación del flujo acelerado del agua en el canal de Los Rápidos, que da nombre al sitio.

Las fallas actúan como conductos hidráulicos naturales, facilitando el intercambio de agua entre las unidades carbonatadas profundas y los depósitos superficiales, lo que explica la alta transparencia del agua y la dinámica constante del sistema, incluso en periodos de estiaje.

En conjunto, el predio Los Rápidos se localiza en una zona de transición estructural, donde convergen calizas miocénicas fracturadas de la Formación Bacalar, depósitos aluviales holocénicos poco consolidados, y depósitos lagunares recientes asociados al sistema de la Laguna de Bacalar.

Este contexto confirma que la estructura geológica es el principal factor controlador del sistema ambiental, condicionando la geomorfología, la hidrología, la distribución de sedimentos y la sensibilidad ambiental del área, aspecto fundamental para la evaluación de impactos y la definición de medidas de manejo ambiental.

Topografía

El predio posee una marcada diferenciación, una zona de meseta y escarpe al poniente, con una elevación máxima. El perfil inicia en el extremo norponiente con una cota máxima de 34 metros sobre el nivel del mar (msnm). Se observa una pequeña zona de meseta que súbitamente presenta una pendiente pronunciada (escarpe). Esta caída de relieve coincide con la proximidad a la carretera y marca el límite entre la selva alta y la zona de transición donde se encuentra depósitos aluviales holocénicos (Qhoal). Seguida de una pendiente, en este tramo se registra la inclinación más fuerte del perfil (2.8%), lo que indica un descenso rápido de los 34 msnm hasta estabilizarse cerca de los 10 msnm.

Al otro lado del canal de Los Rápidos, en el Estero de Chac, se desarrollan los depósitos lagunares holocénicos (Qholg), los cuales se encuentran directamente vinculados al bloque hundido principal del sistema. La traza de la falla normal Bacalar coincide con el límite estructural del cuerpo lagunar, confirmando su papel como elemento geológico determinante en la configuración de la laguna.
La segunda parte es una zona de planicie de escurrimiento hacia la colindancia con el canal de Xul Ha. La elevación media, atraviesa gran parte del área de depósitos aluviales holocénicos (límite oriente del predio), la elevación se mantiene constante entre los 8 y 10 msnm en la zona geológica de la formación Bacalar (límite oriente del predio).

Esta es una zona de planicie con pendiente mínima (casi nula), lo que sugiere que es un área receptora de humedad, donde se encuentra la zona de humedal, del predio. Debido a su baja elevación respecto al punto de inicio, el predio funciona naturalmente como una zona de tránsito de escurrimientos pluviales que bajan desde la meseta hacia la laguna.

Existe una zona de transición y ribera presenta un descenso gradual: Se observa un suave descenso final que lleva la elevación de los 8 msnm hasta los 2-4 msnm al aproximarse al margen del canal de Los Rápidos. Esta sección representa el ecotono entre la selva secundaria /zona en regeneración y el humedal litoral. La zona Lagunar y desembocadura posee una elevación mínima con un perfil termina en la cota de 0-2 msnm, correspondiente al nivel del espejo de agua de la Laguna de Bacalar.

En este punto final es donde se localizan los microbialitos. La diferencia de nivel total de 34 metros desde el inicio del perfil hasta la laguna confirma que el predio tiene una función crítica en el filtrado de agua: cualquier actividad en la zona alta (NW) tendrá un impacto directo por gravedad hacia la zona de los microbialitos (SE). El corte topográfico del predio Los Rápidos en su gradiente descendente de noroeste a sureste. Esta configuración de "escalón" o escarpe seguido de una amplia planicie baja confirma que el sitio es una zona de depósito y flujo hídrico.

Caracterización Microtopográfica

Límite Norte del Predio

El relieve en el sector norte del predio es la variable física más relevante para justificar la permanencia de las obras. Este perfil describe un gradiente de "escalón estructural" que condiciona el movimiento de sedimentos y agua hacia el canal (Imagen IV.5 y Tabla IV.15). El relieve del predio en su sección norte se define como un sistema de gradiente coluvial-lagunar con una longitud de 2,108.23 metros. El terreno presenta un descenso total de 32 metros, configurando una cuenca de captación que drena directamente hacia el canal de Los Rápidos.

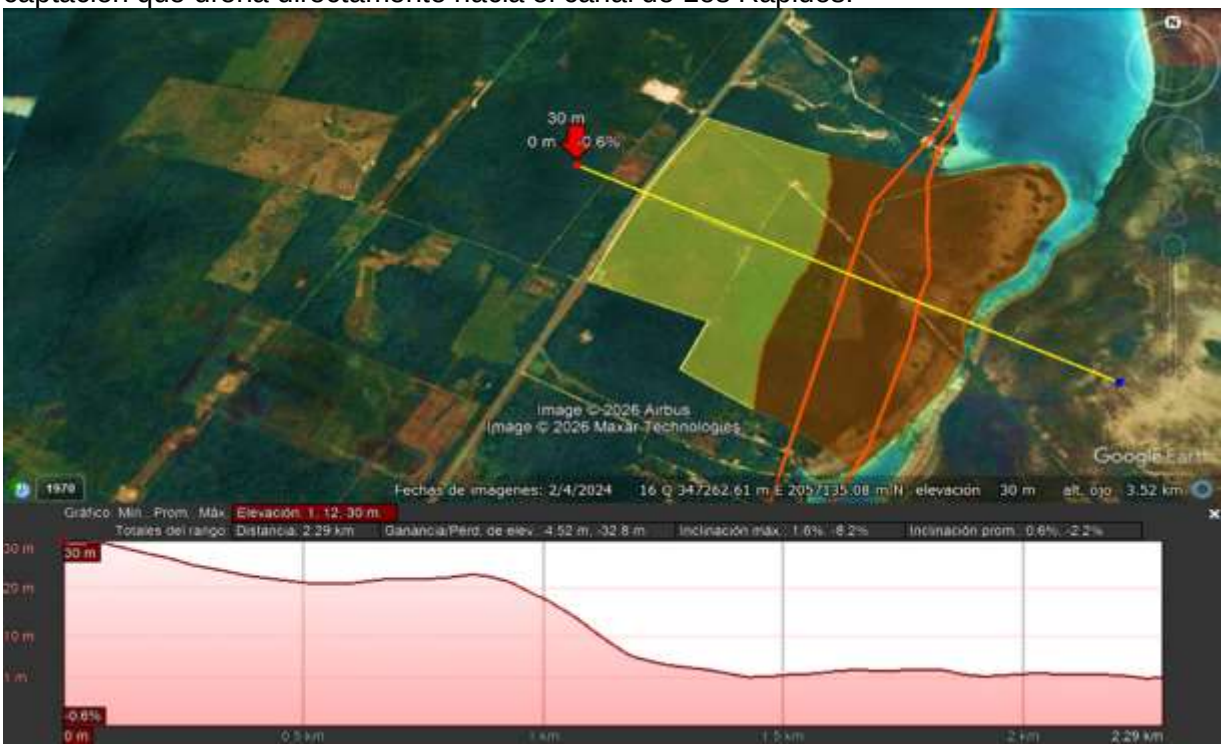


Imagen IV-16. Perfil de elevación del límite norte del predio los Rápidos. Fuente de datos e imagen: Google Earth.

I. Zona de Meseta y Captación Alta (0.0 - 500.0 m). Cota inicial: 34 msnm (Nivel de la Carretera Federal). El perfil inicia en una plataforma estable de selva mediana. Esta es la zona de mayor energía potencial del sistema. Topográficamente, funciona como el área de recarga que capta la mayor cantidad de agua pluvial, la cual es enviada por gravedad hacia las instalaciones del predio.

II. Escarpe de Falla y Pendiente Crítica (500.0 - 1,100.0 m). Desnivel: De 34 msnm a 12 msnm. Pendiente: Se registra una inclinación máxima del 2.8%. Es el tramo de mayor fragilidad. La caída abrupta de 22 metros de altura genera una zona de tránsito hídrico acelerado. Para la regularización, este escarpe actúa como la "cuenca alta" del predio; la conservación de su cobertura vegetal es lo que impide que los sedimentos se desplacen masivamente hacia la infraestructura y la laguna.

III. Llanura de Depósito y Terrazas Operativas (1,100.0 - 1,950.0 m). Cota media: 8 a 10 msnm. Posee una morfología de planicie de inundación extendida de casi 850 metros de largo. Al ser un terreno con pendiente mínima (< 1%), la energía del agua proveniente del escarpe se disipa. Esta planicie es un filtro biológico natural: el agua se detiene y se infiltra en el subsuelo kárstico antes de tocar la laguna, protegiendo la calidad del agua.

IV. Ecotono de Ribera y Hábitat de Microbialitos (1,950.0 - 2,108.23 m). Cota final: 2 msnm (Nivel de Base). Cuenta con un punto crítico ya uqe el perfil concluye en la ribera del canal.

Tabla IV-18. Resumen Técnico de Pendientes del límite norte

Unidad Morfológica	Elevación (msnm)	Distancia Acumulada	Pendiente Media
Meseta (Acceso)	34	0 - 500 m	Plana (0.5%)
Escarpe (Transición)	34 a 12	500 - 1,100 m	Moderada (2.8%)
Planicie (Obras)	12 a 8	1,100 - 1,950 m	Mínima (<1%)
Ribera (Laguna)	2	1,950 - 2,108 m	Nivel de Base

Porción Central del Predio (Eje Carretera-Laguna)

El perfil de elevación en la zona central del predio presenta una longitud de 1.39 km (1,390 metros). A diferencia de los límites norte y sur, la porción central exhibe una transición más abrupta entre la meseta y la llanura de inundación, lo que define la dinámica de escurrimientos en el corazón del área operativa (Imagen IV.6; Tabla IV.16).

1. Meseta de Acceso y Captación (0 - 550 m): Elevación Máxima: El perfil inicia en la cota de 24 msnm en las proximidades de la vía de comunicación. Morfología: Se observa una superficie relativamente estable con ligeras ondulaciones. Esta zona actúa como la plataforma de captación pluvial primaria que alimenta por gravedad a las zonas bajas del predio.

2. Escarpe Central y Pendiente Acentuada (550 - 900 m): Desnivel: En un tramo corto de aproximadamente 350 metros, el terreno desciende de los 22 msnm hasta alcanzar los 10 msnm. Inclinación: Se registra una pendiente de -6.7% (punto crítico a los 784 m). Esta es la zona de mayor energía potencial en la porción central. Al ser un descenso más pronunciado que en otros sectores, funciona como un canal natural de aceleración de flujos.

3. Llanura de Transición e Infiltración (900 - 1,250 m): Cota: El terreno se estabiliza rápidamente en una plataforma de entre 8 y 9 msnm. Función Ambiental: En esta unidad, la pendiente se reduce drásticamente a menos del 1%. Esta planicie es fundamental para la regularización, ya que permite que el agua proveniente del escarpe pierda velocidad y se infiltre en el suelo kárstico, actuando como un filtro natural antes de llegar a la laguna.



Imagen IV-17. Porción Central del Predio (Eje Carretera-Laguna). Fuente de datos para análisis e imagen: Google earth.

La porción central del predio presenta una configuración de vertiente eficiente. El diseño de la infraestructura a regularizar aprovecha el escalonamiento natural del terreno: la zona de meseta para acceso, el escarpe como zona forestal de protección.

Tabla IV-19. . Resumen Técnico de Pendientes de la zona centro del predio

Tramo	**Referencia Geográfica**	**Elevación**	**Pendiente Local**
Inicio	Carretera (Poniente)	24 msnm	0.70%
Cuerpo	Escarpe Central	10 msnm	-6.7% (Máxima)
Base	Planicie de Obras	8 msnm	0.70%
Término	Laguna (Oriente)	2 msnm	Nivel de Base

Límite Sur del Predio (Eje Carretera-Laguna)

El perfil de elevación en el límite sur del predio abarca una distancia horizontal de 1.49 km (1,490 metros). Esta sección presenta el gradiente más suave en comparación con el norte y centro del predio, lo que sugiere una zona de mayor estabilidad hidrodinámica pero con una relación estrecha con el nivel freático (Imagen IV.7; Tabla IV.17). Componentes:

1. Meseta de Acceso Sur (0 - 500 m): Elevación inicial: Inicia en una cota máxima de 24 msnm. Morfología: Se observa una meseta con relieve ondulado pero con una pendiente general mínima de -0.7%. Esta unidad representa la zona de captación alta que, dada su baja inclinación inicial, permite una infiltración pluvial considerable antes de iniciar el descenso hacia el oriente del predio.

2. Escarpe de Transición Sur (500 - 950 m): Descenso: El terreno baja de los 20 msnm hasta estabilizarse en los 8 msnm. Inclinación: Presenta una pendiente moderada con un valor promedio del -3.1% y ráfagas de inclinación máxima de -11.6% en tramos cortos. Aunque es un descenso significativo, es más gradual que en la sección central. Funciona como una zona de tránsito hídrico donde la cobertura vegetal existente es vital para frenar la velocidad del agua y evitar el acarreo de sedimentos hacia la parte operativa baja.

Tabla IV-20. Resumen Técnico de Pendientes del eje carretera laguna (Límite Sur)

Tramo	**Referencia**	**Elevación**	**Pendiente**
Punto Alto	Carretera (SW)	24 msnm	-0.70%
Zona Media	Escarpe de Transición	20 a 8 msnm	-3.1% (Promedio)
Zona Baja	Predio / Ribera	8 a 2 msnm	< 1%
Terminal	Laguna (NE)	2 msnm	Nivel de Base

3. Planicie de Inundación Costera (950 - 1,490 m): Elevación: El terreno entra en una fase de llanura absoluta con cotas entre los 2 y 8 msnm. Esta sección final de aproximadamente 540 metros de largo es casi plana. Al ser el límite sur, esta llanura funciona como el último filtro de sedimentos. Su proximidad al nivel del mar indica que es la zona con el nivel freático más somero del predio.

El análisis del límite sur revela un desnivel total de 22 metros. La configuración topográfica en este sector es menos agresiva que en el centro del predio, lo que favorece una escorrentía laminar y difusa.

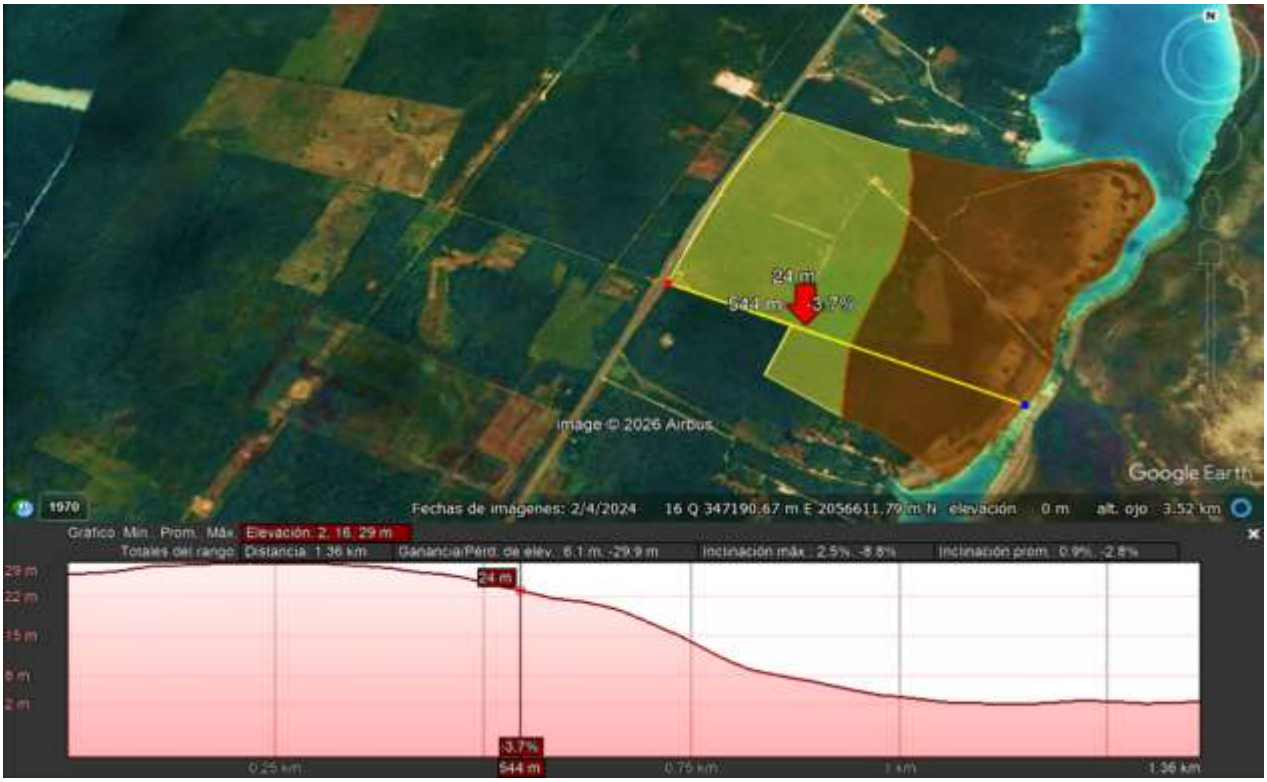


Imagen IV-18. Límite Sur del Predio (Eje Carretera-Laguna)

Límite Sur (Interior del Predio a la Laguna)

El relieve en la sección sur del predio presenta una configuración de ladera suave con transición a llanura costera. A diferencia de las secciones norte y central, este perfil describe una pendiente más homogénea, lo que reduce la velocidad de los escurrimientos superficiales. Componentes:

I. Zona de Transición y Ladera (0 - 450 m). Cota Inicial: El perfil comienza en el interior del predio a una elevación de 31 msnm. Pendiente Local: A los 364 metros del recorrido, se identifica un punto de control con una cota de 12 msnm y una inclinación de -7.5%. Esta sección representa el área de mayor gradiente en el límite sur. Actúa como una zona de tránsito donde el agua de lluvia fluye por gravedad desde las zonas altas del interior hacia la ribera. La pendiente moderada favorece un flujo constante pero menos torrencial que en la zona central.

II. Llanura de Infiltración y Amortiguamiento (450 - 700 m). Elevación: El terreno desciende por debajo de los 10 msnm, estabilizándose en una plataforma de baja energía. Morfología: Se observa una reducción drástica de la inclinación. Esta unidad es crítica para la regularización, ya que funciona como una "trampa natural". La baja pendiente permite que el agua pierda velocidad, facilitando que los sedimentos se asienten e incrementando la infiltración hacia el acuífero kárstico antes de llegar al cuerpo lagunar.

III. Ecotono Ribereño y Desembocadura (700 - 767 m). Cota Final: El perfil concluye en los 1 a 2 msnm al contacto con el canal de Los Rápidos. Relación con los Microbialitos: Este último tramo representa el nivel de base local. La diferencia total de 30 metros de altura en menos de un kilómetro asegura un drenaje eficiente.

Tabla IV-21. Resumen Técnico de Pendientes del Límite Sur - Tramo Interno

Punto de Control	Distancia Acumulada	Elevación	Inclinación Local
Inicio (Interior)	0 m	31 msnm	N/A
Punto de Quiebre	364 m	12 msnm	-7.50%
Llanura Baja	600 m	5 msnm	< 1%
Término (Laguna)	767 m	1 msnm	Nivel de Base

La topografía del límite sur demuestra que el predio posee una capacidad de regulación hídrica natural. El gradiente de -7.5% indica que, aunque hay un desnivel considerable, existe una zona de llanura baja lo suficientemente amplia para disipar la energía del agua, con un área extensa de humedal.

Análisis Topográfico Integral del Predio Los Rápidos

La topografía del predio se define como un sistema de gradiente kárstico escalonado, caracterizado por una serie de mesetas que descienden de manera abrupta hacia una planicie de inundación litoral. La diferencia de elevación entre la zona continental (carretera) y el nivel de base (laguna) establece un flujo hídrico predominante de Poniente a Oriente.

La integración de los perfiles demuestra que el Predio Los Rápidos posee una configuración natural que favorece el drenaje hacia el Oriente. La existencia de una llanura de inundación (cota 2-10 msnm) en todos los perfiles seguido de una amplia zona de humedales, actúa como un mecanismo de protección para los microbialitos, ya que disipa la energía de los escurrimientos provenientes de la carretera y las zonas altas.

Batimetría y Geomorfología del canal de Los Rápidos

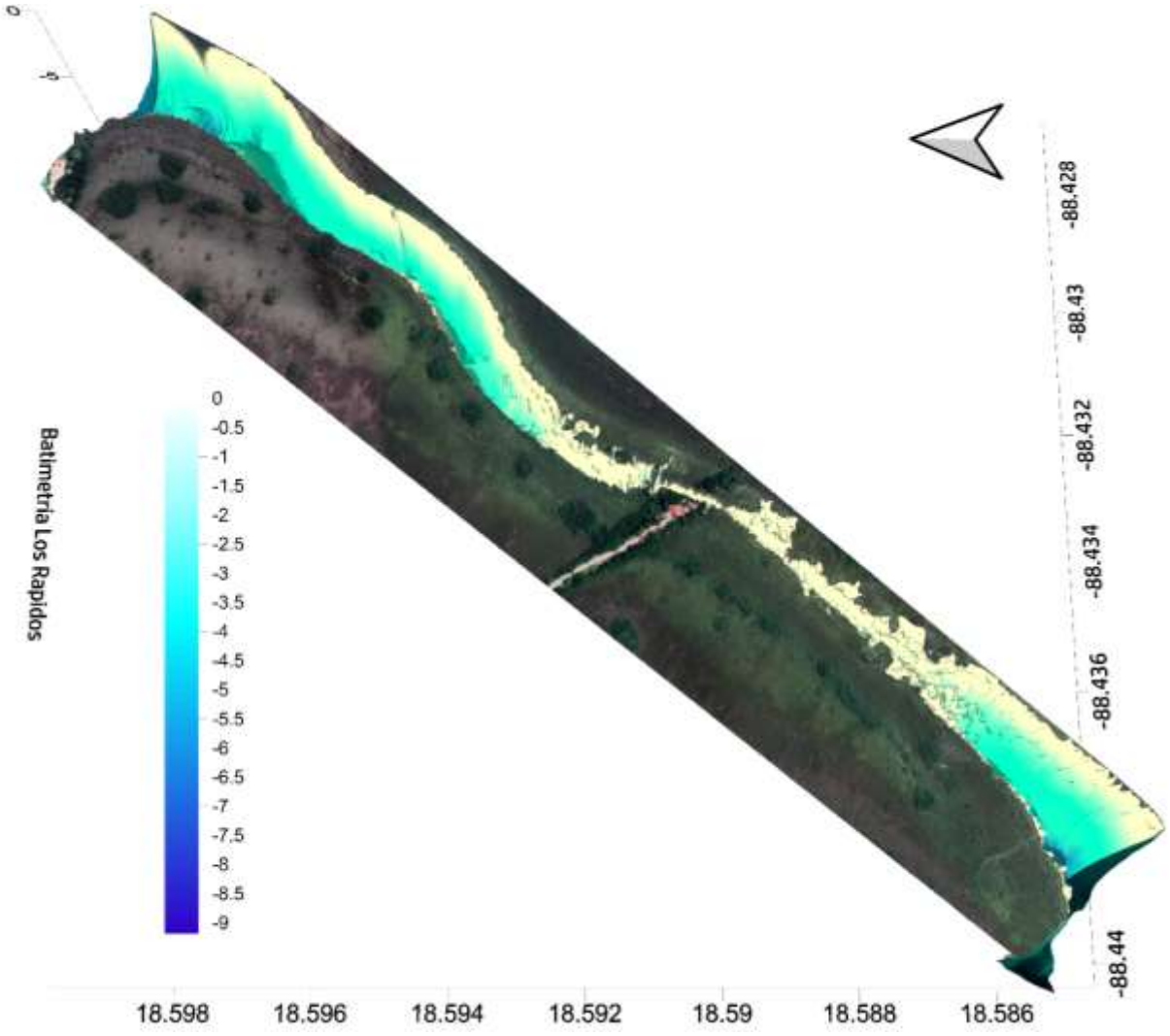


Imagen IV-19. Modelo 3D de batimetría del Canal de los Rápidos. Fuente: Estudio batimétrico de Los Rápidos.

El canal Los Rápidos constituye un elemento clave en la funcionalidad hidrológica y ecológica del sistema lagunar Bacalar–Xul-Ha, al actuar como el principal conector de flujo superficial entre ambos cuerpos de agua. Su comportamiento hidráulico, su morfología subacuática y su relación con los procesos biogeoquímicos que ocurren en el lecho y las márgenes determinan no solo la dinámica del agua, sino también la distribución de microbialitos, la evolución de los humedales adyacentes y la conectividad ecológica regional.

En este contexto, la comprensión adecuada del canal no puede basarse únicamente en observaciones superficiales, ya que una parte sustantiva de los procesos que controlan su funcionamiento ocurre bajo la columna de agua. Cambios relativamente pequeños en la profundidad, el ancho efectivo del canal o la rugosidad del lecho pueden traducirse en variaciones significativas en la velocidad del flujo, la sedimentación y la evolución geomorfológica del sistema.

Por esta razón, fue indispensable realizar una caracterización batimétrica detallada[7], que permitiera documentar con precisión el relieve subacuático del canal, identificar unidades morfológicas diferenciadas y analizar su relación con la dinámica hidrológica actual. La batimetría constituye una herramienta fundamental para reconocer procesos de encajonamiento del flujo, pérdida progresiva de sección hidráulica, formación de pozas, escalones y zonas someras, así como para evaluar la influencia de las estructuras biogénicas -principalmente los microbialitos- en la configuración del canal.

Adicionalmente, la caracterización geomorfológica se integró con las observaciones de campo realizadas por los consultores, quienes documentaron patrones de sedimentación fina, acumulación de materia orgánica y redistribución de materiales en distintos sectores del canal. Estos procesos, aunque naturales, adquieren relevancia ambiental al interactuar con la morfología existente y con la dinámica de retroalimentación positiva que caracteriza al sistema, pudiendo influir en la reducción gradual del flujo si no son comprendidos adecuadamente.

En conjunto, la información batimétrica y geomorfológica permitió establecer una línea base robusta, indispensable para interpretar los procesos actuales, evaluar tendencias de cambio y sustentar cualquier propuesta de manejo orientada a conservar la funcionalidad hidráulica y ecológica del canal Los Rápidos. Sin este conocimiento, las decisiones de gestión se basarían en percepciones parciales del sistema, con el riesgo de generar impactos indirectos o acumulativos no deseados.

La imagen tridimensional corresponde al modelo de batimetría del canal conocido como Los Rápidos, localizado en el tramo de conexión natural entre la Laguna de Bacalar y la Laguna de Xul-Ha. Este modelo representa el relieve subacuático del fondo del canal y permite identificar con precisión las variaciones de profundidad, la morfología del lecho y su relación con los procesos hidrológicos y ecológicos del sistema lagunar.

Escala de profundidad y distribución batimétrica

En el eje vertical del modelo se muestra una escala cromática que indica la profundidad en metros, la cual permite diferenciar claramente las distintas unidades morfológicas del fondo:

0 a -2 metros (tonos blancos a turquesa claro): Corresponden a las zonas más someras del canal, asociadas a playones y bordes subacuáticos de baja profundidad. Estas áreas son ambientalmente relevantes, ya que albergan extensas colonias de microbialitos, cuya distribución está estrechamente vinculada a la disponibilidad de luz solar y a la circulación constante de agua rica en carbonatos.

-3 a -6 metros (tonos cian y azul medio): Representan el canal principal de flujo, donde se concentra la mayor energía hidráulica. En este sector se registra una corriente más rápida y constante, responsable del transporte de agua entre ambos cuerpos lagunares y de la oxigenación permanente del sistema.

-7 a -9 metros (tonos azul oscuro): Corresponden a las zonas de mayor profundidad, que pueden interpretarse como pozas, depresiones o cavidades generadas por procesos de disolución kárstica y erosión hidráulica sobre el sustrato de roca caliza. Estas formas son típicas de los sistemas carbonatados de la Península de Yucatán.

Geomorfología del canal y dinámica hidrológica

El modelo batimétrico evidencia que el canal de Los Rápidos presenta una estructura geomorfológica compleja, lejos de ser un conducto uniforme:

[7] Ver estudio batimétrico en anexos.

Encajonamiento del flujo

El agua circula a través de un canal estrecho y bien definido, lo que provoca un aumento significativo en la velocidad de la corriente. Este encajonamiento explica el carácter torrencial del flujo en este punto y su función como regulador hidráulico entre la Laguna de Bacalar y Xul-Ha.

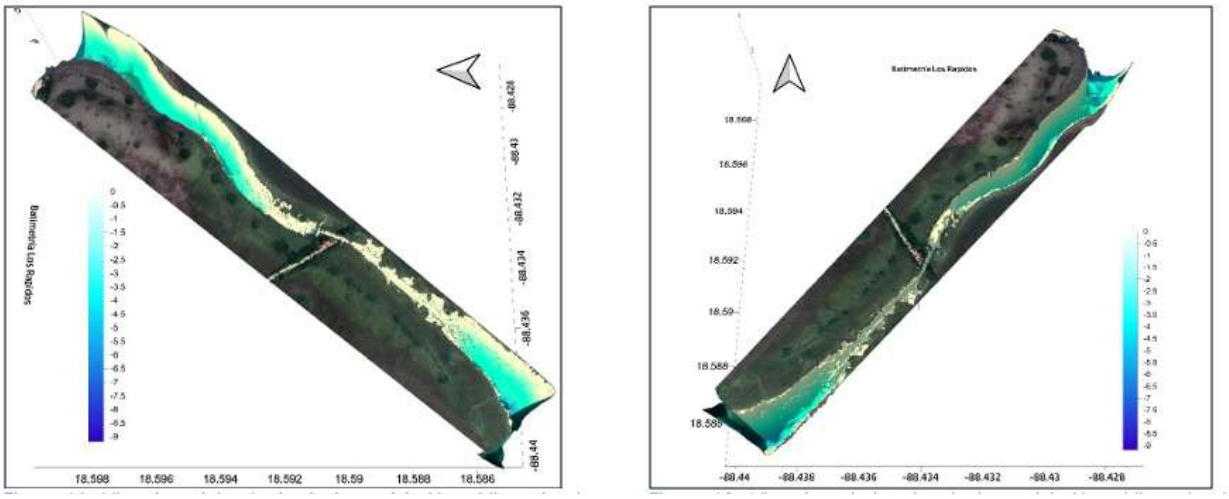


Imagen IV-20. Vista lateral izquierda y derecha de la modelación tridimensional batimétrica del área de estudio. Fuente: Elaboración propia del estudio batimétrico.

Paredes irregulares y rugosidad latera

Los márgenes del canal muestran formas irregulares, con salientes y estructuras rugosas que corresponden en gran medida a formaciones de microbialitos. Estas estructuras crecen tanto vertical como lateralmente hacia el centro del canal, reduciendo localmente su sección transversal y contribuyendo a la aceleración del flujo.

Relieve irregular del fondo

El lecho presenta cambios abruptos de profundidad, escalones y depresiones, lo que genera turbulencia y heterogeneidad hidráulica. Este patrón es característico de ambientes kársticos desarrollados sobre calizas fracturadas, donde la disolución química y el flujo subterráneo juegan un papel dominante en la configuración del relieve.

La configuración batimétrica y geomorfológica de Los Rápidos es un elemento clave para la funcionalidad ecológica del sistema lagunar. La combinación de zonas someras, corrientes aceleradas y variaciones abruptas de profundidad favorece:

- La circulación permanente de agua rica en minerales disueltos, esenciales para el crecimiento y mantenimiento de los microbialitos.
- La disponibilidad de luz en los bordes someros, condición indispensable para los procesos fotosintéticos de las comunidades microbianas.
- La oxigenación constante del agua y la estabilidad fisicoquímica del sistema, incluso durante periodos de estiaje.

Microbialitos

Los microbialitos presentes en el canal de Los Rápidos y en genral a lo largo del canal de Xul Ha al sur y la Laguna de Bacalar al norte, constituyen uno de los elementos geológicos y biosedimentarios más relevantes del sistema lagunar Bacalar–Xul-Ha. Se trata de estructuras carbonatadas biogénicas, formadas por la interacción entre comunidades microbianas y procesos fisicoquímicos que inducen la precipitación de carbonato de calcio a lo largo de escalas temporales prolongadas.

Para efectos del presente apartado, el análisis se enfoca en su componente físico–estructural, considerando su papel como unidades geomorfológicas que influyen en la configuración del canal, la dinámica de flujo y los procesos de sedimentación.

Enel apartado de medio biótico describiremos el componente de tapete microbialítico, conformado por microorganismos.

Distribución y morfología

En Los Rápidos, los microbialitos se distribuyen principalmente en las zonas someras del canal, generalmente entre 0 y 3 metros de profundidad, donde la penetración de la luz solar permite la fotosíntesis. Se presentan en una estructura tipo arrecife, como domos, crestas, columnas y estructuras irregulares que bordean el canal y, en algunos sectores, avanzan hacia su interior.



Imagen IV-21. Morfologia de microbialitos en el canal. Imagen de dron, creación propia.

Su crecimiento lateral y vertical contribuye de manera directa a la configuración geomorfológica del canal, estrechando el paso del agua y favoreciendo la aceleración del flujo. Esta interacción entre estructura biológica y dinámica hidráulica es una de las características distintivas de Los Rápidos.

Adicionalmente, en las zonas norte y sur del canal -donde este se ensancha y se conecta con cuerpos lagunares adyacentes- se observan atolones microbianos de hasta aproximadamente 3 m de diámetro, los cuales forman estructuras tipo arrecife discontinuo.

Estas formaciones no solo delimitan el canal, sino que constituyen extensiones del sistema microbialítico hacia el entorno lagunar, evidenciando que la dinámica de formación no se restringe al canal, sino que forma parte de un sistema geomorfológico más amplio.

Los atolones y estructuras arrecifales periféricas desempeñan un papel relevante en la dinámica del sistema, al actuar como zonas de disipación de energía hidráulica, puntos de retención de sedimentos, generadores de heterogeneidad en el flujo y base estructural para el desarrollo de microhábitats acuáticos.

Su presencia refuerza la interpretación del sistema como una unidad morfodinámica integrada, en la que el canal y las zonas lagunares adyacentes funcionan de manera interconectada.

Relación con la hidrodinámica y la geología

El desarrollo de los microbialitos está estrechamente vinculado a la dinámica hidrológica controlada por el sistema de fallas geológicas de la región. Las fracturas en la roca caliza actúan como conductos preferenciales que permiten el aporte continuo de agua subterránea rica en carbonatos, manteniendo una química del agua estable y favorable para la precipitación mineral desde el Cenote / Laguna de Xul Ha y el canal del mismo nombre que se localiza a lo largo de 7 kilómetros al sur del Canal de los Rápidos.

La corriente constante del canal evita la acumulación excesiva de sedimentos finos sobre las superficies microbianas, condición crítica para su supervivencia, al tiempo que garantiza la renovación del agua y el suministro de nutrientes disueltos. Sin embargo existe un aporte considerable de sedimento que genera un proceso continuo de retroalimentación positiva.

Los microbialitos de los rápidos de Bacalar constituyen estructuras sedimentarias formadas por la interacción de comunidades microbianas con procesos fisicoquímicos del agua (ver medio biótico, más adelante), dando lugar a formas complejas de bioacumulación de carbonato de calcio. Su estudio requiere un enfoque multidisciplinario que considere desde la escala macro hasta la microscópica, integrando sedimentología, hidrología, dinámica de corrientes y procesos ecológicos asociados.

Sedimentología y dinámica de depósito

Los microbialitos en el canal y en el entorno de la Península de Los Rápidos se desarrollan en un ambiente de flujo constante, característico de sistemas kársticos interconectados, donde coexisten procesos de precipitación química y sedimentación detrital (Gischler et al., 2008; Castro-Contreras et al., 2014).

La acumulación de carbonatos responde a la interacción entre la precipitación de carbonato de calcio, favorecida por las condiciones fisicoquímicas del agua, y la retención de partículas sedimentarias transportadas por la corriente. Este proceso ha sido ampliamente documentado en sistemas microbialíticos, donde la combinación de precipitación inducida y atrapamiento de sedimentos genera estructuras consolidadas de naturaleza mixta (Dupraz et al., 2009; Riding, 2000; Burne & Moore, 1987).

La arena calcárea y el limo provenientes de la erosión de la cuenca circundante son transportados hacia el canal, donde pueden ser retenidos en irregularidades del sustrato y sobre las superficies de los microbialitos, favoreciendo la consolidación progresiva de las estructuras (Gischler et al., 2011; Castro-Contreras et al., 2014). Este proceso contribuye a la formación de una matriz compuesta por carbonato precipitado y material detrítico, que incrementa la estabilidad y cohesión del sistema.

La granulometría del sedimento influye directamente en la morfología y densidad de los microbialitos: sedimentos más gruesos tienden a generar estructuras más porosas, mientras que los sedimentos finos pueden rellenar espacios intersticiales, modificando la cohesión y la respuesta del sistema frente a la dinámica hidráulica (Gischler et al., 2008; Johnson et al., 2018).

La dinámica de corrientes regula el equilibrio entre deposición y remoción de sedimentos. En zonas de mayor energía hidráulica se favorece la remoción de partículas finas y la exposición de superficies consolidadas, mientras que en zonas de menor energía se incrementa la deposición de sedimentos y materia orgánica, generando heterogeneidad espacial en la estructura de los microbialitos (Gischler et al., 2008; Castro-Contreras et al., 2014).

Asimismo, la tasa de precipitación de carbonato está controlada por variables como la saturación de carbonatos, el pH, la alcalinidad y la temperatura del agua, lo que influye en la velocidad de crecimiento y en la densidad estructural de los microbialitos (Dupraz et al., 2009).

A escala local, la interacción entre topografía microbiana y flujo genera microzonas de deposición y erosión, donde pequeñas variaciones en la velocidad del agua producen cambios significativos en la acumulación de material carbonatado.

En conjunto, estos procesos configuran un sistema sedimentológico dinámico, en el que los microbialitos representan el resultado de la interacción continua entre precipitación química, transporte de sedimentos y condiciones hidráulicas, determinando su evolución espacial y temporal dentro del canal y las zonas lagunares adyacentes (Burne & Moore, 1987; Riding, 2000).

Macroestructura: arrecifes y acumulaciones

A escala macroscópica, los microbialitos pueden organizarse en acumulaciones tipo arrecife, visibles en Los Rápidos como cordones, crestas y parches discontinuos que interceptan parcialmente el flujo del canal. Estas estructuras corresponden a depósitos carbonatados biogénicos que resultan de la interacción acoplada entre procesos biológicos, geoquímicos y sedimentarios (Rodríguez-Colón et al., 2026; Burne & Moore, 1987; Fogret et al., 2024).

En el sistema de Bacalar, su formación está estrechamente vinculada a la dinámica kárstica, donde el aporte de agua subterránea rica en carbonatos y la presencia de corrientes relativamente intensas favorecen tanto la precipitación de carbonato como la acumulación de estructuras microbialíticas (Gischler et al., 2011; Gischler et al., 2008).

En las zonas donde el canal se ensancha hacia el norte y el sur, estas acumulaciones pueden formar atolones microbianos de hasta aproximadamente 3 m de diámetro, lo que evidencia la continuidad del sistema microbialítico más allá del canal y su integración con el entorno lagunar, en concordancia con modelos sedimentológicos de acumulaciones microbialíticas en ambientes no marinos (Gallois et al., 2018).

Desde el punto de vista sedimentológico, estas estructuras se desarrollan mediante la combinación de precipitación de carbonato in situ, atrapamiento y estabilización de sedimentos y consolidación progresiva del sustrato, procesos que han sido documentados como mecanismos fundamentales en la formación de microbialitos (Dupraz et al., 2009; Riding, 2000; Burne & Moore, 1987). A nivel hidrodinámico, estas acumulaciones funcionan como elementos de control del flujo, generando disipación de energía, desviación de corrientes, zonas de recirculación y gradientes espaciales de velocidad.

Estas condiciones promueven la formación de patrones diferenciados de deposición y erosión, donde la interacción entre flujo y estructura carbonatada determina la redistribución de sedimentos y la evolución de las formas microbialíticas (Gischler et al., 2008; Castro-Contreras et al., 2014). Como resultado, se genera una heterogeneidad estructural y funcional, donde coexisten zonas de alta energía con superficies consolidadas y zonas de baja energía con acumulación de sedimentos finos y materia orgánica, en línea con modelos de interacción entre procesos sedimentarios y estructuras microbialíticas (Fogret et al., 2024).

En conjunto, las acumulaciones microbialíticas tipo arrecife constituyen elementos clave en la organización espacial del sistema, integrando procesos de precipitación de carbonato, dinámica

hidráulica y sedimentación en una estructura geomorfológica compleja y en evolución continua (Riding, 2000; Dupraz et al., 2009).

Mesoestructura: trombolitos y oncolitos

A escala intermedia, los microbialitos de Los Rápidos corresponden principalmente a trombolitos, con presencia de oncolitos y formas mixtas que incluyen secciones localmente laminadas. Esta clasificación es consistente con la descripción de microbialitos de agua dulce en la Laguna de Bacalar, donde predominan estructuras trombolíticas con variabilidad textural y organizacional (Gischler et al., 2008; Castro-Contreras et al., 2014).

Los trombolitos se caracterizan por una estructura interna granular, heterogénea y poco laminada, resultado de la agregación irregular de partículas carbonatadas y material detrítico. Esta textura refleja un crecimiento discontinuo y una interacción constante entre procesos de precipitación de carbonato y sedimentación (Riding, 2000; Burne & Moore, 1987).

Por su parte, los oncolitos presentan una organización más definida, con estructuras concéntricas alrededor de un núcleo, formadas por la acumulación sucesiva de capas de carbonato. Estas estructuras suelen desarrollarse en condiciones donde existe cierto grado de movilidad o rotación del sustrato, lo que favorece la formación de envolturas laminares (Gischler et al., 2008; Gallois et al., 2018).

La presencia de formas mixtas, que combinan rasgos trombolíticos con laminaciones puntuales, indica una transición entre condiciones de estabilidad y variabilidad ambiental, donde los procesos de formación no son constantes en el tiempo. La alternancia de capas y texturas refleja la influencia de variaciones en la energía hidráulica, pulsos de sedimentación, cambios en la disponibilidad de carbonato, y fluctuaciones en la actividad microbiana.

Estos factores generan una estructura interna compleja, donde los microbialitos registran la interacción dinámica entre procesos físicos, químicos y biológicos, actuando como archivos sedimentarios de las condiciones ambientales del sistema (Dupraz et al., 2009; Fogret et al., 2024). En este sentido, la mesoestructura de los microbialitos no es uniforme, sino que responde a procesos de retroalimentación dinámica entre el crecimiento estructural, la precipitación de carbonato y la hidrodinámica del canal, lo que determina su heterogeneidad interna y su evolución en el tiempo (Gischler et al., 2011).

A diferencia de otros sistemas microbialíticos, en el canal de Los Rápidos (y en buena parte de los sitios donde hay estas formaciones) no se observa el desarrollo de estromatolitos bien definidos, caracterizados por estructuras laminadas continuas y ordenadas. Esta ausencia es consistente con las condiciones hidrodinámicas y sedimentológicas del sistema. Los estromatolitos suelen formarse en ambientes de baja energía hidráulica, con sedimentación fina controlada y estabilidad prolongada del sustrato, condiciones que favorecen la formación de laminaciones microbianas continuas (Riding, 2000; Dupraz et al., 2009).

En contraste, el canal de Los Rápidos presenta un régimen de flujo constante y relativamente energético, que promueve la resuspensión de sedimentos, la interrupción de la laminación continua y la incorporación de material detrítico en la matriz estructural. Estas condiciones favorecen el desarrollo de trombolitos, caracterizados por una textura clotted o granular, en lugar de estructuras finamente laminadas (Gischler et al., 2008; Gischler et al., 2011; Castro-Contreras et al., 2014).

Asimismo, la variabilidad en la dinámica hidráulica y en los procesos de deposición limita la persistencia de condiciones estables necesarias para la formación de laminaciones estromatolíticas continuas.

En este sentido, la predominancia de trombolitos y la ausencia de estromatolitos en el canal reflejan la influencia directa del régimen hidrodinámico y de la dinámica sedimentaria en la organización

interna de los microbialitos, siendo coherente con lo reportado para sistemas de agua dulce con condiciones similares.

Hidrología y dinámica de corrientes

La ubicación de los microbialitos en Los Rápidos implica exposición a flujos constantes y turbulentos. La velocidad de corriente regula la distribución de sedimento, la tasa de precipitación y la estructura de los tapetes. Estudios en Bacalar estiman que los canales con trombolitos pueden manejar caudales de varios cientos de litros por segundo en zonas restringidas, con un flujo volumétrico suficiente para mantener oxigenación, transportar nutrientes y remover partículas en suspensión. La turbulencia genera microzonas de alta y baja deposición, promoviendo diversidad estructural.

Aislamiento físico y conservación ecológica

En los últimos años, diversos grupos ambientalistas y actores comunitarios de la Laguna de Bacalar han impulsado iniciativas orientadas a la protección de las formaciones microbianas presentes en distintos sectores del sistema lagunar.

Estas propuestas se han desarrollado en el marco de una narrativa pública que identifica dichas formaciones como “estromatolitos” sin que exista realmente respaldo científico documentados metodológicamente, que les otorgue esa clasificación, enfatizando su valor biológico, patrimonial y su supuesta alta vulnerabilidad al contacto humano directo. No obstante, bajo esta lógica, se ha promovido la implementación de medidas físicas de exclusión cuyo razonamiento central puede sintetizarse de la siguiente manera:

- El contacto directo de personas con las formaciones genera daño físico.
- La perturbación mecánica afecta su integridad estructural.
- La presión turística representa un riesgo acumulativo.
- Por lo tanto, impedir el acceso físico previene el deterioro.

Como resultado, en diversos puntos de la laguna se han instalado cercados perimetrales de madera tipo estacado, delimitaciones con postes y travesaños, sistemas de boyado con líneas extensivas y barreras físicas flotantes ancladas al fondo.

El principio operativo detrás de estas acciones es de tipo preventivo-exclusivo: si se limita el acceso físico, se elimina el impacto directo. En sectores cercanos a Bacalar y en zonas con presencia visible de formaciones carbonatadas someras, estas medidas han sido implementadas con la intención de crear zonas de no contacto, señalizar áreas de protección, desincentivar actividades recreativas sobre las estructuras y visibilizar simbólicamente su importancia ecológica.

En el caso del canal de Los Rápidos, también se ha planteado la posibilidad de replicar este esquema de confinamiento, bajo el mismo razonamiento preventivo. Es importante señalar que estas iniciativas surgen desde una preocupación legítima por la conservación, en un contexto de creciente presión turística y de sensibilización ambiental comunitaria.

Sin embargo, como se desarrolla en los apartados siguientes, en sistemas con dinámica hidrológica activa, la incorporación de infraestructura física dentro del cuerpo de agua requiere evaluación técnica integral que considere no solo la protección directa frente al contacto humano, sino también sus posibles implicaciones hidrodinámicas, morfosedimentarias y de seguridad. Las iniciativas de confinamiento físico parten de un supuesto implícito: que impedir el contacto directo con las formaciones microbianas garantiza su conservación ecológica.

Si bien la reducción de impacto mecánico directo puede disminuir ciertos daños puntuales, en sistemas acuáticos dinámicos esta relación no es necesariamente lineal ni suficiente para asegurar

estabilidad ecosistémica. En particular, en la Laguna de Bacalar y en el canal de Los Rápidos, la conservación de las formaciones carbonatadas no depende exclusivamente de la ausencia de contacto humano, sino de un conjunto de variables interdependientes tales como dinámica hidrológica, transporte y redistribución de sedimentos, microgradientes químicos, procesos de precipitación carbonatada, interacción con vegetación acuática, calidad del agua y estado trófico.

Conservación estructural vs. conservación funcional

El aislamiento físico protege la integridad estructural superficial frente a pisoteo o manipulación directa. Sin embargo, la conservación funcional del sistema depende de:

- Mantener el régimen de corrientes.
- Preservar el gradiente hidráulico.
- Evitar alteraciones en patrones de flujo.
- Conservar la conectividad longitudinal.

Una medida puede proteger la estructura visible pero, simultáneamente, modificar las condiciones hidrodinámicas que permiten su formación y mantenimiento. En sistemas bioconstructivos, el flujo es parte del proceso ecológico. Alterarlo puede tener efectos acumulativos no previstos.

Sistemas dinámicos vs. soluciones estáticas

En la zona de Los Rápidos se luchó por no permitir la instalación de este tipo de cercados, dado que la instalación potencial de cercados constituye una solución estática aplicada a un sistema dinámico. En zonas con corriente activa, como Los Rápidos la incorporación de obstáculos modificaría la rugosidad hidráulica, se generarían microzonas de baja velocidad, se favorecería retención sedimentaria y se podría intensificar procesos de agradación localizada.

Paradójicamente, una medida diseñada para evitar deterioro físico puede influir indirectamente en procesos morfosedimentarios que alteran la configuración natural del canal.

Enfoque ecosistémico integral.

Desde un enfoque ecosistémico, la conservación de sistemas acuáticos como el de Los Rápidos requiere comprender que su funcionamiento depende de múltiples procesos interconectados que operan simultáneamente a diferentes escalas. En este sentido, cualquier estrategia de manejo debe considerar de forma integrada al menos los siguientes componentes:

- Interacciones físicas, particularmente los patrones de circulación del agua, la velocidad de corriente y los procesos de transporte y deposición de sedimentos.
- Procesos químicos, incluyendo la dinámica de nutrientes, la alcalinidad y las condiciones de oxigenación del agua.
- Componentes biológicos, como las comunidades microbianas, macrófitas acuáticas, peces y otros organismos asociados al ecosistema lagunar.
- Dinámica geomorfológica, que regula la evolución del lecho del canal y de las zonas ribereñas.
- Uso social del espacio, particularmente las actividades recreativas y turísticas que se desarrollan en el sitio.

Dentro de este marco, la exclusión física mediante barreras o cercados puede constituir una herramienta puntual de manejo, pero por sí sola resulta insuficiente para garantizar la conservación de sistemas acuáticos complejos.

Su aplicación debe evaluarse cuidadosamente para evitar efectos secundarios sobre la dinámica hidrológica y sedimentaria del sistema. Por esta razón, la gestión ambiental del sitio debe sustentarse en un conjunto más amplio de instrumentos, entre los que destacan:

- Montoreo sistemático de la calidad del agua, que permita detectar cambios en variables clave como turbidez, nutrientes y oxigenación.
- Evaluaciones hidrodinámicas periódicas, orientadas a comprender la evolución de los patrones de flujo en el canal.
- Gestión de la capacidad de carga turística, con el fin de evitar presiones excesivas sobre el ecosistema.
- Regulación de actividades motorizadas dentro del sistema lagunar, dada su influencia potencial sobre la resuspensión de sedimentos y la contaminación.
- Control de descargas y aportes de nutrientes, especialmente aquellos asociados a aguas residuales o escorrentía superficial.
- Programas de educación ambiental, dirigidos a visitantes y prestadores de servicios, orientados a promover prácticas responsables en el uso del ecosistema.

En sistemas oligotróficos carbonatados, como el de la Laguna de Bacalar, la calidad del agua y el mantenimiento del régimen hidráulico natural constituyen variables estructurales de alta relevancia ecológica. En este contexto, factores como el incremento sostenido de nutrientes, la alteración de los flujos hidrológicos o la acumulación de sedimentos finos pueden tener efectos más significativos sobre la integridad del ecosistema que el contacto humano ocasional cuando este ocurre bajo condiciones de uso regulado.

Riesgo de simplificación causal

El planteamiento “acceso = daño” simplifica un sistema complejo. Los procesos que determinan la estabilidad de las formaciones microbianas incluyen:

- Balance entre precipitación y disolución.
- Transporte diferencial de sedimentos.
- Competencia con macrófitas.
- Cambios en transparencia del agua.
- Variaciones de pH y alcalinidad.

La exclusión física aborda únicamente un componente del sistema. Cuando se interviene en ambientes con alta interdependencia de variables, las soluciones parciales deben evaluarse en términos de efectos secundarios potenciales.

Consideraciones específicas para el canal de Los Rápidos

El canal presenta:

- Estrechamiento geomorfológico natural.
- Aceleración del flujo.
- Distribución diferencial de energía.
- Agradación localizada en márgenes.

Introducir estructuras fijas en la zona de la corriente, en el canal, con un entorno con corriente activa implica intervenir directamente sobre el vector físico que regula:

- Transporte sedimentario.
- Distribución de energía.

- Mantenimiento de sección hidráulica.

En este contexto, la relación entre aislamiento físico y conservación ecológica nof puede asumirse automática ni universalmente válida sin modelación hidráulica y evaluación integral previa. Como ejemplo, el andador elevado (Ver Capítulo II) se diseñó específicamente para minimizar el pisoteo y la erosión de los atolones y otras estructuras sensibles.

Su ubicación al poniente del canal, alejada de la corriente principal y adyacente al humedal, sin interferir la comunicación entre ambos, sin tocar especies de plantas del humedal, aunque tuvo que colocarse de manera sinuosa, permite que el tránsito de visitantes no interfiera con el flujo hidráulico ni con los procesos naturales de sedimentación y agradación del canal. Esta disposición protege la morfología y la hidrodinámica del sistema, al tiempo que aprovecha la capacidad del humedal para retener sedimentos y amortiguar impactos, cumpliendo con una visión integral de manejo ambiental.

La protección física mediante cercados puede reducir impactos directos por contacto humano; sin embargo, en sistemas acuáticos dinámicos como la Laguna de Bacalar y el canal de Los Rápidos, donde la conservación ecológica depende de variables hidrológicas, químicas y geomorfológicas interrelacionadas no es viable. Asumir que el aislamiento físico equivale necesariamente a conservación ecológica constituye una simplificación conceptual que requiere análisis técnico previo para evitar intervenciones que, aun bien intencionadas, puedan alterar procesos sistémicos fundamentales.

Hidrología

De acuerdo con información de las Regiones Hidrológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) del año 2018, el predio Los Rápidos converge en la región hidrológica-administrativa “33 Yucatán Este”, abarca la cuenca hidrológica de Bahía de Chetumal y otros la cual se caracteriza por presentar algunas corrientes superficiales y presenta numerosas zonas pantanosas y abundan las lagunas.

Aguas Superficiales

La hidrología superficial del área terrestre y acuática colindante con el predio Los Rápidos presenta una configuración compleja y altamente interconectada, determinada por la topografía baja, la planicie sedimentaria y la estrecha relación entre cuerpos de agua superficiales colindante y el sistema kárstico subyacente. En la porción baja del predio, donde se desarrolla una planicie sedimentaria de origen reciente, se localiza un cuerpo de agua permanente dentro del propio predio, correspondiente a un cenote, denominado internamente Los Rápidos.

Este cenote de se encuentra inserto dentro de un sistema de humedalla parte baja del predio y constituye en un elemento central del funcionamiento hidrológico superficial, al actuar como zona de almacenamiento, intercambio y regulación natural del agua.

La porción oriente del predio presenta una morfología peninsular, rodeada por cuerpos de agua superficiales de gran relevancia hidrológica y ambiental. Hacia el sur, el predio colinda con un manantial de gran tamaño, conocido como Laguna Bonanza, el cual, si bien no forma parte del área del proyecto, mantiene una relación hidrológica directa con el predio. En el límite oriente, el canal de Xul-Há, en su tramo denominado canal de Los Rápidos, ocupa la totalidad de la colindancia, funcionando como un conducto natural de flujo continuo entre cuerpos lagunares.

Finalmente, hacia la porción norte, el predio colinda tanto con la Laguna de Bacalar como con un manantial adicional conocido localmente como Sac Há, completando un sistema de cuerpos de agua superficiales estrechamente conectados entre sí y con el acuífero regional.

Cenote Los Rápidos

El Cenote Los Rápidos se localiza en la porción sur del predio, próximo a la colindancia sur, dentro de la planicie sedimentaria que caracteriza esta área. El cuerpo de agua se encuentra rodeado por un ecosistema de humedal, dominado por vegetación hidrófila, principalmente tulares, así como vegetación asociada a ambientes palustres.

Este cenote no presenta una conexión superficial directa con la Laguna de Bacalar. Su ubicación se sitúa aproximadamente a 125 m de la franja litoral, en el sector que colinda con la Laguna Bonanza hacia el sur, manteniendo, no obstante, una relación hidrológica indirecta a través del sistema kárstico y los flujos subterráneos característicos de la región.



Imagen IV-22. Cenote Los Ráidos. Funte de imagen: Google earth, elaboración propia.

Laguna Bonanza

La Laguna Bonanza corresponde a un manantial de gran tamaño, localizado al sur del polígono del predio Los Rápidos, en colindancia directa con la zona federal. Este cuerpo de agua ocupa una superficie aproximada de 5,000 m², previo a su desembocadura en el Canal de Sultán, justo antes de la apertura hacia el Canal de Los Rápidos.

Adicionalmente, en la colindancia con la zona federal se identifica un cuerpo de agua artificial, construido con posterioridad al año 2018 por el propietario de un predio colindante. Este cuerpo artificial tiene una superficie aproximada de 240 m² y descarga directamente hacia la Laguna Bonanza, formando parte del sistema de aportes hídricos superficiales de este manantial.

Manantial de Sac Há

El Manantial de Sac Há corresponde a una corriente permanente, cuyo origen se localiza fuera de los límites del predio Los Rápidos, en terrenos colindantes al norte. El área de surgencia del manantial ocupa una superficie aproximada de 4,800 m², con un nacimiento que se localiza aproximadamente a 500 m tierra adentro respecto al límite norte del predio, dentro de los predios vecinos.

Este manantial mantiene una conexión hidrológica directa con el sistema superficial regional, aportando flujo continuo hacia los cuerpos de agua adyacentes, y forma parte del conjunto de manantiales que alimentan el sistema lagunar de Bacalar.



Imagen IV-23. Laguna Bonanza al sur de Los Ra´pidos. Fuente Imagen Google Earth. Elaboración Propia.



Imagen IV-24. Canal de Sac Ha

Laguna de Bacalar y sistema lagunar asociado (influencia indirecta)

El principal cuerpo de agua superficial de influencia indirecta en el área del proyecto corresponde a la Laguna de Bacalar, la cual, si bien no se localiza dentro del predio Los Rápidos, forma parte integral del Sistema Ambiental identificado en el ordenamiento ecológico, como una Unidad de Gestión Ambiental de referencia regional, dada su extensión, conectividad y papel estructurante en la dinámica hidrológica del área.

La Laguna de Bacalar constituye un sistema lagunar complejo, conformado por múltiples subsistemas interconectados, con una superficie aproximada superior a las 9,000 hectáreas, dentro de los cuales el predio Los Rápidos mantiene una relación hidrológica estrecha. En este contexto, el predio colinda y se vincula funcionalmente con distintos componentes del sistema lagunar:

Hacia el sur, con la Laguna Bonanza;

Hacia el oriente, con el Canal de Los Rápidos;

Hacia el norte, con la Laguna de Bacalar propiamente dicha; y

Adicionalmente, con el manantial de Sac Há, el cual forma parte del sistema de aportes hídricos superficiales y subterráneos de la laguna.

Desde el punto de vista geológico e hidrológico, la Laguna de Bacalar es un cuerpo de agua de origen tectónico, asociado a un sistema de fallas normales que controlan su morfología, profundidad y patrones de flujo. Este origen tectónico ha condicionado el desarrollo de una planicie sedimentaria y aluvial, sobre la cual se asienta el predio Los Rápidos, conformada principalmente por materiales carbonatados y depósitos recientes, tal como se describió en los apartados de geología y geomorfología.

En este sentido, el predio forma parte de un sistema geohidrológico integrado, donde la dinámica del agua superficial y subterránea está directamente influenciada por el comportamiento hidrológico de la Laguna de Bacalar. La circulación del agua, los gradientes hidráulicos, la surgencia de manantiales y la presencia de humedales responden a la interacción entre el sustrato kárstico, los depósitos aluviales recientes y la conectividad lagunar regional.

Dentro del área de influencia del predio Los Rápidos, particularmente en su porción norte, se identifica un tramo colindante con la Laguna de Bacalar cuya superficie y longitud de contacto deberán ser consideradas para efectos de evaluación ambiental, dada su relevancia en términos de conectividad hidrológica, sensibilidad ambiental y regulación del uso del suelo. Esta relación espacial refuerza la necesidad de analizar el proyecto bajo un enfoque de cuenca y sistema lagunar, más allá de los límites estrictos del predio.

Aguas subterráneas

La región hidrológica 33 este, de la cual pertenece la Cuenca de Laguna Bacalar, donde se ubica el predio, está integrada por seis subcuencas hidrológicas, cuya disponibilidad de salida suma 1123.098 millones de metros cúbicos (CONAGUA, 2007; Sánchez-Sánchez et al., 2015)..

3301.- Cuenca Hidrológica Río Escondido: Volumen disponible a la salida de 611.538 millones de metros cúbicos. Clasificación: (Disponibilidad).

3302.- Cuenca Hidrológica Agua Dulce: volumen disponible a la salida de 96.496 millones de metros cúbicos. Clasificación: (Disponibilidad).

3303.- Cuenca Hidrológica Arroyo Azul: volumen disponible a la salida de 282.736 millones de metros cúbicos. Clasificación: (Disponibilidad).

3304.- Cuenca Hidrológica Laguna Bacalar: volumen disponible a la salida de 75.781 millones de metros cúbicos. Clasificación: (Disponibilidad).

3305.- Cuenca Hidrológica Chinchancanab: volumen disponible a la salida de 34.988 millones de metros cúbicos. Clasificación: (Disponibilidad).

3306.- Cuenca Hidrológica Chunyaxche: volumen disponible a la salida de 21.559 millones de metros cúbicos. Clasificación: (Disponibilidad).

La interacción entre la geología original, los procesos de disolución kárstica que generan porosidad y permeabilidad secundarias, y la dinámica ambiental regional, ha dado lugar a la diferenciación de cinco grandes unidades hidrogeológicas, dispuestas aproximadamente de norte a sur: la región costera, el anillo o semicírculo de cenotes, la planicie interior, la región de cerros y valles y las cuencas escalonadas (CONAGUA, 2007, González-Herrera et al., 2002; Sánchez-Sánchez et al., 2015).

De acuerdo con el modelo hidrogeológico regional, el predio Los Rápidos se encuentra bajo la influencia directa de la zona de fracturas asociadas a la Falla del Río Hondo, así como de otros sistemas estructurales relevantes como Río Escondido, Agua Dulce y Arroyo Azul, que actúan como vías preferenciales de flujo subterráneo. Asimismo, el área recibe aportes provenientes del acuífero de Xpujil, al oeste, y del acuífero de Cerros y Valles, al noroeste, particularmente desde la región de Chichankanab. (González-Herrera et al., 2002; Sánchez-Sánchez et al., 2015)

Esta configuración hidrogeológica explica la elevada conectividad del sistema subterráneo que alimenta a la Laguna de Bacalar y a los cuerpos de agua asociados al predio Los Rápidos, y refuerza la necesidad de evaluar con un enfoque regional e integrado, considerando que las condiciones hidrológicas del predio están directamente condicionadas por procesos que se originan a escala supraestatal (Depka et al., 2025; González-Herrera et al., 2002).

Para poder determinar la forma en la que se mueve el agua subterránea bajo el territorio y el sistema ambiental del Los Rápidos se tomó en consideración la información vertida en el estudio de Sánchez, j (2015) y , en la que se cuenta con un mapa de flujo subterráneo de agua. A partir de este mapa se creó un plano sobre la imagen de satélite del predio para poder determinar de manera gráfica la forma en la que fluye el agua subterránea bajo el territorio.

El patrón regional del flujo del acuífero muestra una dirección predominante de poniente a oriente, es decir, desde las zonas interiores de mayor elevación ubicadas hacia la franja limítrofe entre los estados de Quintana Roo y Campeche, hacia las áreas de menor cota próximas a la costa del Caribe. Este comportamiento responde al gradiente hidráulico natural del sistema acuífero, el cual se recarga principalmente en las mesetas kársticas occidentales, donde la infiltración de agua de lluvia es elevada debido a la alta permeabilidad de las rocas carbonatadas.

La configuración de las curvas equipotenciales del acuífero refuerza esta interpretación, al mostrar valores que descienden progresivamente desde aproximadamente 30 m sobre el nivel del mar en las zonas más elevadas, hasta valores de 5 y 2 m en las inmediaciones de la costa y del sistema lagunar (González-Herrera et al., 2002). Este gradiente hidráulico es el principal motor del desplazamiento del agua subterránea y explica la convergencia de los flujos hacia la zona donde se localiza la Laguna de Bacalar y por ende el predio Los Rápidos.

Desde el punto de vista geológico, el mapa evidencia la presencia de depresiones kársticas ampliamente distribuidas en el área regional, producto de la disolución de la roca caliza. Estas depresiones, que corresponden a dolinas, uvalas o poljés, funcionan como zonas de infiltración preferencial, permitiendo la recarga directa del acuífero profundo y acelerando la transferencia del agua superficial hacia el sistema subterráneo (Sánchez-Sánchez et al., 2015; Science of the Total Environment, 2026).

Asimismo, se identifican fallas geológicas y lineamientos estructurales, entre los que destaca la Falla del Río Hondo, así como otros sistemas de fracturas de trazo subparalelo a la costa. Estas estructuras cumplen un papel fundamental en la dinámica hidrogeológica regional, ya que actúan

como conductos preferenciales de flujo, facilitando el movimiento de grandes volúmenes de agua subterránea hacia las zonas de descarga lagunar.

En el contexto hidrogeológico regional, el predio Los Rápidos se localiza en una posición estratégica dentro del sistema, al situarse en la porción terminal del flujo subterráneo que alimenta la Laguna de Bacalar. El agua que emerge en forma de manantiales, corrientes y surgencias asociadas a la laguna -incluyendo aquellas vinculadas al desarrollo de formaciones carbonatadas microbianas- no corresponde exclusivamente a aportes locales, sino que integra flujos subterráneos que se originan a decenas e incluso cientos de kilómetros tierra adentro, atravesando el sistema kárstico desde regiones del estado de Campeche y la franja occidental de Quintana Roo.

Esta configuración hidrogeológica implica que el predio forma parte de un sistema de recepción y tránsito de agua regional, no de generación aislada. La elevada conectividad del acuífero kárstico implica que alteraciones en la calidad del agua subterránea, aun cuando se originen fuera del ámbito del proyecto, pueden propagarse hacia la laguna (Zamora-Luria et al., 2020; Science of the Total Environment, 2026).

En este sentido, la sensibilidad hidrológica del área no deriva de una condición de fragilidad inducida localmente, sino de la naturaleza intrínseca del sistema kárstico peninsular, caracterizado por:

- Alta permeabilidad secundaria.
- Conectividad vertical y horizontal rápida.
- Limitada capacidad natural de atenuación en ciertos tramos estructurales.

La presencia de fallas y depresiones kársticas forma parte de esta dinámica regional y explica la rapidez con la que el agua subterránea se desplaza hacia la laguna.

Frente a esta condición estructural, el manejo implementado en el predio durante más de tres décadas ha operado bajo un enfoque preventivo, orientado a no incrementar cargas adicionales al sistema. Las acciones de conservación, control de aforo, regulación de uso y mantenimiento de cobertura vegetal han permitido:

- Conservar la infiltración natural sin compactación extensiva.
- Evitar aportes locales significativos de nutrientes o contaminantes.
- Mantener la integridad del microrelieve sedimentario.
- Preservar la conectividad hidrológica sin alteraciones artificiales.

En un sistema donde la vulnerabilidad es regional y acumulativa, la contribución local más relevante es evitar la generación de presiones adicionales. Bajo este principio, el manejo histórico del predio ha sido consistente con la necesidad de mantener la estabilidad del sistema lagunar.

La conservación de los cuerpos de agua y de las formaciones carbonatadas microbianas asociadas al sistema de Los Rápidos depende, en efecto, de la integridad del flujo subterráneo regional. Sin embargo, a escala local, el mantenimiento de condiciones de bajo impacto en el predio contribuye a no agravar dicha vulnerabilidad estructural.

En términos técnicos, el predio se comporta como un punto de recepción dentro de una red hidrogeológica extensa; su manejo responsable reduce riesgos locales, aun cuando los factores determinantes de calidad hídrica operen a escala regional.

Química del agua

La composición química del agua subterránea que alimenta los acuíferos de la zona sur y de manera directa e indirecta alimenta los cuerpos de agua superficiales dentro y alrededor de la laguna de

Bacalar, al sur, incluyendo a Los Rápidos está definida primordialmente por la disolución de rocas carbonatadas y evaporíticas. Los iones mayores dominantes son el Calcio y los Sulfatos, cuya presencia se debe a la interacción del flujo regional con estratos de yeso y anhidrita de la formación Icaiché y otras zonas en la zona limítrofe con Campeche. Junto con el Magnesio, derivado de la disolución de dolomías, estos elementos confieren al agua una clasificación de "muy dura", característica esencial para los procesos de biomineralización biogénica en la laguna.

En cuanto a los macrocomponentes que definen la alcalinidad y salinidad, el sistema presenta concentraciones significativas de Bicarbonatos, resultantes de la reacción del agua de lluvia con el suelo kárstico, y una presencia variable de Cloruros y Sodio. Estos últimos elementos suelen incrementar su concentración conforme el flujo se aproxima a la costa o interactúa con zonas de mayor profundidad, definiendo facies hidrogeoquímicas que transitan de sulfatadas cálcicas a cloruradas sódicas en los puntos de descarga final.

Los parámetros fisicoquímicos actúan como los reguladores de estas reacc iones químicas. Se registra una Conductividad Eléctrica elevada, frecuentemente superior a los 2,000 µS/cm, lo que refleja la alta carga de sólidos disueltos totales que el acuífero transporta a través de las fallas y lineamientos regionales. El Potencial de Hidrógeno (pH) se mantiene en rangos ligeramente alcalinos (7.2 a 8.5), lo cual es un factor determinante para la estabilidad química y la precipitación del carbonato de calcio que constituye la estructura física de los microbialitos.

Finalmente, el análisis de nutrientes y elementos traza revela la vulnerabilidad del sistema ante la actividad humana. La detección de Nitratos en el flujo subterráneo sirve como un indicador crítico de contaminación por fuentes antropogénicas, como aguas residuales o fertilizantes, que pueden alterar el equilibrio trófico de la laguna. La presencia de otros elementos como el Estroncio, que suele acompañar al calcio en entornos evaporíticos, confirma la procedencia profunda y regional del agua que llega al predio, subrayando que la protección de los microbialitos requiere una gestión que trascienda los límites locales del proyecto.

Un estudio realizado por Matzuk (2020), investigó la química del agua y la dinámica de la Laguna de Bacalar, Quintana Roo, centrándose en datos recolectados entre 2017 y 2019. El estudio buscó ampliar el conocimiento sobre la hidroquímica, la dinámica de flujo y los tiempos de residencia del agua para apoyar la toma de decisiones ante el creciente impacto del turismo[33]. Su estudio investigó la entrada de agua proviene principalmente de cenotes situados en la orilla sur y occidental, como el Cenote Azul y el área de Xul Ha, al sur de Los Rápidos y los procesos hidrogeoquímicos principales, es decir el sistema químico de la laguna dominado por la interacción entre el agua subterránea de alta alcalinidad y los procesos superficiales.
Algunos de los fenómenos identificados en su estudio incluyen la desgasificación de CO2. El agua subterránea, rica en CO2 por la respiración bacteriana en el suelo, se desgasifica al emerger a la superficie. Este proceso provoca un aumento en el pH a medida que el agua se desplaza hacia el norte,a la precipitación de Calcita, esto último debido a que la sobresaturación de carbonatos y al aumento del pH, la laguna actúa como un lago de marga, precipitando grandes cantidades de calcita (CaCO3) en el lecho. Esto es fundamental para la formación y mantenimiento de los microbialitos. Adicionalmente el agua subterránea drena áreas ricas en rocas que contienen yeso, lo que aporta altas concentraciones de calcio y sulfatos, manteniendo la saturación respecto a la calcita.

La comprensión de la hidroquímica y de los procesos de sedimentación carbonatada de la Laguna de Bacalar constituye un elemento fundamental para la caracterización del sistema ambiental en el que se inserta el predio Los Rápidos, particularmente por su relación directa con la presencia y conservación de microbialitos. En este contexto, el estudio desarrollado por Tobón Velázquez et al. (2018), aporta información científica de referencia para la región sur de la laguna, la cual resulta plenamente aplicable como línea base ambiental para el presente proyecto.

La investigación tuvo como objetivo principal caracterizar la distribución espacial de los principales elementos químicos y elementos traza tanto en la columna de agua como en los sedimentos carbonatados, con el fin de identificar sus fuentes naturales y antropogénicas, así como comprender la interacción entre el agua subterránea kárstica y el sustrato geológico, proceso que define la química singular del sistema lagunar.

Los resultados confirman que la Laguna de Bacalar es un sistema oligotrófico de agua dulce, alimentado de manera prácticamente exclusiva por descargas de agua subterránea de origen kárstico, lo cual coincide con el modelo hidrogeológico regional descrito para el área del predio Los Rápidos. La composición química del agua en la zona sur de la laguna corresponde de manera consistente a la familia sulfato-cálcica, característica que se explica por la disolución de rocas evaporíticas (principalmente yeso) y carbonatos presentes en el acuífero profundo.

El análisis espacial de la hidroquímica evidencia una diferenciación clara entre los márgenes de la laguna. En el sector occidental, donde se concentran manantiales y zonas de descarga subterránea -como ocurre en el entorno de Los Rápidos-, se registran concentraciones más elevadas de calcio, bicarbonato y estroncio, reflejando una influencia directa del flujo subterráneo regional. En contraste, el sector oriental presenta mayores concentraciones relativas de magnesio, sodio y cloruros, asociadas a procesos de mezcla y mayor residencia del agua.

Los índices de saturación mineral calculados en el estudio permiten identificar tres tipos de ambientes geoquímicos dentro de la laguna: zonas sobresaturadas con respecto a calcita, aragonita y dolomita, donde ocurre activamente la precipitación de carbonatos y el crecimiento de microbialitos; zonas subsaturadas, donde estos minerales tienden a disolverse; y zonas en equilibrio con la calcita, pero subsaturadas para otros carbonatos. Estas condiciones explican la distribución espacial de los microbialitos y su concentración preferencial en la porción sur de la laguna, particularmente en áreas con aporte constante de agua subterránea, como el sistema de Los Rápidos.

En cuanto a los sedimentos, el estudio documenta por primera vez la composición de elementos traza en los carbonatos sedimentarios de la Laguna de Bacalar. Los sedimentos son predominantemente carbonatados, con una mineralogía dominada por calcita, lo que confirma su origen asociado a procesos de precipitación química y biogénica. El análisis de índices de contaminación permitió distinguir entre aportes de origen natural y antropogénico. Elementos como níquel, potasio, manganeso y bario presentan concentraciones atribuibles al desgaste natural de las rocas del acuífero; sin embargo, el zinc mostró una señal predominantemente antropogénica, vinculada a actividades humanas desarrolladas en la ribera lagunar y la zona inmediata colindante de la cuenca, a lo largo de toda la laguna, en su litoral poniente.

Caracterización fisicoquímica del agua de la Laguna de Bacalar

La Laguna de Bacalar constituye un sistema acuático dulceacuícola de origen kárstico, cuya dinámica fisicoquímica está fuertemente controlada por la interacción entre el acuífero subterráneo, la geología carbonatada y los aportes pluviales. Este sistema se caracteriza por condiciones oligotróficas, alta transparencia y una elevada sensibilidad a perturbaciones antropogénicas.

Contexto hidrogeoquímico

La península de Yucatán alberga uno de los sistemas acuíferos kársticos más extensos del mundo, compuesto principalmente por calizas, dolomitas y evaporitas, altamente susceptibles a procesos de disolución y transporte de solutos (Gondwe et al., 2010) . En este contexto, la Laguna de Bacalar se alimenta predominantemente por flujos subterráneos y precipitación directa, sin aportes fluviales significativos, lo que condiciona su química hacia un sistema dominado por carbonatos (Depka et al., 2025) .

Los procesos de disolución de carbonato de calcio ($CaCO_3$) generan concentraciones moderadas de bicarbonatos, calcio y sulfatos en el agua, lo que se refleja en valores relativamente estables de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.

Parámetros fisicoquímicos del agua

Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto en la Laguna de Bacalar presenta valores típicos de sistemas oligotróficos, generalmente entre 6.5 y 8.5 mg/L. Este comportamiento se asocia a la baja carga orgánica y a la alta transparencia del agua, que favorece la fotosíntesis.

El OD constituye un indicador clave de la calidad del agua, ya que su disminución (<5 mg/L) se asocia a procesos de enriquecimiento orgánico y eutrofización (Hernández-Martínez et al., 2024) .

Sólidos disueltos totales (TDS)

Los sólidos disueltos totales presentan valores típicos entre 120 y 250 mg/L, reflejando la disolución de minerales carbonatados propios del sistema kárstico. Incrementos por encima de 300 mg/L pueden indicar aportes externos o alteraciones en la dinámica hidrológica.

Este parámetro es relevante para identificar cambios en la composición química del agua, especialmente en zonas con influencia de flujos subterráneos o actividades antropogénicas (Hernández-Martínez et al., 2024)

Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica en la laguna varía entre 200 y 400 µS/cm en condiciones base, pudiendo alcanzar valores superiores en zonas de interacción con agua subterránea (hasta 800 µS/cm).

Estudios hidrológicos han demostrado que incrementos en la conductividad están asociados a aportes subterráneos, particularmente en zonas como cenotes o canales de flujo, donde se identifican cambios en la composición iónica del agua (Depka et al., 2025) .

Turbidez

La turbidez en condiciones naturales es baja (<2 NTU), lo que contribuye a la alta transparencia del agua. Sin embargo, incrementos en este parámetro (superiores a 5 NTU) se asocian a perturbaciones físicas como resuspensión de sedimentos, escorrentía o actividad turística.

La turbidez ha sido identificada como un parámetro sensible para el monitoreo de cambios en la calidad del agua en Bacalar (Hernández-Martínez et al., 2024) .

Salinidad

Aunque la laguna es un sistema dulceacuícola, presenta valores bajos de salinidad (0.1–0.5 PSU), derivados de la disolución de minerales. Cambios en este parámetro pueden indicar alteraciones en la mezcla de aguas o aportes externos.

Potencial óxido-reducción (ORP)

El potencial óxido-reducción presenta valores positivos (100–300 mV), característicos de ambientes bien oxigenados. Disminuciones en este parámetro pueden indicar condiciones reductoras asociadas a acumulación de materia orgánica.

Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo)

La Laguna de Bacalar es naturalmente un sistema oligotrófico, con concentraciones de fósforo total inferiores a 0.01 mg/L y nitrógeno total menores a 0.3 mg/L.

El incremento de estos nutrientes representa el principal riesgo ambiental, ya que puede detonar procesos de eutrofización, aumento de clorofila-a, pérdida de transparencia y alteración de comunidades microbianas (Gondwe et al., 2010; Depka et al., 2025) .

Diferenciación espacial del sistema (enfoque hidrodinámico)

La laguna presenta una diferenciación funcional basada en la dinámica del flujo:

Zonas de flujo rápido (ej. canales y "Rápidos")

Caracterizadas por alta renovación de agua, mezcla constante y bajos tiempos de residencia hidráulica, lo que limita la acumulación de nutrientes y materia orgánica.

Zonas de baja energía (cuerpo lagunar principal y áreas urbanizadas)

Presentan mayor tiempo de residencia, favoreciendo la acumulación de nutrientes, incremento de turbidez y mayor susceptibilidad a procesos de eutrofización.

Este contraste hidrodinámico es fundamental para entender la distribución espacial de la calidad del agua y la vulnerabilidad del sistema ante impactos antropogénicos.

En conjunto, la Laguna de Bacalar puede definirse como un sistema:

- Oligotrófico
- Dominado por carbonatos
- Altamente dependiente de flujos subterráneos
- Extremadamente sensible al enriquecimiento de nutrientes

Las desviaciones respecto a los rangos fisicoquímicos establecidos constituyen indicadores tempranos de deterioro ambiental, particularmente asociados a actividades humanas como descargas de aguas residuales, cambio de uso de suelo y desarrollo turístico.

Evaporación

En este estudio el uso de isótopos estables (δ^{18} y δ^{2}H) permitió identificar la magnitud de la evaporación en el cuerpo lagunar. Para determinar la velocidad de evaporación. Se definió una Línea de Evaporación Local (LEL) con una pendiente menor a la Línea Meteórica Mundial, lo que confirmó pérdidas significativas por evaporación en la superficie, con un gardiente norte a sur (mayor a menor): Mientras que en el sur (Xul Ha) la pérdida por evaporación es de apenas el 1%, en el extremo norte (Buena Vista) alcanza aproximadamente el 15%, donde la evaporación es el proceso hidrológico dominante. Del mismo modo, la concentración de cloruro aumentó hacia el norte, funcionando como un trazador conservativo que refuerza la señal de evaporación y el mayor tiempo de residencia en esa zona.El estudio concluyó que el equilibrio químico de la laguna es delicado y depende de la entrada constante de agua subterránea de alta calidad.

En ecosistemas kársticos las tasas de infiltración son elevadas y un flujo rápido hacen que los acuíferos y los ecosistemas litorales sean vulnerables a la contaminación antropogénica, incluidos fertilizantes agrícolas, escorrentía urbana y aguas residuales no tratadas provenientes de sistemas sépticos con fugas y/o la falta de instalaciones de tratamiento de aguas residuales, así como lixiviados de basureros que se extienden por toda la cuenca.

pH

El potencial de hidrógeno (pH) es uno de los parámetros fisicoquímicos fundamentales para comprender la dinámica ecológica y geoquímica de la Laguna de Bacalar. En sistemas lacustres de

origen kárstico, como Bacalar, el pH no solo refleja la calidad del agua, sino también la interacción entre aguas subterráneas ricas en carbonatos, procesos biogeoquímicos internos y forzamientos hidrometeorológicos estacionales. Debido a su importancia en la estabilidad del carbono inorgánico disuelto, la precipitación de carbonato de calcio y la dinámica de comunidades microbianas, el pH constituye un indicador clave del funcionamiento del sistema.

La tabla siguiente sintetiza valores de pH reportados en estudios científicos revisados por pares que han medido directamente este parámetro en la Laguna de Bacalar o han caracterizado su hidroquímica general. Es importante señalar que los datos no corresponden a un único punto de muestreo ni a una sola campaña temporal, sino que derivan de distintos estudios realizados en varios sectores de la laguna y bajo diferentes condiciones climáticas.

En términos generales, los resultados muestran que el pH de la Laguna de Bacalar se mantiene en un rango que va de ligeramente neutro a ligeramente alcalino (aproximadamente 6.6–8.3), con valores promedio cercanos a 7.8–7.9 en mediciones integradas. Esta condición es consistente con la naturaleza kárstica del sistema, donde la disolución de rocas carbonatadas aporta bicarbonatos que actúan como amortiguadores químicos (buffer), estabilizando el pH en torno a la neutralidad o ligera alcalinidad (Gondwe et al., 2010) .

Asimismo, la variabilidad observada dentro del rango reportado responde a factores espaciales (norte, centro, sur; zonas someras vs. profundas) y temporales (estación seca, lluvias, frentes fríos). En particular, sectores como la zona norte pueden presentar fluctuaciones más marcadas debido a diferencias en profundidad, intercambio hidrológico y entradas locales de agua subterránea o superficial.

En conjunto, los datos compilados permiten afirmar que el pH de la Laguna de Bacalar, bajo condiciones naturales y en los periodos estudiados, se caracteriza por una estabilidad relativa dentro de un rango ligeramente alcalino, aunque con variaciones asociadas a dinámicas hidrológicas y ambientales propias del sistema.

Tabla IV-22. Tabla comparativa de pH en la Laguna de Bacalar

Sector / referencia espacial	**Rango de pH reportado**	**Contexto del estudio**	**Referencia (APA 7)**
Laguna de Bacalar (mediciones integradas en varios puntos, incluye norte)	≈ 7.85 (promedio)	Mediciones in situ de parámetros fisicoquímicos para calibración y validación de datos de teledetección	Hernández-Martínez, J. L., Perera-Burgos, J. A., Acosta-González, G., Alvarado-Flores, J., Li, Y., & Leal-Bautista, R. M. (2023). Assessment of physicochemical parameters by remote sensing of Bacalar Lagoon, Yucatán Peninsula, Mexico. Water, 16(1), 159.
Laguna de Bacalar (variabilidad espacial y estacional)	≈ 6.6 – 8.3	Evaluación de parámetros fisicoquímicos bajo distintas condiciones hidrometeorológicas	Hernández-Terrones, L. M., et al. (2024). Hydrodynamic and physicochemical variability of Bacalar Lagoon under meteorological forcing. Hydrology, 11(5), 68.
Sistema hidroquímico de la laguna (condiciones kársticas generales)	≈ 7.6 – 8.3	Caracterización hidroquímica y relación con carbonatos y alcalinidad	Tobón-Velázquez, N. I., Rebolledo-Vieyra, M., Paytan, A., Broach, K. H., & Hernández-Terrones, L. M. (2019). *Hydrochemistry and carbonate sediment characterisation of Bacalar Lagoon, Mexican Caribbean*. Marine and Freshwater Research, 70(3), 382–394.

Dinámica de flujo superficial en la Laguna de Bacalar con énfasis en el sector de Los Rápidos

La dinámica hidrológica superficial de la Laguna de Bacalar ha sido caracterizada recientemente mediante mediciones directas de caudal (stream gauging) en distintos puntos del sistema lagunar. Un estudio relevante es el desarrollado por Kowalczyk, Hernández-Arana y Grundl (2024), quienes aplicaron el método de sección media (midsection method) para cuantificar caudales superficiales y estimar tiempos de residencia del agua en distintos sectores del sistema.

El estudio realizó mediciones en 13 sitios distribuidos a lo largo de la laguna y sus conexiones hidráulicas, empleando aforos directos con medición de velocidad y área transversal del flujo. A partir de estos datos se estimaron Caudales (m^3/s), Direcciones de flujo, Distribución espacial del movimiento del agua, Tiempos de residencia por cuenca interna. Este enfoque resulta particularmente relevante en un sistema kárstico como Bacalar, donde la hidrodinámica superficial interactúa con flujos subterráneos y donde pequeñas variaciones en pendiente hidráulica pueden generar cambios importantes en la velocidad del agua.

Los autores documentan que el flujo superficial dentro de la Laguna de Bacalar no es homogéneo, sino que presenta sectores con circulación lenta (zonas de mayor tiempo de residencia) y zonas con mayor velocidad de corriente asociadas a constricciones geomorfológicas. Se confirma que el sistema presenta una hidrodinámica segmentada en subcuencas internas, con variabilidad estacional asociada a precipitación y aportes subterráneos.

El tramo conocido como Los Rápidos constituye una de las secciones de mayor interés hidrológico dentro del sistema lagunar. Se trata de una constricción geomorfológica que conecta cuerpos lagunares internos y que actúa como un corredor hidráulico de intercambio. De acuerdo con Kowalczyk et al. (2024), los puntos de aforo ubicados en este sector registraron Velocidades de flujo superiores a las observadas en las porciones abiertas de la laguna, una mayor concentración de energía hidráulica debido a la reducción del ancho del canal, función de transferencia activa entre subcuencas internas del sistema. Esta condición convierte a Los Rápidos en un nodo hidrodinámico estratégico, donde se acelera el intercambio de agua entre sectores norte y sur. En este sitio se reduce localmente el tiempo de residencia, se favorece la mezcla de masas de agua con características fisicoquímicas ligeramente diferenciadas.

Desde el punto de vista ambiental, esta dinámica implica que cualquier alteración física (dragado, modificación del perfil transversal, incremento de cargas orgánicas, infraestructura ribereña) podría modificar la distribución de velocidades y, por ende, los patrones de conectividad interna del sistema lagunar. Asimismo, al tratarse de un punto de flujo concentrado, el sector presenta una mayor capacidad de transporte de partículas en suspensión en comparación con las zonas de baja energía hidráulica. Sin embargo, también es más sensible a modificaciones que alteren su sección hidráulica natural.

Corrientes hidrológicas y tiempos de residencia del agua en los rápidos y otras secciones de la laguna

La hidrodinámica de los rápidos y sus canales adyacentes está directamente influenciada por la distribución de corrientes y los tiempos de residencia del agua, parámetros esenciales para comprender la aggradación, la erosión y la estabilidad morfológica en la Laguna de Bacalar. La integración de los estudios de Kowalczyk (2024) y Matzuk (2020) permite una caracterización precisa de estas dinámicas.

Corrientes en los rápidos

Los rápidos se definen por un incremento de pendiente y velocidad del flujo, lo que genera turbulencia elevada y mayor capacidad de transporte de sedimentos. Según Kowalczyk (2024), los tramos de canales asociados a entradas subterráneas presentan flujos acelerados, con velocidades superiores a las observadas en zonas abiertas de la laguna, mayor mezcla vertical y lateral, favoreciendo dispersión de partículas finas y oxigenación del agua y alta energía hidráulica, que contribuye a mantener la morfología del canal y evita la deposición prematura de sedimentos.

Tiempo de residencia del agua

El tiempo de residencia se define como el promedio que una masa de agua permanece en un tramo antes de renovarse. Matzuk (2020) reporta que en la Zona norte (Buena Vista) el tiempo de residencia es de 11 años aproximadamente, indicando corrientes lentas y alta permanencia del agua. En la zona central de la laguna es de 0.33 años aproximadamente, reflejando renovación rápida y flujos moderados. En loq ue respecta a Los Rápidos y canales asociados el tiempos de residencia cortos, compatibles con alta energía del flujo y rápida dispersión de sedimentos.

Tabla IV-23. Tiempo de residencia del agua

Zona	Tiempo de residencia (años)	Características hidrodinámicas
Los Rápidos	< 0.1	Flujo rápido, turbulento, alta energía, baja deposición de sedimentos
Zona central de Bacalar	~0.33	Corrientes moderadas, flujo intermedio, agradación limitada
Zona norte de Bacalar (Buena Vista)	~11	Corrientes lentas, agua estancada, alta sedimentación y estabilidad morfológica

Los rápidos actúan como corredores de descarga y renovación, transportando agua y sedimentos hacia zonas más lentas de la laguna. La zona central, con flujo intermedio, funciona como área de tránsito y dispersión, equilibrando transporte y deposición. La zona norte, de tiempo de residencia prolongado, favorece procesos de aggradación de sedimentos finos y retención de nutrientes, pero es más vulnerable a acumulación de contaminantes si no se mantiene un flujo adecuado.

Comprender estas diferencias permite justificar la ubicación de corredores elevados y otras infraestructuras de bajo impacto, evitando zonas de flujo rápido y preservando la morfología del canal, tal y como se hizo con el andador elevado (Ver capítulo II). Prever áreas de agradación y erosión, informando estrategias de conservación de atolones, humedales y bordes del canal. Integrar la hidrodinámica al manejo integral de la laguna, considerando cómo la velocidad del flujo y los tiempos de residencia condicionan la efectividad de medidas de protección y restauración.

Aunque el estudio de Kowalczyk no publica directamente velocidades puntuales en los rápidos, investigaciones hidrológicas previas en la laguna señalan que existe un flujo hidráulico relativamente alto desde el sur hacia el norte, con corrientes más pronunciadas en el canal conocido como Los Rapidos -la salida del agua de los cenotes hacia la laguna. Este flujo descendente desde los inputs de agua subterránea (por ejemplo, desde Cenote Xul-Ha hacia el canal de los rápidos) genera velocidades significativamente mayores que en zonas abiertas del cuerpo lagunar, donde el flujo se dispersa en un patrón más lento y difuso.

Este contraste explica también por qué Los Rápidos actúan como un corredor hidráulico de alta energía, mientras que zonas amplias y abiertas de la laguna (como el norte) actúan como áreas de flujo retenido y elevado tiempo de residencia. Este patrón muestra que el canal de los rápidos actúa como un corredor de descarga y renovación, mientras que los sectores abiertos de la laguna actúan

como reservorios de agua con menor intercambio, lo que influye en la distribución de sedimentos, procesos de erosión/aggradación y condiciones ecológicas.

Régimen de corrientes en el canal de Los Rápidos

El canal de Los Rápidos constituye un estrechamiento geomorfológico natural dentro del sistema, lo que modifica significativamente la dinámica del flujo.

Aceleración por reducción de sección: De acuerdo con el principio de continuidad hidráulica cuando el ancho y la sección transversal disminuyen, la velocidad del flujo aumenta para mantener el volumen transportado. Tomando en consideración las características del canal del estudio batimétrico de 2022 el canal tiene una longitud aproximada de 1,944 m, con un ancho medio: 82.43 m y una profundidad máxima: de 9.59 m y posee además una configuración variable con sectores someros y depresiones centrales.

La reducción de sección respecto al cuerpo lagunar principal genera aceleración perceptible del flujo, mayor energía cinética en eje central y transporte selectivo de sedimentos finos. Este fenómeno explica el nombre local de “Rápidos”.

Distribución espacial de energía hidráulica

Con base en la morfología observada:

El eje central presenta mayor velocidad relativa, una menor acumulación permanente de sedimentos, mantenimiento de conectividad hidráulica y desarrollo de microbailitos en el fondo. .

Márgenes laterales: Menor velocidad, mayor retención sedimentaria, presencia de vegetación acuática. Y desarrollo de microbialitos.

Esta diferenciación espacial es consistente con agradación localizada, estabilidad del eje principal y dinámica morfosedimentaria activa.

Interacción entre corrientes y bioconstrucción

Las corrientes del canal cumplen una función reguladora:

- Evitan colmatación total del eje.
- Redistribuyen sedimentos.
- Mantienen intercambio hídrico entre sectores de la laguna.
- Controlan el crecimiento de vegetación en el eje principal.

La energía hidráulica central limita el establecimiento de macrófitas densas en la parte media del canal, manteniendo sección efectiva abierta. Si la velocidad disminuyera significativamente (por reducción del gradiente o aumento extremo de carga sedimentaria), podría incrementarse la retención de sedimentos. No obstante, no existe evidencia actual de reducción significativa de energía del flujo.

El uso como balneario, con tránsito controlado y ausencia de embarcaciones de alta potencia, ha permitido que no se generen turbulencias artificiales sostenidas, no haya erosión mecánica de márgenes, no se modifique la sección hidráulica natural y se conserve el patrón natural de flujo. Intervenciones estructurales o aumento de tránsito motorizado podrían alterar la distribución natural de energía.

Estabilidad hidráulica del sistema

Con base en:

- La continuidad morfobatimétrica.
- La presencia de eje profundo central.

- La ausencia de obstrucciones transversales.
- La dinámica diferenciada márgenes–centro.

El canal mantiene un régimen de corrientes funcional y consistente con su configuración geomorfológica. No se identifican indicadores de pérdida de conectividad hidráulica ni de reducción significativa de capacidad de transporte.

La Laguna de Bacalar presenta un régimen de corrientes controlado por forzamiento eólico y gradiente hidráulico interno. El canal de Los Rápidos actúa como un acelerador natural del flujo debido a su estrechamiento geométrico. La dinámica actual mantiene conectividad longitudinal, permite redistribución sedimentaria, limita colmatación del eje principal y favorece heterogeneidad ecológica lateral. El sistema presenta comportamiento hidráulico funcional y coherente con su morfología kárstica somera.

Dinámica de transparencia y turbidez en función de la batimetría y el régimen de flujo

De acuerdo con la caracterización del sistema ambiental en este capítulo, el canal de los Rápidos se define como un sistema de flujo continuo con profundidades someras, donde la batimetría indica que la columna de agua es limitada en la mayor parte de su extensión. Esta condición permite que, bajo condiciones normales, la transparencia del agua sea suficiente para observar el fondo del canal en prácticamente toda su longitud.

En este contexto, la visibilidad completa del fondo no solo refleja una alta transparencia, sino que constituye un indicador consistente de condiciones oligotróficas, caracterizadas por baja concentración de sedimentos suspendidos, baja carga de nutrientes y alta penetración de la luz.

No obstante, la dinámica del sistema está fuertemente influenciada por eventos hidrometeorológicos, particularmente lluvias intensas, que generan aportes temporales de sedimentos y nutrientes desde las planicies de inundación, humedales y zonas de captación descritas en el Capítulo IV. Estos aportes se manifiestan como incrementos puntuales en la turbidez y disminuciones en la transparencia del agua.

Sin embargo, debido a la naturaleza de flujo del canal y a su conectividad hidrológica, estos incrementos no se acumulan ni generan condiciones persistentes de deterioro, sino que son transportados aguas abajo en periodos cortos, restableciéndose las condiciones de claridad una vez que cesa el evento de aporte.

En este sentido, la variabilidad observada en la transparencia del agua responde a un comportamiento pulsátil propio del sistema, más que a un proceso de degradación estructural.

Por lo anterior, la evaluación de la calidad del agua y de sus efectos sobre los componentes sensibles del sistema, como los microbialitos, se realiza diferenciando entre condiciones base y condiciones de evento, considerando únicamente como relevantes aquellas alteraciones que excedan la variabilidad natural del sistema o que presenten persistencia en el tiempo.

Criterio de medición de transparencia ajustado a condiciones batimétricas

Considerando la batimetría somera del canal, descrita en múltiples puntos la transparencia del agua excede la profundidad local, permitiendo la visibilidad directa del fondo. En estos casos, la medición mediante disco Secchi se encuentra limitada por la profundidad del sistema, por lo que el valor registrado corresponde a una condición de transparencia igual o mayor a la profundidad del canal en el punto de medición.

Bajo este escenario, la transparencia se interpreta como óptima dentro del rango ecológico del sistema, y se complementa con mediciones de turbidez como indicador sensible a cambios en la concentración de partículas suspendidas.

Este enfoque permite evitar subestimaciones de la transparencia real del sistema y garantiza una interpretación adecuada de los resultados en función de las condiciones físicas del canal.En función

de lo anterior, la transparencia del agua se considera un indicador integrado del estado del sistema, cuya interpretación se basa en:

- La visibilidad del fondo en condiciones normales, consistente con alta transparencia
- La presencia de incrementos temporales de turbidez asociados a eventos de lluvia
- La rápida recuperación de las condiciones de claridad debido al flujo continuo

Este comportamiento es consistente con sistemas kársticos de flujo activo, en los que la variabilidad temporal no implica necesariamente deterioro, sino que forma parte de la dinámica natural del sistema.
La dinámica de transparencia observada en el canal de los Rápidos responde a un sistema de flujo con batimetría somera, en el que las variaciones temporales asociadas a eventos hidrometeorológicos no representan un deterioro de la calidad del agua, sino una expresión de su funcionamiento natural, caracterizado por la rápida renovación y transporte de materiales.

Procesos de retroalimentación positiva, agradación y sucesión hidroseral en el canal de Los Rápidos

El canal de Los Rápidos no es únicamente un corredor hidráulico; es también un espacio donde interactúan procesos hidrodinámicos, biogeoquímicos y geomorfológicos que operan en escalas temporales distintas pero interdependientes. Entre ellos destaca la relación entre crecimiento de microbialitos, atrapamiento de sedimentos y transformación progresiva del microrelieve sumergido. Los factores que influyen en la aggradación, morfología e hidrodinámica del canal incluyen:

Flujo hidráulico principal: La velocidad y el volumen del agua que circula por el canal determinan la capacidad de transporte de sedimentos y la erosión de sus márgenes. Mantener los corredores alejados de esta corriente principal ayuda a no alterar estos procesos naturales.

Ubicación de humedales y zonas adyacentes: Los humedales al poniente del canal funcionan como amortiguadores naturales que retienen sedimentos y regulan la dinámica de flujo. La proximidad de los corredores a estas áreas permite minimizar interferencias con la circulación natural del agua.

Tránsito de visitantes: El pisoteo o el cruce de personas puede compactar sedimentos y alterar la morfología de los atolones cercanos al canal. La construcción del andador buscó canalizar este tránsito para evitar impactos directos.

Procesos de sedimentación y agradación natural: La acumulación de sedimentos transportados por el agua modifica gradualmente la morfología del canal. Factores como la carga sedimentaria proveniente de zonas río arriba, la topografía y la vegetación ribereña influyen en dónde y cómo se deposita el material.

Interacción con la vegetación acuática y ribereña: Las raíces y tallos de vegetación en los márgenes y humedales estabilizan sedimentos y afectan la velocidad del flujo local, condicionando la formación de barras, meandros o islotes.

Eventos hidrológicos extremos: Lluvias intensas, crecientes o sequías temporales alteran temporalmente la hidrodinámica, provocando cambios en la erosión, deposición y morfología del canal.

Retroalimentación positiva asociada al crecimiento de microbialitos

Los microbialitos presentes en la Laguna de Bacalar son estructuras carbonatadas formadas por comunidades microbianas que inducen la precipitación de carbonato de calcio bajo condiciones de alta alcalinidad y saturación de carbonatos. En el canal de Los Rápidos, el régimen de flujo

moderado a acelerado cumple una doble función de favorecer el suministro constante de iones (Ca^{2+} y HCO_3^-) y evitar el enterramiento permanente por sedimentos finos. Sin embargo, conforme los microbialitos crecen y aumentan su rugosidad superficial, se genera un mecanismo de retroalimentación positiva, donde:

- ↓ La estructura microbiana aumenta la rugosidad hidráulica del lecho.
- ↓ La mayor rugosidad reduce localmente la velocidad del flujo en microescala.
- ↓ La disminución de velocidad favorece el atrapamiento de partículas carbonatadas y sedimentos finos.
- ↓ El material atrapado actúa como sustrato adicional para colonización microbiana.
- ↓ Se incrementa la superficie efectiva de precipitación carbonatada.

Este ciclo refuerza el crecimiento estructural y genera microambientes diferenciados dentro del canal. En términos hidrodinámicos, el sistema transita de un lecho relativamente homogéneo a un mosaico de micro-relieves que modifican la distribución de energía y flujo en escala centimétrica y métrica.

Agradación localizada y cambios en el perfil del canal

La acumulación progresiva de sedimentos y carbonatos inducida por las estructuras microbianas puede conducir a procesos de agradación localizada, particularmente en zonas donde la energía hidráulica disminuye lateralmente y existen microcurvaturas del canal y se generan zonas de sombra hidráulica detrás de estructuras mayores.

La agradación implica elevación paulatina del lecho por acumulación de material, y es un proceso natural que sucede en toda la región. En Los Rápidos, este proceso no es uniforme; se presenta en parches, generando bancos someros, microbarras carbonatadas, transiciones abruptas de profundidad. Geomorfológicamente, estos cambios pueden redirigir microcorrientes, incrementar la heterogeneidad hidráulica, alterar trayectorias de transporte de sedimentos. Es importante subrayar que, en condiciones naturales, la agradación es parte del equilibrio dinámico del sistema. No obstante, si se incrementan aportes externos de sedimentos o nutrientes, el proceso puede acelerarse y modificar la sección hidráulica efectiva del canal.

Sucesión hidroseral en microambientes someros

La agradación progresiva y la estabilización del sustrato favorecen la colonización por macrófitas acuáticas y vegetación ribereña en sectores someros. Este proceso puede interpretarse dentro del marco de una sucesión hidroseral, donde: Se parte de un fondo dominado por flujo abierto, se establecen estructuras microbianas y carbonatadas, se acumula sedimento fino, se coloniza por vegetación sumergida y se desarrollan condiciones de menor profundidad y mayor retención de materia orgánica.

En escalas de tiempo largas, este proceso puede conducir a la transición de áreas de canal activo hacia microzonas de humedal o áreas palustres en bordes laterales. En Los Rápidos, la alta energía del flujo central limita la sucesión completa en el eje principal del canal; sin embargo, en márgenes y zonas de remanso el proceso puede estar más avanzado.

Interacción entre uso humano y procesos de retroalimentación

El uso del sitio como balneario, con control de acceso para evitar la masificación del mismo, con control relativo del tránsito motorizado y ausencia de dragados extensivos, ha permitido que estos procesos ocurran bajo dinámicas naturales. Es importante destacar que los dragados o ampliaciones de sección interrumpirían la retroalimentación microbiana,los aumentos artificiales de

energía hidráulica podrían erosionar estructuras en crecimiento con lo que los incrementos de carga de sedimentos externos podrían acelerar la agradación más allá del equilibrio natural y los aportes excesivos de nutrientes podrían modificar la composición microbiana y alterar el tipo de precipitación carbonatada.

La estabilidad observada en el canal sugiere que, hasta ahora, el sistema mantiene un balance entre crecimiento bioconstructivo, transporte sedimentario y energía hidráulica. Estos procesos indican que el canal es un sistema dinámico en evolución, donde los microbialitos no son estructuras estáticas, la geomorfología del lecho está en transformación gradual, la hidrodinámica y la bioconstrucción están acopladas. Así que cualquier intervención que modifique el régimen de flujo, la carga sedimentaria, o la química del agua, podría alterar los bucles de retroalimentación positiva y modificar la trayectoria de sucesión ecológica del canal.

Línea base técnica verificable

El estudio batimétrico realizado en junio de 2022 (Santos Itzá, 2022) constituye el levantamiento de mayor resolución disponible para el área de Los Rápidos, con 17,113 puntos georreferenciados, modelación mediante interpolación kriging, perfiles longitudinales y transversales y modelado tridimensional del lecho.

La profundidad máxima registrada fue de 9.59 m, con mayores profundidades localizadas en los extremos norte (≈5.8 m) y sur (≈6.23 m), manteniéndose continuidad hidráulica a lo largo del eje principal del canal. Este estudio establece una línea base morfométrica objetiva y cuantificable.

Agradación localizada vs. colmatación sistémica

Los perfiles centrales (6–10) muestran reducción de profundidad asociada a depósito de sedimentos y presencia de vegetación acuática. No obstante, no se identificó obstrucción transversal, no se documentó pérdida de sección hidráulica continua, no existe evidencia de interrupción del flujo longitudinal, no se registraron bancos emergentes que segmenten el canal.

La agradación detectada es espacialmente localizada y compatible con procesos morfodinámicos naturales en sistemas someros carbonatados. Desde el punto de vista técnico, la presencia de asolvamiento parcial no constituye evidencia de colmatación sistémica ni de pérdida funcional.

Conectividad hidráulica funcional

Los datos batimétricos demuestran que:

- El canal mantiene continuidad longitudinal.
- Lo extremos conservan profundidades mayores.
- No existen umbrales morfológicos que impidan el intercambio hídrico.
- Mientras el eje hidráulico principal conserve conectividad y sección efectiva, el sistema mantiene funcionalidad.
- No se identifican indicadores morfométricos de aislamiento hidráulico progresivo.

Ausencia de evidencia de tendencia acelerada

El estudio disponible corresponde a una medición puntual (2022). Desde el punto de vista técnico, por lo que no puede inferirse tendencia sin análisis multitemporal, no existe serie histórica comparativa que demuestre reducción progresiva de profundidad, no hay cuantificación de tasa anual de sedimentación.Por tanto, cualquier afirmación de “cierre progresivo” carecería de sustento

técnico sin evidencia comparativa longitudinal. La información disponible describe estado actual, no tendencia.

Naturaleza dinámica del sistema

El canal presenta un microambientes con mayor presencia de microbialitos, sectores con retención sedimentaria, áreas con vegetación estabilizadora y sectores en equilibrio morfológico. Este patrón es consistente con sistemas kársticos someros en evolución geomorfológica activa, donde la redistribución espacial de sedimentos forma parte del funcionamiento natural. No se identifican indicadores de degradación estructural acelerada.

Con base en el principio de objetividad técnica:

- No existe evidencia de colapso hidráulico.
- No se documenta pérdida de conectividad.
- No hay prueba de cierre progresivo.
- No se identifica reducción sistemática de sección transversal.
- No hay serie temporal que demuestre aceleración.

En consecuencia, no se justifica técnicamente la implementación de medidas correctivas estructurales (dragados, ampliaciones o intervenciones de ingeniería) bajo el argumento de prevenir cierre inminente. Cualquier acción de este tipo requeriría de modelación hidráulica previa, evaluación de impacto en bioconstrucciones, y análisis comparativo multianual. Intervenir sin evidencia de tendencia podría generar mayor alteración que el proceso natural observado.

Con base en el estudio batimétrico 2022, el canal de Los Rápidos:

- Mantiene conectividad hidráulica funcional.
- Presenta agradación localizada compatible con dinámica natural.
- No evidencia colmatación transversal generalizada.
- No muestra indicadores de cierre acelerado.
- Se encuentra dentro de su rango morfodinámico esperable para un sistema carbonatado somero.
- En ausencia de análisis comparativo multitemporal, no es técnicamente procedente afirmar que el sistema se encuentra en proceso de clausura funcional.
- La condición actual corresponde a un sistema dinámico activo, no a un sistema en colapso.

Impacto hidrológico de infraestructura de confinamiento en zonas con microbialitos

Como ya lo discutimos en un apartado anterior, en distintos sectores de la Laguna de Bacalar se han implementado medidas físicas de protección de microbialitos, tales como cercados de madera tipo estacado, estructuras perimetrales de contención, líneas de boyado extensivas y delimitaciones flotantes de largo alcance. Estas medidas buscan restringir el contacto directo con las formaciones carbonatadas. Sin embargo, desde el punto de vista hidrológico y morfodinámico, la instalación de infraestructura fija o semirrígida dentro de un sistema somero con dinámica de flujo activo requiere evaluación integral.

Interacción entre estructuras y dinámica de corrientes

En sistemas kársticos someros con flujo longitudinal, corrientes inducidas por viento, gradiente hidráulico activo y alta sensibilidad a redistribución sedimentaria, la colocación de barreras físicas puede generar:

- Alteración de la sección hidráulica efectiva. Donde los cercados verticales funcionan como elementos de fricción adicional, obstáculos que modifican patrones de velocidad y puntos de turbulencia localizada.
- En un canal con corriente -como Los Rápidos- la instalación de estructuras perpendiculares o parcialmente transversales podría reducir velocidad en sectores puntuales, generar zonas de remanso, favorecer deposición localizada de sedimentos. Y acelerar agradación en márgenes intervenidos.
- Efecto de retención sedimentaria inducida. En presencia de cercados tipo estacado, se incrementa la rugosidad hidráulica artificial, se favorece atrapamiento de partículas finas y se modifica el patrón natural de transporte selectivo. Esto puede amplificar el proceso de retroalimentación positiva ya descrito:

Más retención → menor velocidad local → mayor sedimentación → mayor establecimiento vegetal → mayor retención.

En otras palabras, la infraestructura puede convertirse en catalizador artificial de procesos hidroserales.

Impacto acumulativo de líneas de boyado extensivas

Las líneas kilométricas de boyas, aunque flotantes, suelen anclarse al fondo mediante lastres, anclajes puntuales y cadenas o cabos. Estos elementos interfieren con microcorrientes, alteran patrones de flujo cercano al fondo y generan puntos de acumulación de material orgánico y sedimentos. En sistemas oligotróficos y carbonatados, pequeñas modificaciones en circulación pueden tener efectos desproporcionados.

El canal presenta un flujo perceptible, sección variable, un eje central activo y márgenes con agradación localizada. Instalar cercados en una zona con corriente activa introduce además un componente de riesgo en materia de Protección Civil, con un posible atrapamiento de usuarios, incremento de turbulencia localizada, acumulación de material flotante, riesgo en eventos de crecida o viento fuerte. En un estrechamiento hidráulico natural, cualquier obstáculo fijo puede modificar el patrón de flujo más allá del punto intervenido.

La laguna, especialmente en la zona sur, presenta alta alcalinidad, dominancia de carbonatos, sensibilidad a cambios de pH. Y procesos bioconstructivos dependientes de microgradientes químicos. Modificar patrones de circulación puede cambiar microzonas de intercambio, alterar distribución de oxígeno disuelto, afectar precipitación localizada de carbonato e incidir indirectamente en crecimiento de microbialitos.

En sistemas autobioconstructivos activos, el flujo no es solo transporte físico; es modulador químico. La ausencia de modelación hidráulica previa convierte la instalación masiva de cercados o barreras en una intervención experimental no evaluada, ya que la protección de microbialitos debe considerar su naturaleza bioconstructiva dinámica, la dependencia del flujo, la sensibilidad a modificaciones hidrológicas. Y los riesgos asociados a estructuras fijas en zonas con corriente.

Alternativas menos invasivas incluyen el manejo de límites máximos permisibles (lo que requiere datos), Sensibilización y educación ambiental, lo que se realiza con cada visitante que llega a los rápidos, control de embarcaciones motorizadas (lo que se lleva a cabo por capitanía de puerto desde hace más de una década), la zonificación sin infraestructura rígida y monitoreo adaptativo.

Medio Biológico

El Sistema Ambiental de Los Rápidos se conforma por la integración territorial de las Unidades de Gestión Ambiental 29 (Corredor Turístico Xul-Ha–Bacalar) y 30 (Occidente Xul-Ha), ubicadas en el municipio de Othón P. Blanco. Ambas unidades comparten una política ambiental de

Aprovechamiento Sustentable y presentan una estrecha relación funcional con el Sistema Lagunar de Bacalar, particularmente en términos paisajísticos, hidrológicos y de recarga acuífera.

Desde el punto de vista ecológico, el sistema ambiental se caracteriza por un mosaico dominado por vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia en fase arbustiva, intercalada con selva baja secundaria, parches de vegetación secundaria arbórea, manglar de borde lagunar (en la UGA 29) y superficies destinadas a pastizal cultivado y agricultura.

La estructura vegetal refleja procesos históricos de transformación antrópica seguidos de regeneración natural. No obstante, estas comunidades mantienen funciones ecológicas relevantes, especialmente en un contexto de alta permeabilidad kárstica donde la cobertura vegetal desempeña un papel determinante en la infiltración, la regulación de escorrentías y la protección del acuífero.

En la UGA 29, la presencia de manglar asociado al borde lagunar y cuerpos de agua superficiales fortalece la interacción tierra–agua, aportando servicios ambientales como estabilización de márgenes, filtración natural y provisión de hábitat. En esta unidad, el 24.23% de la superficie corresponde a vegetación en buen estado de conservación, representada principalmente por manglar.

Por su parte, la UGA 30 presenta una cobertura mayoritariamente secundaria en distintos estadios sucesionales, sin vegetación clasificada en buen estado de conservación, pero con una proporción significativa de superficie con importancia para la recarga acuífera (81.58%), lo que subraya la relevancia hidrológica del sistema.

En conjunto, el Sistema Ambiental Los Rápidos puede definirse como un continuo ecológico terrestre–ribereño–lagunar, donde la vegetación secundaria actúa como reguladora hidrológica en un entorno kárstico. El manglar y el cuerpo de agua establecen una transición funcional entre ecosistemas terrestres y acuáticos. La alta proporción de superficie con importancia para recarga de acuíferos (74.17% en UGA 29 y 81.58% en UGA 30) confiere al sistema sensibilidad ambiental ante cambios de uso de suelo. Las áreas agropecuarias representan zonas de presión potencial, aunque insertas en una matriz predominantemente vegetal.

La integración de las UGA 29 y 30 permite caracterizar el paisaje terrestre ubicado al poniente de la Laguna de Bacalar como un sistema predominantemente compuesto por vegetación secundaria en distintos estadios sucesionales, derivada de procesos históricos de cambio de uso de suelo asociados a actividades agropecuarias.

Del total de 2,602.68 hectáreas analizadas, aproximadamente 1,963.42 hectáreas (≈75%) corresponden a vegetación secundaria de selva mediana y selva baja subperennifolia, predominando la fase arbustiva. Esta estructura es consistente con territorios que fueron previamente desmontados y utilizados para fines productivos, y que actualmente se encuentran en procesos de regeneración natural.

El área específica de Los Rápidos se inserta dentro de esta dinámica territorial. De acuerdo con antecedentes de uso del suelo, el sitio operó como unidad agropecuaria aproximadamente hace tres décadas, manteniendo actividades productivas hasta hace

alrededor de 15 años. La cobertura vegetal presente en la actualidad corresponde, por tanto, a vegetación secundaria establecida posterior al abandono o reducción de dichas a ctividades.

El componente de mayor conservación estructural corresponde al manglar (182.71 ha) localizado en la franja ribereña de la UGA 29, asociado directamente al cuerpo lagunar. Este ecosistema representa el único porcentaje reportado como vegetación en buen estado de conservación (24.23% en esa unidad), constituyendo un elemento clave en la interfase tierra–agua.

Las superficies destinadas actualmente a pastizales cultivados (338.21 ha) y agricultura de riego semipermanente (106.28 ha) suman aproximadamente 444.49 hectáreas (≈17% del total integrado), evidenciando la coexistencia de usos productivos con áreas en regeneración.

El paisaje terrestre poniente de la laguna se caracteriza por:

- Predominio de vegetación secundaria en fase arbustiva.
- Presencia localizada de vegetación secundaria arbórea en estadios más avanzados.
- Conservación puntual de manglar en el borde lagunar.
- Historial documentado de uso agropecuario.
- Procesos activos de regeneración natural.

En términos de línea base ambiental, se trata de un sistema con estructura forestal secundaria dominante, funcionalidad ecológica en recuperación y alta relevancia hidrológica debido a su ubicación sobre plataforma kárstica y su conexión directa con el sistema lagunar.

Tabla IV-24. Tabla comparativa de las UGA que integran el Sistema Ambiental del predio Los Rápidos

Característica	UGA 29 – Corredor Turístico Xul-Ha–Bacalar	UGA 30 – Occidente Xul-Ha
Superficie total	754.08 ha	1,848.60 ha
Política ambiental	Aprovechamiento Sustentable	Aprovechamiento Sustentable
Vegetación secundaria arbustiva SMQ	455.25 ha (60.37%)	1,001.18 ha (54.16%)
Vegetación secundaria arbórea SMQ	-	173.20 ha (9.37%)
Vegetación secundaria arbustiva SBQ	-	333.79 ha (18.06%)
Manglar	182.71 ha (24.23%)	-
Pastizal cultivado	104.06 ha (13.80%)	234.15 ha (12.67%)
Agricultura de riego	-	106.28 ha (5.75%)
Cuerpo de agua	12.06 ha (1.60%)	-
Vegetación en buen estado	24.23%	0.00%
Superficie con importancia para recarga	74	81.58

Vegetación

Vegetación en Planicies Sedimentarias

De acuerdo con la cartografía temática “Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo” (CONACYT–CINVESTAV–UNAM), el área de estudio se inserta dentro de un sistema regional de planicies sedimentarias asociadas al cuerpo lagunar, caracterizadas por un mosaico de comunidades hidrófilas, manglares y vegetación secundaria en distintos estadios sucesionales. La vegetación descrita a continuación corresponde a la zona de planicies sedimentarias (alta y baja) del predio Los Rápidos.

Tipos de vegetación identificados en la planicie sedimentaria baja y alta

Zonas inundables con vegetación hidrófila.

Constituyen la matriz dominante en las planicies cercanas al cuerpo de agua. Se caracterizan por comunidades herbáceas palustres, vegetación adaptada a saturación prolongada del suelo, alta productividad primaria.

Tabla IV-25. Especies vegetales de la zona inundables con vegetación hidrófila. Fuente de información "Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo" (CONACYT–CINVESTAV–UNAM) y verificación de campo.

Especie	Nombre común	Forma biológica / Estrato	Observaciones ecológicas
Cladium jamaicense	Cortadera	Ciperácea abundante	En bordes de cuerpos de agua y canales
Juncia bastarda	Junquillo negro	Ciperácea	Parte de juncales
Typha domingensis	Tule	Emergente palustre dominante	Forma tulares densos en zonas de inundación permanente o semipermanente
Cladium jamaicense	Sawgrass / Cortadera	Herbácea emergente	Común en humedales kársticos; tolera inundación prolongada
Eleocharis cellulosa	Junquillo	Ciperácea emergente	Microdepresiones con lámina somera de agua
Eleocharis interstincta	Junquillo	Ciperácea	Indicadora de suelos saturados
Schoenoplectus californicus	Tule grande	Ciperácea robusta	En bordes de cuerpos de agua y canales
Cyperus giganteus	Papiro criollo	Ciperácea alta	En zonas permanentemente húmedas
Phragmites australis	Carrizo	Gramínea emergente	Puede colonizar áreas alteradas
Hymenachne amplexicaulis	Pasto alemán	Gramínea palustre	En áreas con inundación estacional
Nymphaea ampla	Ninfa blanca	Flotante enraizada	En zonas con espejo de agua tranquilo
Juncia bastarda	Junquillo negro	Herbácea perene	
Rhizophora mangle	Mangle rojo	Árbol	En zonas inundables
Conocarpus erectus	Mangle botoncillo	Árbol	
Metopium browneii	Chechem negro	Árbol	

Manglar de franja

Se observan las áreas con amplio desarrollo de vegetación de manglar. Se distribuyen en las extensas planicies de inundación de la costa Este de la laguna de Bacalar, frente al predio y en la zona de planicie sedimentaria baja y alta del mismo, en zonas de acumulación de sedimento (40 – 70 cm) compuesto por arena, limo y restos orgánicos, cuyo nivel de inundación depende del régimen de lluvias. Así como en los márgenes de la laguna, y asociado a las plataformas carbonatadas (microbialitos).

El estrato arbóreo está dominado por mangle rojo (Rhizophora mangle) tipo chaparro, alcanza alturas máximas de entre 2 - 4 m, escasa presencia de mangle botoncillo (Conocarpus erectus) (3 - 4 m de altura máxima). En el estrato herbáceo las cyperaceas son comunes (Carex, Eleocharis, Cyperus y Cladium jamaicense) y tule (Typha domingensis). Como epífitas se pueden encontrar Bromelias (Tillandsia bulbosa, Tillandsia streptophylla, Tillandsia sp.)

Tabla IV-26. Especies representativas del Manglar de franja – SisteLos Rápidos. Fuente de información "Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo" (CONACYT–CINVESTAV–UNAM) y verificación de campo.

Especie	Nombre común	Forma biológica / Estrato	Observaciones ecológicas	Estatus NOM-059-SEMARNAT-2010 / Registro regional
Rhizophora mangle	Mangle rojo	Árbol / Estrato arbóreo (chaparro)	Especie dominante del manglar de franja. Se distribuye en planicies de inundación y márgenes lagunares con acumulación de sedimento (40–70 cm) compuesto por arena, limo y materia orgánica. Altura observada de 2–4 m. Asociada a plataformas carbonatadas con presencia de microbialitos.	**Amenazada (A)**. Registrada ampliamente en Bacalar.
Conocarpus erectus	Mangle botoncillo	Árbol / Estrato arbóreo	Presencia escasa a moderada en microrelieves ligeramente más elevados o con menor permanencia de inundación. Altura máxima registrada 3–4 m.	**Amenazada (A)**. Registrada en Bacalar.
Cladium jamaicense	Cortadera, navajuela	Hierba perenne / Estrato herbáceo	Forma macollos densos en suelos saturados. Indicadora de acumulación orgánica y fluctuación hídrica estacional.	No listada en NOM-059. Reportada en humedales de Bacalar.
Typha domingensis	Tule	Hierba emergente / Estrato herbáceo	Presente en áreas con mayor permanencia de agua dentro del manglar. Contribuye a retención de sedimentos y materia orgánica.	No listada. Amplia distribución regional.
Carex spp.	-	Hierba / Estrato herbáceo	Cyperáceas asociadas a suelos limo-arenosos saturados; forman agrupaciones dispersas.	No listadas a nivel género. Reportadas regionalmente.
Eleocharis spp.	Junquillo	Hierba / Estrato herbáceo	Frecuente en zonas bajas del manglar con variación estacional del nivel de agua.	No listadas a nivel género. Registradas regionalmente.
Cyperus spp.	Coquillo	Hierba / Estrato herbáceo	Se desarrolla en suelos húmedos con acumulación de materia orgánica; cobertura variable.	No listadas a nivel género. Reportadas regionalmente.
Tillandsia bulbosa	Clavel del aire	Epífita / Estrato arbóreo	Se establece sobre ramas de mangle rojo; asociada a alta humedad atmosférica.	No listada. Registrada en Bacalar.
Tillandsia streptophylla	Bromelia	Epífita / Estrato arbóreo	Presente en ramas expuestas; tolera radiación y salinidad.	No listada. Registrada en Bacalar.
Tillandsia sp.	Bromelia	Epífita / Estrato arbóreo	Presencia ocasional; incrementa la diversidad estructural del dosel.	No evaluable a nivel específico.

Manglar con pastizal hidrófilo

Zonas bajas inundables con acumulación de sedimento (40 – 80 cm), compuesto por arena, limo y restos orgánicos. La vegetación presente es predominantemente herbácea, con varios géneros de

Cyperaceae, como Carex, Eleocharis, Cyperus, Cladium jamaicense (cortadera, navajuela) y tule (Typha domingensis), que se distinguen por formar macollos o manojos en conjuntos o dispersos. La navajuela y tule pueden alcanzar hasta 1m de altura y se desarrollan en mayor extensión que las otras cyperaceas. En menor proporción, el estrato arbóreo, está representado por individuos de mangle rojo (Rhizophora mangle) tipo chaparro (1 - 2 m de altura máxima).

Tabla IV-27. Especies representativas del Manglar con pastizal hidrófilo. Fuente de información "Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo" (CONACYT–CINVESTAV–UNAM) y verificación de campo.

Especie	Nombre común	Forma biológica / Estrato	Observaciones ecológicas	Estatus NOM-059-SEMARNAT-2010
Cladium jamaicense	Cortadera, navajuela	Hierba perenne / Estrato herbáceo dominante	Especie característica del pastizal hidrófilo. Forma macollos densos en suelos con acumulación de sedimento (40–80 cm) compuesto por arena, limo y materia orgánica. Puede alcanzar hasta 1 m de altura. Presenta amplia cobertura en zonas inundables.	No listada en NOM-059. Documentada en humedales de Bacalar.
Typha domingensis	Tule	Hierba emergente / Estrato herbáceo dominante	Forma manchones extensos en áreas con mayor permanencia de agua. Puede alcanzar o superar 1 m de altura. Contribuye a la retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica.	No listada. Amplia distribución regional en Bacalar.
Carex spp.	-	Hierba / Estrato herbáceo	Cyperáceas presentes en agrupaciones dispersas o en pequeños manojos. Asociadas a suelos saturados con fluctuación hídrica estacional.	No listadas a nivel género. Reportadas regionalmente.
Eleocharis spp.	Junquillo	Hierba / Estrato herbáceo	Frecuente en zonas bajas inundables; tolera variaciones en el régimen hídrico. Contribuye a la cobertura continua del pastizal.	No listadas a nivel género. Registradas regionalmente.
Cyperus spp.	Coquillo	Hierba / Estrato herbáceo	Se desarrolla en suelos húmedos con acumulación orgánica; cobertura variable y distribución dispersa.	No listadas a nivel género. Reportadas regionalmente.
Rhizophora mangle	Mangle rojo	Árbol / Estrato arbóreo (chaparro)	Presente en menor proporción. Individuos tipo chaparro con alturas de 1–2 m, asociados a microrelieves ligeramente elevados dentro del pastizal hidrófilo.	**Amenazada (A)**. Registrada ampliamente en Bacalar.

Petén de manglar / Manglar – Selva

Representa a por un lado a los petenes y por otro, a las zonas de transición entre manglar y lavegetación de la parte superior delpredio, hacia el oniente.

El Petén de Manglar son islas circulares u ovaladas de vegetación que se desarrollan sobre sustrato consolidado. La vegetación es una mezcla de especies de manglar y tular que se desarrollan en la periferia, y especies de selva hacia el interior. En el estrato arbóreo se desarrolla principalmente por mangle rojo (R. Mangle), de hasta 8 m de altura, algunos individuos de mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), de hasta 10 m de altura, chechen (*Metopium brownei)*, palma chit (*Thrinax radiata*), palma tasiste (*Acoelorraphe wrightii*), árbol de cera (*Morella cerifera*), julub (*Bravaisia berlanderiana*) y limoncillo (*Bonellia macrocarpa ssp. macrocarpa*). Las epífitas más comunes las integran bromelias (*Tillandsia bulbosa, Tillandsia streptophylla, Tillandsia sp*.), orquideas (*Oncidium sp., Myrmecophila sp*.) y algunas cactáceas (*Selenicereus grandiflorus ssp., donkelaarii, Strophocactus testudo*, conocido como pitaya de tortuga).

Los petenes generalmente se encuentran rodeados por un estrato herbáceo conformado por cyperaceas como *Carex sp., Eleocharis sp., Cyperus sp*. y *Cladium jamaicense* (cortadera, navajuela), pero también se pueden encontrar gramíneas como el carrizo (*Phragmites australis*) y el tule (*Typha domingensis*).

Tabla IV-28. Especies representativas del Petén de manglar / Transición Manglar–Selva . Fuente de información "Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo" (CONACYT–CINVESTAV–UNAM) y verificación de campo.

Especie	Nombre común	Forma biológica / Estrato	Observaciones ecológicas	Estatus NOM-059-SEMARNAT-2010
Rhizophora mangle	Mangle rojo	Árbol / Estrato arbóreo	Especie dominante en la periferia del petén. Puede alcanzar hasta 8 m de altura sobre sustrato consolidado. Indica influencia hídrica permanente o semipermanente.	Amenazada (A). Registrada ampliamente en Bacalar.
Conocarpus erectus	Mangle botoncillo	Árbol / Estrato arbóreo	Presente en zonas ligeramente elevadas del petén; hasta 10 m de altura. Asociado a menor permanencia de inundación.	Amenazada (A). Registrada en Bacalar.
Metopium brownei	Chechén	Árbol / Estrato arbóreo interior	Especie característica de selva mediana subperennifolia hacia el interior del petén. Indicadora de transición hacia condiciones menos inundables.	No listada. Registrada regionalmente.
Chrysobalanus icaco	Icaco	Arbusto / Árbol pequeño	Presente en zonas intermedias del petén; tolera suelos húmedos y ligeramente salobres.	No listada. Reportada en Bacalar.
Thrinax radiata	Palma chit	Palma / Estrato arbóreo	Asociada a sustratos consolidados del interior del petén. Indicadora de condiciones mejor drenadas.	Amenazada (A). Registrada en la región.
Acoelorraphe wrightii	Palma tasiste	Palma / Estrato arbóreo	Típica de humedales y petenes; tolera inundación estacional.	Sujeta a Protección Especial (Pr).

Especie	Nombre común	Forma biológica / Estrato	Observaciones ecológicas	Estatus NOM-059-SEMARNAT-2010
				Registrada regionalmente.
Morella cerifera	Árbol de cera	Árbol / Estrato arbóreo	Asociada a bordes del petén; tolera suelos húmedos y transiciones ecológicas.	No listada. Reportada regionalmente.
Bravaisia berlandieriana	Julub	Árbol / Estrato arbóreo	Especie de selva mediana subperennifolia en el interior del petén.	No listada. Registrada regionalmente.
Bonellia macrocarpa ssp. *macrocarpa*	Limoncillo	Árbol pequeño	Presente en interior del petén; asociada a sustrato consolidado.	No listada. Reportada regionalmente.
Tillandsia bulbosa	Clavel del aire	Epífita	Común sobre ramas de manglar y especies arbóreas del petén.	No listada. Registrada en Bacalar.
Tillandsia streptophylla	Bromelia	Epífita	Presente en ramas expuestas; tolera radiación y humedad elevada.	No listada. Registrada en Bacalar.
Tillandsia sp.	Bromelia	Epífita	Incrementa complejidad estructural del dosel.	No evaluable a nivel específico.
Oncidium sp.	Orquídea	Epífita	Asociada a ramas en condiciones de alta humedad ambiental.	Algunas especies del género están listadas en CITES; no evaluable a nivel específico en NOM-059.
Myrmecophila sp.	Orquídea hormiguera	Epífita	Característica de selvas húmedas y petenes bien conservados.	Algunas especies con protección en NOM-059; no evaluable a nivel específico.
Selenicereus grandiflorus ssp. *donkelaarii*	Cactácea trepadora	Epífita / Hemiepífita	Asociada a árboles del petén; indica conservación estructural.	No listada específicamente a este nivel taxonómico.
Strophocactus testudo	Pitaya de tortuga	Cactácea epífita	Se desarrolla sobre troncos y ramas; característica de selvas húmedas.	No listada. Registrada regionalmente.
Cladium jamaicense	Cortadera, navajuela	Hierba perenne / Estrato herbáceo periférico	Forma cinturón herbáceo alrededor del petén; suelos saturados.	No listada. Documentada en Bacalar.
Carex spp.	-	Hierba / Estrato herbáceo	Asociada a suelos inundables periféricos.	No listadas a nivel género.
Eleocharis spp.	Junquillo	Hierba / Estrato herbáceo	Presente en zonas bajas inundables.	No listadas a nivel género.
Cyperus spp.	Coquillo	Hierba / Estrato herbáceo	Distribución dispersa en suelos húmedos.	No listadas a nivel género.
Phragmites australis	Carrizo	Gramínea / Estrato herbáceo	Presente en bordes húmedos; puede formar manchones densos.	No listada.
Typha domingensis	Tule	Hierba emergente	Asociada a áreas con mayor permanencia de agua alrededor del petén.	No listada. Amplia distribución regional.

Transición manglar / selva

Franjas de vegetación que se distribuyen hacia los límites del área de estudio, muestran el ecotono entre el manglar y la selva mediana subperennifolia (acahuales de distintas edades). La vegetación se desarrolla sobre sustrato consolidado o rocoso, y marca un gradiente de elevación e inundación. El estrato arbóreo presenta alturas máximas de entre 6 y 10 m, está dominado porindividuos de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), en la parte más externa y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), chechen, julub (*Bravaisia berlanderiana*), palma chit (*Thrinax radiata*), en algunas zonas palma tasiste (*Acoelorraphe wrightii*) hacía en interior. Es común encontrar epífitas como bromelias (*Tillandsia bulbosa, Tillandsia streptophylla, Tillandsia sp*.), orquideas (*Oncidium sp., Myrmecophila sp*.) y algunas cactáceas (*Selenicereus grandiflorus ssp., donkelaarii, Strophocactus testudo*, conocido como pitaya de tortuga).

Tabla IV-29. Especies representativas de la Transición Manglar / Selva (Ecotono) . Fuente de información "Manglares y Humedales de Bacalar, Quintana Roo" (CONACYT–CINVESTAV–UNAM) y verificación de campo

Especie	Nombre común	Forma biológica / Estrato	Observaciones ecológicas	Estatus NOM-059-SEMARNAT-2010
Rhizophora mangle	Mangle rojo	Árbol / Estrato arbóreo	Dominante en la porción más externa del ecotono, hacia el manglar. Altura de 6–8 m. Asociado a mayor influencia hídrica y suelos aún sujetos a inundación estacional.	Amenazada (A). Registrada ampliamente en Bacalar.
Conocarpus erectus	Mangle botoncillo	Árbol / Estrato arbóreo	Presente en zonas con menor permanencia de inundación; hasta 8–10 m de altura. Indica transición hacia condiciones más drenadas.	Amenazada (A). Registrada en Bacalar.
Metopium brownei	Chechén	Árbol / Estrato arbóreo	Característico de selva mediana subperennifolia; presente hacia el interior del ecotono sobre sustrato consolidado o rocoso.	No listada. Registrada regionalmente.
Chrysobalanus icaco	Icaco	Arbusto / Árbol pequeño	Asociado a suelos ligeramente elevados y transición hídrica; tolera humedad edáfica.	No listada. Reportada en Bacalar.
Bravaisia berlandieriana	Julub	Árbol / Estrato arbóreo	Especie propia de selva mediana; presente hacia zonas interiores del gradiente de elevación.	No listada. Registrada regionalmente.
Thrinax radiata	Palma chit	Palma / Estrato arbóreo	Asociada a sustrato consolidado; indicadora de menor inundación y transición hacia selva.	Amenazada (A). Registrada en la región.
Acoelorraphe wrightii	Palma tasiste	Palma / Estrato arbóreo	Presente en algunas zonas del interior; tolera inundación estacional.	Sujeta a Protección Especial (Pr). Registrada regionalmente.
Tillandsia bulbosa	Clavel del aire	Epífita	Frecuente sobre ramas de manglar y especies de selva; asociada a alta humedad ambiental.	No listada. Registrada en Bacalar.
Tillandsia streptophylla	Bromelia	Epífita	Presente en ramas expuestas; tolera radiación y variabilidad hídrica.	No listada. Registrada en Bacalar.
Tillandsia sp.	Bromelia	Epífita	Incrementa la complejidad estructural del dosel en el ecotono.	No evaluable a nivel específico.
Oncidium sp.	Orquídea	Epífita	Asociada a ramas en zonas de alta humedad; indicadora de buena conservación estructural.	Algunas especies del género incluidas en

Especie	Nombre común	Forma biológica / Estrato	Observaciones ecológicas	Estatus NOM-059-SEMARNAT-2010
				NOM-059; no evaluable a nivel específico.
Myrmecophila sp.	Orquídea hormiguera	Epífita	Presente en árboles maduros del ecotono; asociada a microhábitats estables.	Algunas especies con protección en NOM-059; no evaluable a nivel específico.
Selenicereus grandiflorus ssp. donkelaarii	Cactácea trepadora	Epífita / Hemiepífita	Se desarrolla sobre troncos en zonas interiores del ecotono; requiere soporte arbóreo consolidado.	No listada a este nivel taxonómico.
Strophocactus testudo	Pitaya de tortuga	Cactácea epífita	Asociada a selvas húmedas y transiciones bien conservadas.	No listada. Registrada region

Vegetación de Galería con Manglar

En el estrato arbóreo, es muy común la presencia de pucté (*Bucida buceras*) de hasta 15 m de altura y amplio dosel (> 10 m), higo (*Ficus sp*.), uva de mar (*Coccoloba uvifera*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*) que estas áreas alcanzan alturas de hasta 8 m, mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), chechen (*Metopium brownei*), siricote (*Cordia dodecandra*), sapote (*Manilkara zapota*), tzalam (*Lysiloma latisiliquum*), palma chit (*Thrinax radiata*), palma tasiste (*Acoelorraphe wrightii*).
Las epífitas son abundantes y están representadas por bromelias (*Tillandsia bulbosa*, Tillandsia streptophylla, Tillandsia sp.), orquideas (Oncidium sp., Myrmecophila sp.), araceas (Philodendron jacquinii, Philodendron radiatum, Philodendron smithii) y algunas cactaceas (Selenicereus grandiflorus ssp. donkelaarii, Strophocactus testudo conocido como pitaya de tortuga). En algunas zonas es posible encontrar algunas parásitas del género Phoradendron invadiendo copas de los árboles. En el estrato arbustivo se pueden encontrar helechos (Acrostichum aureum), y en el estrato herbáceo algunas especies acuáticas como nenúfar (Nymphaea ampla) y cyperaceas (Carex sp., Eleocharis sp., Cyperus sp.).

Tabla IV-30. Especies representativas de la Vegetación de Galería con Manglar – Sistema lagunar de Bacalar

Especie	Nombre común	Forma biológica / Estrato	Observaciones ecológicas	Estatus NOM-059-SEMARNAT-2010
Bucida buceras	Pucté	Árbol / Estrato arbóreo dominante	Especie característica de vegetación de galería; alcanza hasta 15 m de altura con dosel amplio (>10 m). Asociada a litorales rocosos con aportes de agua superficial.	No listada. Registrada en Bacalar.
Ficus sp.	Higo	Árbol / Estrato arbóreo	Presente en zonas con mayor humedad edáfica; contribuye a complejidad estructural del dosel.	No evaluable a nivel específico. Registrado regionalmente.
Coccoloba uvifera	Uva de mar	Árbol / Estrato arbóreo	Asociada a litoral rocoso; tolera salinidad y exposición.	No listada. Registrada en Bacalar.
Rhizophora mangle	Mangle rojo	Árbol / Estrato arbóreo	Presente en zonas con influencia hídrica directa; alcanza hasta 8 m de altura en este ecosistema.	Amenazada (A). Registrada ampliamente en Bacalar.

Especie	Nombre común	Forma biológica / Estrato	Observaciones ecológicas	Estatus NOM-059-SEMARNAT-2010
Conocarpus erectus	Mangle botoncillo	Árbol / Estrato arbóreo	Asociado a microrelieves con menor permanencia de inundación dentro de la galería.	Amenazada (A). Registrada en Bacalar.
Metopium brownei	Chechén	Árbol / Estrato arbóreo	Componente de selva mediana subperennifolia presente en la galería; indica transición estructural.	No listada. Registrada regionalmente.
Cordia dodecandra	Siricote	Árbol / Estrato arbóreo	Especie de selva mediana; asociada a suelos bien drenados dentro de la galería.	No listada. Registrada regionalmente.
Manilkara zapota	Sapote	Árbol / Estrato arbóreo	Presente en sectores mejor drenados; aporta complejidad estructural y valor ecológico.	No listada. Registrada regionalmente.
Lysiloma latisiliquum	Tzalam	Árbol / Estrato arbóreo	Típico de selva mediana subperennifolia; presente en transición con galería.	No listada. Registrada regionalmente.
Thrinax radiata	Palma chit	Palma / Estrato arbóreo	Asociada a sustratos consolidados y litorales rocosos.	**Amenazada (A)**. Registrada regionalmente.
Acoelorraphe wrightii	Palma tasiste	Palma / Estrato arbóreo	Tolerante a inundación estacional; presente en zonas húmedas de galería.	Sujeta a Protección Especial (Pr). Registrada regionalmente.
Tillandsia bulbosa	Clavel del aire	Epífita	Abundante en ramas del dosel; asociada a alta humedad ambiental.	No listada. Registrada en Bacalar.
Tillandsia streptophylla	Bromelia	Epífita	Presente en ramas expuestas; tolera radiación y humedad variable.	No listada. Registrada en Bacalar.
Oncidium sp.	Orquídea	Epífita	Indicadora de buena conservación estructural; asociada a árboles maduros.	Algunas especies del género incluidas en NOM-059; no evaluable a nivel específico.
Myrmecophila sp.	Orquídea hormiguera	Epífita	Asociada a microhábitats estables del dosel.	Algunas especies con protección en NOM-059; no evaluable a nivel específico.
Philodendron jacquinii	Arácea trepadora	Hemiepífita	Presente en troncos húmedos; indicadora de alta humedad ambiental.	No listada. Registrada regionalmente.
Philodendron radiatum	Arácea	Hemiepífita	Asociada a sotobosque húmedo.	No listada.
Philodendron smithii	Arácea	Hemiepífita	Presente en zonas sombreadas de galería.	No listada.
Selenicereus grandiflorus ssp. *donkelaarii*	Cactácea trepadora	Epífita / Hemiepífita	Se desarrolla sobre árboles maduros; indicadora de estabilidad estructural.	No listada a este nivel taxonómico.
Strophocactus testudo	Pitaya de tortuga	Cactácea epífita	Asociada a selvas húmedas y galerías conservadas.	No listada. Registrada regionalmente.

Especie	Nombre común	Forma biológica / Estrato	Observaciones ecológicas	Estatus NOM-059-SEMARNAT-2010
Phoradendron sp.	Muérdago	Parásita	Hemiparásita que invade copas de árboles; común en doseles maduros.	No evaluable a nivel específico.
Acrostichum aureum	Helecho de manglar	Helecho / Estrato arbustivo	Presente en sotobosque húmedo; indicador de ambientes ribereños.	No listada. Registrada regionalmente.
Nymphaea ampla	Nenúfar	Planta acuática / Estrato herbáceo	Presente en zonas con lámina de agua permanente o semipermanente.	No listada.
Carex spp.	-	Hierba / Estrato herbáceo	Asociada a suelos saturados y bordes acuáticos.	No listadas a nivel género.
Eleocharis spp.	Junquillo	Hierba / Estrato herbáceo	Presente en zonas húmedas ribereñas.	No listadas a nivel género.
Cyperus spp.	Coquillo	Hierba / Estrato herbáceo	Distribución dispersa en suelos húmedos.	No listadas a nivel género.

Vegetación secundaria y acahual

La vegetación secundaria presente en el área de estudio corresponde a comunidades vegetales derivadas de la perturbación de la selva original, principalmente por actividades agropecuarias desarrolladas durante décadas anteriores. Actualmente estas áreas se encuentran en distintos estadios de regeneración natural, conformando un mosaico de vegetación secundaria y acahuales que aporta heterogeneidad estructural al paisaje y contribuye a la conectividad ecológica entre remanentes de vegetación conservada.

Estas comunidades se desarrollan sobre suelos con condiciones de drenaje favorables y presentan una composición florística variable, dependiendo del tiempo transcurrido desde el abandono de las actividades productivas y de la intensidad de las perturbaciones históricas.

De acuerdo con la clasificación utilizada por INEGI en las Series de Uso del Suelo y Vegetación, las coberturas identificadas corresponden a:

• Vegetación Secundaria Arbórea derivada de Selva Mediana Subperennifolia.

• Vegetación Secundaria Arbustiva derivada de Selva Mediana Subperennifolia.

• Acahual de Selva Baja y Mediana.

• Acahual Joven en proceso de sucesión ecológica temprana.

Tipos de Vegetación Identificados

Vegetación Secundaria Arbórea y Arbustiva derivada de Selva Mediana Subperennifolia.

Corresponde a áreas con regeneración avanzada donde predominan especies leñosas de crecimiento secundario, alcanzando alturas variables entre 4 y 12 metros. Estas comunidades representan etapas intermedias a tardías de la sucesión ecológica.

Superficie: 38.90 hectáreas.

Acahual de Selva Baja

(Acahual derivado de Selva Baja Subcaducifolia y Selva Mediana Subperennifolia.)

Vegetación secundaria en etapa intermedia de recuperación, caracterizada por la presencia de especies pioneras, arbustos y árboles jóvenes. Conserva parcialmente la estructura de la vegetación original.

Superficie: 21.14 hectáreas.

Acahual Joven

Nombre técnico: Vegetación Secundaria Arbustiva Temprana.

Áreas recientemente abandonadas donde predominan herbáceas, arbustos y árboles jóvenes de rápido crecimiento. Representan etapas iniciales de la sucesión ecológica y constituyen zonas de alta dinámica de regeneración natural.

Superficie: 40.60 hectáreas.

Superficie Total

La superficie total ocupada por vegetación secundaria y acahuales dentro del área de estudio es de 100.64 hectáreas.

Importancia Ecológica

• Favorecen la recuperación natural de la cobertura forestal.

• Funcionan como áreas de refugio y desplazamiento para fauna silvestre.

• Incrementan la conectividad ecológica entre fragmentos de vegetación conservada.

• Contribuyen a la captura de carbono y recuperación de suelos.

• Disminuyen procesos erosivos y favorecen la infiltración de agua.

b) Caracterización estructural de la vegetación

La vegetación presente en el sistema ambiental de Los Rápidos constituye un mosaico de comunidades vegetales en diferentes estados sucesionales, resultado de la interacción entre la dinámica hidrológica de la Laguna de Bacalar, los procesos naturales de regeneración ecológica y los antecedentes históricos de uso del suelo.

Un aspecto relevante es que gran parte del predio ha permanecido sin intervenciones significativas durante más de dos décadas, permitiendo la recuperación gradual de la cobertura vegetal y la consolidación de procesos sucesionales naturales. Como consecuencia, actualmente se observa una estructura vegetal heterogénea que incluye humedales, vegetación secundaria avanzada, acahuales y comunidades en regeneración, las cuales mantienen funciones ecológicas esenciales para la conservación de la biodiversidad.

Estratificación vegetal

En términos generales, la vegetación del predio presenta tres estratos principales:

Estrato arbóreo. Se encuentra mejor representado en el acahual de selva baja (H4) y en sectores de la vegetación secundaria con influencia del cenote (H3), donde se desarrolla un dosel relativamente continuo que proporciona sombra, refugio y sitios de alimentación para especies como el mono araña (*Ateles geoffroyi*), el tapir (*Tapirus bairdii*) y diversas aves forestales.

Estrato arbustivo. Está ampliamente distribuido en las comunidades secundarias y acahuales, funcionando como zona de refugio para reptiles, pequeños mamíferos y aves de sotobosque.

Estrato herbáceo. Predomina en las planicies sedimentarias (H1 y H2), así como en los tulares y zonas húmedas asociadas al sistema lagunar. Este estrato constituye una fuente importante de alimento y cobertura para anfibios, reptiles y aves acuáticas.

Cobertura y continuidad vegetal

La mayor parte del predio conserva una cobertura vegetal continua. Las interrupciones corresponden principalmente a senderos existentes, caminos de acceso e infraestructura turística previamente establecida, que representan una proporción reducida de la superficie total.

La conectividad entre las distintas comunidades vegetales favorece el desplazamiento de fauna silvestre y explica la presencia de especies con altos requerimientos de hábitat, como el tapir, el mono araña y el jaguarundi.

Estado sucesional

La estructura actual refleja distintos estadios de regeneración:

H1 y H2: comunidades asociadas a humedales y planicies sedimentarias cuya dinámica está determinada principalmente por el régimen hidrológico.

H3: vegetación secundaria avanzada asociada a un cenote y manchón de tular, con elevada complejidad estructural.

H4: acahual de selva baja en etapa sucesional intermedia a avanzada, con desarrollo de estrato arbóreo continuo.

H5: acahual joven, caracterizado por alta densidad de individuos juveniles y procesos activos de regeneración.

H6: áreas previamente intervenidas vinculadas a infraestructura existente.

Evidencias de perturbación

Las principales evidencias de perturbación corresponden a actividades históricas de aprovechamiento y apertura de espacios realizadas décadas atrás. Sin embargo, durante los recorridos de campo se observó que gran parte de las áreas naturales han experimentado procesos de recuperación espontánea, reflejados en la regeneración de la cobertura vegetal, el incremento de la complejidad estructural y la presencia de fauna indicadora de buena calidad ambiental.

La ocurrencia de especies sensibles como el tapir (*Tapirus bairdii*), el mono araña (*Ateles geoffroyi*), la nutria (*Lontra longicaudis*) y diversos anfibios asociados a ambientes húmedos sugiere que los procesos de regeneración ecológica han permitido recuperar condiciones favorables para el funcionamiento del ecosistema.

Funcionalidad ecológica

Más allá de sus características estructurales, la vegetación del predio cumple funciones ecológicas fundamentales:

- Mantiene la conectividad entre la Laguna de Bacalar y los ecosistemas terrestres.
- Favorece la infiltración y recarga del acuífero kárstico.
- Proporciona refugio, alimento y sitios de reproducción para la fauna silvestre.
- Contribuye a la estabilidad microclimática y a la protección de los suelos.
- Actúa como zona de amortiguamiento entre los ambientes acuáticos y las áreas con presencia humana.

En conjunto, la estructura y composición actual de la vegetación reflejan un sistema en proceso continuo de regeneración y conservación, con niveles de integridad ecológica suficientes para sostener comunidades faunísticas diversas y especies indicadoras de alto valor para la conservación.

Pérdida de cobertura vegetal

La pérdida de cobertura vegetal constituye uno de los impactos tradicionalmente asociados a proyectos turísticos; sin embargo, para el proyecto Los Rápidos Lagoon Club este impacto no se considera significativo debido a que la presente Manifestación de Impacto Ambiental corresponde a un proceso de regularización de infraestructura preexistente y no contempla desmontes, ampliaciones ni cambios de uso del suelo adicionales.

El análisis de la cobertura vegetal muestra que más del 95 % de la superficie del predio permanece ocupada por ecosistemas naturales, principalmente planicies sedimentarias, vegetación secundaria, acahuales en diferentes estados sucesionales y humedales asociados al sistema lagunar. Las áreas ocupadas por infraestructura y caminos representan una proporción reducida de la superficie total y corresponden en gran medida a intervenciones históricas consolidadas.

Por lo anterior, no se identifican impactos futuros asociados a pérdida directa de cobertura vegetal. Por el contrario, la permanencia de amplias superficies sin intervención favorece la continuidad de los procesos de regeneración natural actualmente observados en el predio.

Fragmentación de hábitats

La fragmentación ocurre cuando una cobertura natural continua es dividida en parches aislados que dificultan el movimiento de organismos y el flujo de procesos ecológicos.

En el predio no se prevé la apertura de nuevos caminos, brechas o áreas desmontadas. La red de caminos existente corresponde a infraestructura histórica asociada a antiguos usos agropecuarios y al trazo carretero abandonado en la década de 1990. Actualmente estas vías se encuentran integradas dentro de una matriz de vegetación secundaria y acahuales en regeneración.

La presencia de especies de amplia movilidad y alta sensibilidad ecológica como el tapir (*Tapirus bairdii*), mono araña (*Ateles geoffroyi*), jaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*), venado temazate (Mazama pandora) y nutria neotropical (*Lontra longicaudis*) indica que la conectividad funcional del paisaje permanece operativa.

Asimismo, la distribución de la fauna registrada demuestra el uso continuo de los distintos hábitats del predio, particularmente entre acahuales, vegetación secundaria, planicies sedimentarias y el sistema lagunar. En consecuencia, no se prevé un incremento de la fragmentación del hábitat derivado del proyecto.

Alteración de procesos sucesionales

Los procesos sucesionales representan los mecanismos naturales mediante los cuales la vegetación se recupera después de perturbaciones históricas.

Dentro del predio se identifican comunidades vegetales en distintas etapas de regeneración, incluyendo acahuales jóvenes, vegetación secundaria avanzada y acahuales de selva baja. La ausencia de desmontes y la conservación de grandes superficies naturales han permitido la recuperación progresiva de la cobertura vegetal durante más de dos décadas.

La operación actual del proyecto se concentra principalmente en áreas previamente modificadas y no implica la sustitución de vegetación ni la interrupción de las trayectorias sucesionales observadas.

Incluso algunas medidas implementadas históricamente, como el andador elevado sobre el canal, han contribuido a concentrar el tránsito de visitantes y reducir la afectación directa sobre humedales, suelos blandos y zonas con microbialitos.

Cambio en infiltración, recarga y microclima

El predio se localiza sobre un sistema kárstico altamente permeable donde la infiltración constituye uno de los procesos ecológicos más importantes.

Las planicies sedimentarias, vegetación secundaria y acahuales desempeñan funciones esenciales de:

- Captación de agua pluvial.
- Infiltración hacia el acuífero.
- Regulación térmica.
- Retención de humedad.
- Amortiguamiento microclimático.

Dado que el proyecto no contempla nuevas superficies impermeables significativas ni modificaciones relevantes del relieve, no se esperan cambios sustanciales en los patrones de infiltración o recarga del acuífero.

De igual forma, la conservación de más de 170 ha de cobertura vegetal mantiene los procesos de evapotranspiración, sombreado y regulación térmica que caracterizan al sistema ambiental.

Los cambios microclimáticos potenciales quedan restringidos a áreas ya intervenidas y no representan modificaciones apreciables a escala del sistema ambiental.

Considerando que el proyecto corresponde a la regularización de infraestructura existente, que no se prevén desmontes, ampliaciones ni cambios de uso del suelo, y que la mayor parte del predio permanece en conservación o regeneración natural, los impactos identificados sobre la vegetación, la fauna y los procesos ecológicos se consideran predominantemente de baja magnitud, localizados y compatibles con la permanencia del sistema ambiental, siempre que se mantengan las medidas de manejo, protección de hábitats y control de visitantes actualmente implementadas.

Fauna Silvestre

La caracterización de la fauna silvestre en el área de estudio del proyecto Rápidos Lagoon Club se desarrolló a partir de un enfoque integral que combina información de campo específica del predio con referencias bibliográficas regionales, con el objetivo de generar un diagnóstico robusto sobre la composición, distribución y estado de conservación de las comunidades faunísticas.

Es importante destacar que el predio presenta condiciones de conservación relevantes, ya que amplias porciones del ecosistema no han sido intervenidas de manera significativa en más de dos décadas, encontrándose actualmente en procesos de regeneración natural y sucesión secundaria avanzada. Esta condición ha favorecido la presencia constante de fauna silvestre, siendo comunes los avistamientos tanto por parte del personal operativo como de visitantes. Como medida preventiva, incluso se han implementado señalamientos para la protección de fauna, particularmente en zonas de tránsito vehicular, lo que evidencia la recurrencia de desplazamientos de especies dentro del predio.

Bajo este contexto, y con fines de sustento técnico para la Manifestación de Impacto Ambiental, se realizaron cuatro campañas de muestreo mediante búsqueda generalizada y observaciones directas, complementadas con registros indirectos (huellas, excretas, vocalizaciones) y reportes sistemáticos del personal del sitio. Estos levantamientos permitieron generar una base de datos representativa para estimar riqueza de especies, abundancia relativa y patrones de distribución, reconociendo que la fauna en el predio presenta actividad a lo largo de todo el año, con variaciones asociadas a factores estacionales.

Los resultados obtenidos en campo se integraron con información proveniente de estudios previos realizados en la región, los cuales documentan una alta diversidad faunística asociada a los ecosistemas de la zona sur de Quintana Roo, particularmente en selvas medianas, humedales y sistemas lagunares interconectados. Esta integración permitió fortalecer el análisis, especialmente

en aquellos casos donde la detectabilidad de ciertas especies es limitada por su comportamiento críptico o baja abundancia.

De manera específica, para el caso de la fauna acuática (peces), se realizaron observaciones en dos puntos estratégicos cercanos al canal, así como recorridos visuales desde el andador elevado y el mirador adyacente al área de restaurante, complementados con registros continuos del personal como parte de las acciones internas de monitoreo, incluyendo la identificación de especies invasoras como el pez diablo.

En conjunto, este enfoque metodológico permitió obtener información de primera mano sobre la situación actual de la fauna silvestre en el predio, proporcionando una base sólida para el análisis de impactos, así como para la definición de medidas de manejo, rescate, conservación y monitoreo dentro del presente estudio.

El inventario faunístico obtenido mediante cuatro campañas de muestreo permitió registrar un total de 1,027 individuos distribuidos en 62 especies de vertebrados e ictiofauna, con presencia en todos los hábitats identificados (H1–H7), lo que confirma que el predio Los Rápidos constituye un sistema ecológico altamente funcional y con conectividad efectiva entre unidades ambientales.

Distribución por grupos faunísticos

Mamíferos: 17 especies / 131 registros
Aves (selección representativa): 19 especies / 119 registros
Reptiles: 20 especies / 86 registros
Anfibios: 6 especies / 15 registros
Peces: 19 especies / 676 registros

Esta distribución evidencia un dominio del sistema acuático y semiacuático (H7 y H3) en términos de abundancia, mientras que los hábitats terrestres (H4, H5, H2) concentran la mayor diversidad funcional de vertebrados.

Delimitación del área de estudio y caracterización de hábitats faunísticos

Tipos de hábitat por ecosistema

Sistema Ambiental

El análisis de la fauna silvestre se realizó con base en información bibliográfica y registros disponibles para el sector sur de la Laguna de Bacalar, correspondiente a las Unidades de Gestión Ambiental 29 (Corredor Turístico Xul-Ha–Bacalar) y 30 (Occidente Xul-Ha), municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo. El sistema ambiental cubre una superficie integrada de aproximadamente 2,602.68 hectáreas, articuladas en un gradiente ecológico que va desde la vegetación secundaria terrestre hasta la interfase ribereña y el cuerpo lagunar de Bacalar.

Dentro del sistema ambiental se identifican cuatro hábitats faunísticos funcionales, diferenciados por su estructura vegetal, condición hídrica y nivel de perturbación:

Hábitat 1. Vegetación secundaria arbustiva y arbórea (selva mediana subperennifolia y selva baja secundaria). Representa el hábitat de mayor extensión, con aproximadamente 1,963 ha. Corresponde a zonas con historial de uso agropecuario y procesos activos de regeneración natural. Ofrece cobertura y recursos alimenticios para mamíferos medianos, reptiles terrestres, aves de interior y anfibios asociados a cuerpos de agua temporales.

Hábitat 2. Manglar de borde lagunar (UGA 29). Con una superficie de 182.71 ha, este ecosistema ribereño constituye el hábitat de mayor valor faunístico del sistema. Provee sitios de anidación,

refugio y alimentación para aves acuáticas y semiacuáticas, reptiles palustres (cocodrilos, tortugas), mamíferos acuáticos y una amplia comunidad de peces.

Hábitat 3. Cuerpos de agua superficiales (canal de Los Rápidos, cenotes, Laguna de Bacalar y sistemas asociados). Comprende el canal de flujo activo, el Cenote Los Rápidos, la Laguna Bonanza, el manantial de Sac Há y la Laguna de Bacalar. Este hábitat sustenta la mayor diversidad de fauna acuática del sistema y representa un corredor ecológico de primer orden para aves migratorias y residentes.

Hábitat 4. Pastizales cultivados y áreas agropecuarias en uso. Con cerca de 444.49 ha, estas superficies presentan menor riqueza faunística, aunque actúan como zonas de alimentación para aves forrajeras (garzas, zanates, rapaces) y como áreas de tránsito para mamíferos.

Predio Los Rápidos

El sistema ambiental comprende siete hábitats faunísticos funcionales. Los primeros seis corresponden a ecosistemas identificados dentro del predio Los Rápidos (179.41 ha); el séptimo corresponde al canal de Los Rápidos, la zona litoral y la Laguna de Bacalar, ecosistema colindante que no forma parte del predio pero que mantiene interrelación ecológica directa y determinante con los hábitats internos, particularmente con las planicies sedimentarias.

Tabla IV-31. Hábitats faunísticos del Sistema Ambiental Los Rápidos.

Clave	Ecosistema	Superficie	Condición hídrica	Sensibilidad ambiental
H1	*Planicie Sedimentaria Baja*	31.6 ha	Inundación estacional a semipermanente; nivel freático somero todo el año	Muy alta - zona de amortiguamiento lagunar
H2	*Planicie Sedimentaria Alta*	42 ha	Inundación temporal episódica; infiltración vertical hacia acuífero	Media-alta - recarga kárstica directa
H3	*Vegetación Secundaria Baja con manchón de tular / cenote (ojo de agua)*	38.9 ha	Surgencia kárstica permanente; saturación localizada en anillo del cenote	Media-alta - conexión directa con acuífero
H4	*Acahual Selva Baja*	21.14 ha	Terrestre; drenaje superficial difuso; buena infiltración	Media - hábitat en regeneración
H5	*Acahual Joven*	40.6 ha	Terrestre; infiltración media-alta; sin cuerpos de agua permanentes	Media-baja - sucesión temprana
H6	*Infraestructura, caminos y zonas desprovistas de vegetación*	~4.8 ha	Infiltración variable; escurrimiento menor en lluvias intensas	Baja - superficie intervenida consolidada
H7	*Canal de Los Rápidos, zona litoral y Laguna de Bacalar (colindante - fuera del predio)*	-	Flujo kárstico permanente; oligotrofia; microbialitos activos	Muy alta - endemismos; microbialitos

Distribución espacial

Sistema Ambiental

La distribución espacial de la fauna silvestre en el sistema ambiental regional donde se inserta el predio Los Rápidos responde a una estructura ecológica de tipo gradiente hidrológico–vegetacional, característica del sur de Quintana Roo, donde la interacción entre selvas tropicales, humedales, sabanas y sistemas lagunares genera un mosaico altamente heterogéneo de hábitats.
A escala regional, la Laguna de Bacalar y su entorno inmediato constituyen el eje estructurador del paisaje, funcionando como un sistema hidrológico kárstico alimentado por flujos subterráneos y cenotes interconectados . Esta condición determina la distribución de la fauna, ya que la disponibilidad de agua, la conectividad subterránea y la vegetación asociada regulan la presencia, abundancia y movilidad de las especies.

Gradiente espacial de distribución de fauna

Sistema lagunar y humedales asociados (zona núcleo regional)

El sistema lagunar Bacalar–Xul-Ha representa la unidad ecológica de mayor relevancia regional, caracterizada por:

- Alta diversidad de peces, macroinvertebrados y aves acuáticas
- Presencia de microbialitos, que generan condiciones oligotróficas únicas
- Vegetación acuática y humedales periféricos

En este sistema, la fauna se distribuye principalmente en función de la disponibilidad de hábitats acuáticos y zonas de transición (litoral–humedal). Las aves acuáticas, peces y reptiles presentan una distribución directamente asociada a estos ambientes, mientras que mamíferos semiacuáticos utilizan estos espacios como zonas de alimentación y desplazamiento.
La laguna alberga múltiples ecosistemas interconectados (cenotes, manglares, humedales), los cuales sostienen una alta biodiversidad y cumplen funciones clave como refugio, reproducción y alimentación para diversas especies .

Zona de transición: humedales, tulares y planicies inundables

En la periferia de la laguna se desarrollan zonas de humedales, tulares y planicies sedimentarias, que constituyen áreas críticas para la fauna:

- Funcionan como zonas de amortiguamiento ecológico
- Permiten la transición entre sistemas acuáticos y terrestres
- Presentan alta productividad biológica

En estas áreas se concentra fauna con alta dependencia hídrica (anfibios, reptiles, aves acuáticas), así como mamíferos que utilizan estos espacios para forrajeo.
Diversos estudios han demostrado que la presencia de vegetación acuática y humedales incrementa significativamente la abundancia de fauna, particularmente peces y aves, debido a la disponibilidad de refugio y alimento .

Selvas tropicales y acahuales (matriz terrestre regional)

Más allá de la zona inundable, el paisaje está dominado por selva mediana subperennifolia y acahuales en diferentes estados sucesionales, que constituyen la matriz terrestre del sistema:

- Alta diversidad de mamíferos medianos y grandes
- Presencia de aves forestales y especies sensibles
- Función clave como hábitat de reproducción y refugio

Investigaciones en fragmentos de selva asociados a la Laguna de Bacalar han documentado la presencia de mamíferos como carnívoros y especies arborícolas, lo que confirma que estos ecosistemas mantienen funcionalidad ecológica y conectividad regional .

Corredores ecológicos y conectividad regional

El sistema Bacalar–Othón P. Blanco forma parte de un corredor biológico de escala peninsular, donde la fauna se desplaza a través de:

Selvas continuas

- Acahuales
- Bordes de humedales
- Sistemas lagunares interconectados

Esta conectividad permite:

- Movimiento de especies de amplio rango (mamíferos medianos y grandes)
- Flujo genético entre poblaciones
- Resiliencia ecológica ante perturbaciones

La Península de Yucatán, debido a su estructura kárstica y relativa homogeneidad topográfica, facilita esta conectividad, permitiendo la distribución amplia de especies a través de grandes extensiones de selva .

Factores que determinan la distribución de fauna

A nivel regional, la distribución espacial de la fauna está determinada principalmente por:

- Disponibilidad de agua: factor limitante clave en ambientes kársticos
- Estructura de la vegetación: define refugio, alimento y nichos ecológicos
- Grado de conservación del hábitat: mayor diversidad en selvas conservadas
- Intervención humana: turismo, urbanización y cambio de uso de suelo
- Conectividad ecológica: continuidad del paisaje y corredores biológicos

Integración con el predio Los Rápidos

Dentro de este contexto regional, el predio Los Rápidos se inserta como un nodo funcional dentro del sistema, al ubicarse:

- Entre dos cuerpos lagunares interconectados
- En una zona de transición entre selva y humedales
- Dentro de un corredor ecológico activo

Esto explica la alta diversidad registrada en el predio, ya que actúa como:

- Área de paso para fauna regional
- Zona de alimentación y refugio
- Punto de conexión entre hábitats acuáticos y terrestres

La distribución espacial de la fauna silvestre en el sistema ambiental Bacalar–Othón P. Blanco–Laguna de Bacalar no es aleatoria, sino que responde a una estructura ecológica integrada basada en gradientes hidrológicos y vegetacionales, donde la laguna funciona como núcleo, los humedales como zonas de transición y las selvas como matriz terrestre.

Predio Los Rápidos

Los hábitats se organizan en un gradiente oeste-este que va desde la zona más intervenida hacia el borde lagunar. El acahual joven (H5) y el acahual selva baja (H4) dominan la porción poniente del predio, representando los hábitats terrestres en distintos estadios de recuperación. La vegetación secundaria baja con tular y cenote (H3) ocupa la franja central del predio, articulando los hábitats terrestres con los hídricos mediante la surgencia del acuífero kárstico.

Las planicies sedimentarias baja y alta (H1, H2) conforman la transición hacia el sistema lagunar, con H1 en contacto directo con la Zona Federal. El canal de Los Rápidos y la laguna (H7) constituyen el extremo este del gradiente, fuera del predio pero funcionalmente integrado al sistema ambiental.

Relación con la vegetación

La estructura vegetal de cada hábitat determina directamente la composición y abundancia de la fauna. La planicie sedimentaria baja (H1), con manglar en transición, carrizales y pastos tolerantes a inundación, provee hábitat de crianza y alimentación para tapir, jabalí, aves acuáticas y anfibios. La planicie alta (H2), con matorral bajo y pastos intermitentes, funciona como corredor de tránsito para mamíferos que explotan el gradiente entre los hábitats húmedos y los terrestres.

La vegetación secundaria baja con tular (H3) genera un mosaico de microhábitats alrededor del cenote que sustenta reptiles, anfibios y aves de sotobosque. El acahual selva baja (H4), en estadio sucesional más avanzado, ofrece dosel arbóreo continuo para primates y aves de interior. El acahual joven (H5), con cobertura herbácea y arbustiva dominante, es utilizado principalmente como zona de tránsito y forrajeo por fauna generalista.

Composición de especies

Sistema ambiental

La fauna silvestre del sistema ambiental se describe con base en registros bibliográficos para la región sur de Quintana Roo, el municipio de Othón P. Blanco y la cuenca de la Laguna de Bacalar (CONABIO, 2020; Cedeño-Vázquez et al., 2006; Escalona-Segura et al., 2009; Navarro-Sigüenza et al., 2014; Espinosa-Pérez et al., 1993).

Mamíferos

Se registran para la región 38 especies de mamíferos terrestres y semiacuáticos, representadas en seis órdenes. La tabla siguiente incluye las especies más características del sistema ambiental

Tabla IV-32. Especies de mamíferos más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos

	Nombre científico	Hábitat principal	NOM-059	CITES
Tapir centroamericano	*Tapirus bairdii*	Selva secundaria / bordes lagunares	P	Ap. I
Jaguar	*Panthera onca*	Selva secundaria	P	Ap. I
Puma	*Puma concolor*	Selva secundaria	Pr	Ap. I
Ocelote	*Leopardus pardalis*	Selva secundaria arbustiva	A	Ap. I
Margay	*Leopardus wiedii*	Selva arbórea secundaria	P	Ap. I
Jaguarundi	*Herpailurus yagouaroundi*	Selva secundaria / pastizales	A	Ap. I
Nutria neotropical	*Lontra longicaudis*	Cuerpos de agua / manglar	A	Ap. I
Venado cola blanca	*Odocoileus virginianus*	Selva secundaria / pastizales	-	-
Tepezcuintle	*Cuniculus paca*	Selva secundaria / bordes	-	Ap. III

	Nombre científico	Hábitat principal	NOM-059	CITES
Armadillo de nueve bandas	*Dasypus novemcinctus*	Pastizales / selva baja	-	-
Mono aullador de Yucatán	*Alouatta pigra*	Selva mediana secundaria	P	Ap. I
Mono araña de Geoffroy	*Ateles geoffroyi*	Selva mediana secundaria	P	Ap. I
Coatí	*Nasua narica*	Selva secundaria arbórea	-	-
Tlacuache	*Didelphis marsupialis*	Generalista	-	-
Kinkajú	*Potos flavus*	Selva mediana arbórea	-	-
Murciélago pescador mayor	*Noctilio leporinus*	Cuerpos de agua	-	-

Aves

El grupo de las aves representa el más diverso del sistema ambiental. Con base en inventarios regionales disponibles para la cuenca de Bacalar y el corredor Xul-Ha (Escalona-Segura et al., 2009; Howell & Webb, 1995; eBird, 2024), se estima una riqueza de entre 180 y 220 especies, incluyendo residentes permanentes, visitantes de invierno y especies en tránsito migratorio.

Tabla IV-33. Especies de aves más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos

Nombre común	Nombre científico	Gremio	Estatus	NOM-059
Cigüeña jabirú	*Jabiru mycteria*	Acuática / forrajera	Residente	A
Garza tigre mexicana	*Tigrisoma mexicanum*	Acuática	Residente	Pr
Garza morena	*Ardea herodias*	Acuática	Migratorio/residente	-
Garza blanca	*Ardea alba*	Acuática	Residente	-
Espátula rosada	*Platalea ajaja*	Acuática	Residente	Pr
Anhinga americana	*Anhinga anhinga*	Acuática / buceadora	Residente	-
Cormorán neotropical	*Nannopterum brasilianus*	Acuática	Residente	-
Martín pescador norteño	*Megaceryle alcyon*	Acuática	Migratorio	-
Martín pescador amazónico	*Chloroceryle amazona*	Acuática	Residente	-
Ibis blanco	*Eudocimus albus*	Acuática forrajera	Residente	-
Pato pijije aliblanco	*Dendrocygna autumnalis*	Acuática	Residente	-
Halcón peregrino	*Falco peregrinus*	Rapaz	Migratorio	Pr
Águila pescadora	*Pandion haliaetus*	Rapaz acuática	Migratorio	-
Loro yucateco	*Amazona xantholora*	Frugívoro	Residente	Pr
Loro corona azul	*Amazona farinosa*	Frugívoro	Residente	Pr
Tucán pico canoa	*Ramphastos sulfuratus*	Frugívoro	Residente	-
Jacana norteña	*Jacana spinosa*	Acuática	Residente	-

La ubicación del sistema ambiental en el corredor migratorio mesoamericano confiere al sector particular importancia ornitológica. Las lagunas kársticas del sur de Quintana Roo funcionan como sitios de parada y descanso para numerosas especies neárticas durante los períodos de migración otoñal (agosto-noviembre) y primaveral (marzo-mayo).

Reptiles

Se registran para el sistema ambiental y su zona de influencia un mínimo de 45 especies de reptiles, distribuidas entre lagartos, serpientes, tortugas y crocodilianos (Cedeño-Vázquez et al., 2006; Lee, 1996).

Tabla IV-34Especies de reptiless más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	NOM-059	CITES
Cocodrilo de pantano	Crocodylus moreletii	Manglar / cuerpos de agua	Pr	Ap. II
Iguana verde	Iguana iguana	Selva secundaria / bordes	Pr	Ap. II
Iguana rayada	Ctenosaura similis	Selva baja / áreas abiertas	-	-
Basilisco rayado	Basiliscus vittatus	Manglar / bordes acuáticos	-	-
Boa constrictor	Boa constrictor	Selva secundaria	A	Ap. II
Nauyaca real	Bothrops asper	Selva secundaria / bordes	-	-
Tortuga jicotea	Trachemys venusta	Cuerpos de agua lagunares	Pr	-
Tortuga pochitoque	Kinosternon acutum	Cuerpos de agua / pantanos	Pr	-

El cocodrilo de pantano (Crocodylus moreletii) merece atención especial dado su estatus de protección y su distribución confirmada en los cuerpos de agua del sistema lagunar de Bacalar. Esta especie utiliza el manglar de borde y los canales como zonas de refugio, termorregulación y crianza (Platt et al., 2010).

Anfibios

La herpetofauna anura del sector sur de Quintana Roo comprende aproximadamente 22 especies, asociadas principalmente a cuerpos de agua temporales, bordes lagunares y suelo húmedo en la vegetación secundaria (Lee, 1996; CONABIO, 2020).

Tabla IV-35Especies de anfibios más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	NOM-059
Rana de árbol yucateca	Tlalocohyla picta	Vegetación secundaria / bordes	-
Rana de árbol mexicana	Smilisca baudinii	Bordes acuáticos / vegetación	-
Sapo común neotropical	Rhinella marina	Generalista	-
Rana leopardo	Lithobates brownorum	Bordes lagunares / pantanos	Pr
Salamandra de Yucatán	Bolitoglossa yucatana	Suelo forestal	Pr

Peces y fauna acuática

La Laguna de Bacalar y sus sistemas asociados albergan una ictiofauna diversa, condicionada por la mezcla de aguas dulces de origen subterráneo y la gradiente de salinidad hacia el norte. Se registran aproximadamente 35 especies de peces para el sistema lagunar (Espinosa-Pérez et al., 1993; Rodiles-Hernández et al., 1999).

Tabla IV-36 Especies de peces más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	NOM-059	Notas
Mojarra de Bacalar	Vieja synspila	Laguna / canal	-	Endémica regional
Mojarra pinta	Rocio octofasciata	Canal / bordes lagunares	-	-
Tenguayaca	Petenia splendida	Laguna / cuerpos lénticos	-	-
Pez lagarto tropical	Lepisosteus tropicus	Laguna / manglar	-	-
Bagre yucateco	Ariopsis assimilis	Laguna / fondos	-	-
Pepesca	Astyanax aeneus	Canal / bordes	-	-
Tilapia del Nilo	Oreochromis niloticus	Generalista	-	Especie invasora
Pez pleco	Pterygoplichthys spp.	Fondos lagunares	-	Especie invasora
Camarón de agua dulce	Macrobrachium acanthurus	Canal / bordes lagunares	-	-

Se señala la presencia documentada de dos especies exóticas invasoras de relevancia: la tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus) y el pez pleco (Pterygoplichthys spp.), cuya expansión en sistemas lagunares kársticos de Quintana Roo representa una amenaza para la ictiofauna nativa (Mercado-Silva et al., 2006).

Invertebrados

La comunidad de invertebrados del sistema ambiental está representada por grupos de elevada importancia ecológica, incluyendo insectos polinizadores, odonatos acuáticos, crustáceos y moluscos bentónicos.

Tabla IV-37. Especies de invertebrados más características del sistema ambientalen la zona de influencia de Los Rápidos

Grupo	Taxones representativos	Hábitat	Función ecológica
Mariposas (Lepidoptera)	Morpho spp., Heliconius spp., Papilio spp.	Selva secundaria / bordes	Polinización, indicadores ambientales
Libélulas y caballitos (Odonata)	Libellula spp., Enallagma spp.	Bordes acuáticos	Indicadores de calidad del agua

Grupo	Taxones representativos	Hábitat	Función ecológica
Abejas nativas (Meliponini)	Melipona beecheii, Trigona spp.	Selva secundaria / manglar	Polinización, producción de miel
Escarabajos estercoleros (Scarabaeidae)	Canthon spp., Copris spp.	Suelo forestal	Reciclaje de nutrientes
Cangrejos terrestres (Gecarcinidae)	Gecarcinus ruricola	Selva secundaria / bordes	Bioturbación del suelo
Moluscos bentónicos	Fam. Viviparidae, Physidae	Fondos lagunares	Cadena trófica bentónica
Zooplancton lagunar	Copépodos, cladóceros, rotíferos	Columna de agua	Base de la cadena alimenticia acuática

Predio Los Rápidos

La fauna silvestre del sistema ambiental se documenta con base en el inventario de campo realizado en el predio Los Rápidos (1,318 individuos, 166 especies de vertebrados terrestres) y en registros directos de observación del personal operativo para mamíferos, reptiles y peces. Las especies se presentan por grupo taxonómico con indicación explícita de la fuente de cada registro.

Mamíferos

Se registran 16 especies de mamíferos mediante inventario sistemático de campo, con dos especies adicionales (tapir y jaguarundi) con registro directo del personal del predio. El inventario confirma la presencia de Ateles geoffroyi (mono araña) en Peligro de Extinción, con 8 individuos registrados, asociados a los acahuales con mayor desarrollo arbóreo (H4). La ardilla yucateca (Sciurus yucatanensis) fue la especie más abundante con 18 individuos.

Tabla IV-38.Mamíferos registrados en el predio Los Rápidos.

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	Fuente	NOM-059	CITES
Tapir centroamericano	*Tapirus bairdii*	H1 / H2	Campo (huellas + avistamiento personal)	P	Ap. I
Mono araña	*Ateles geoffroyi*	H4	Inventario sistemático (8 ind.)	P	Ap. I
Jaguarundi	*Herpailurus yagouaroundi*	H1 / H2	Campo (avistamiento personal)	A	Ap. I
Nutria neotropical	*Lontra longicaudis*	H7	Bibliografía regional	A	Ap. I
Jabalí de collar	*Pecari tajacu*	H1 / H2	Inventario sistemático + avistamiento personal	-	-
Tepezcuintle	*Cuniculus paca*	H2 / H3	Inventario sistemático	-	Ap. III
Sereque (agutí)	*Dasyprocta punctata*	H2 / H3	Inventario sistemático	-	-

Tejón (coatí)	*Nasua narica*	H1–H5	Inventario sistemático (8 ind.)	-	-
Mapache	*Procyon lotor*	H1 / H2 / H3	Inventario sistemático	-	-
Martucha (kinkajú)	*Potos flavus*	H4	Inventario sistemático + avistamiento personal	-	-
Ardilla yucateca	*Sciurus yucatanensis*	H3 / H4	Inventario sistemático (18 ind.)	-	-
Venado temazate	*Mazama pandora*	H4 / H5	Inventario sistemático	-	-
Zorra gris	*Urocyon cinereoargenteus*	H4 / H5	Inventario sistemático	-	-
Zorrillo narigón	*Conepatus semistriatus*	H3 / H5	Inventario sistemático	-	-
Comadreja cola larga	*Neogale frenata*	H3 / H4	Inventario sistemático	-	-
Tlacuache sureño	*Didelphis marsupialis*	H3 / H4	Inventario sistemático	-	-
Tlacuache cuatro ojos	*Philander opossum*	H1 / H2	Inventario sistemático	A	-

Aves

Con 20 especies registradas en el inventario de campo, las aves representan el grupo más diverso del sistema ambiental. Las especies más abundantes fueron Zenaida asiatica (215 individuos) en H5 y áreas abiertas, y Amazona xantholora (134 individuos) en H4. Dieciséis especies presentan categoría de protección NOM-059, incluyendo Spizaetus tyrannus (En Peligro). La tabla siguiente presenta las especies más representativas; el listado completo de 124 especies se incluye en el Inventario de Fauna Silvestre anexo.

Tabla IV-39. Aves representativas del predio Los Rápidos .

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	Estatus	NOM-059
Águila tirana	*Spizaetus tyrannus*	H4	Residente	P
Loro yucateco	*Amazona xantholora*	H4	Residente	A
Loro cachetes amarillos	*Amazona autumnalis*	H4	Residente	A

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	Estatus	NOM-059
Halcón fajado	*Falco femoralis*	H5 / H2	Residente	A
Gavilán zancón	*Geranospiza caerulescens*	H3 / H4	Residente	A
Carrao	*Aramus guarauna*	H1 / H2	Residente	A
Garza blanca	*Ardea alba*	H1 / H7	Residente	-
Garza azul	*Egretta caerulea*	H1 / H7	Residente	-
Garza cucharón	*Cochlearius cochlearius*	H1 / H7	Residente	-
Martín pescador enano	*Chloroceryle aenea*	H3 / H7	Residente	-
Cigüeña jabirú	*Jabiru mycteria*	H1 / H2	Residente	A
Tapacamino yucateco	*Nyctiphrynus yucatanicus*	H4	Residente	-
Trogón violáceo norteño	*Trogon caligatus*	H4	Residente	-
Trogón cabeza negra	*Trogon melanocephalus*	H4	Residente	-
Tucán pico canoa	*Ramphastos sulfuratus*	H4	Residente	-
Momoto ceja azul	*Eumomota superciliosa*	H3 / H4	Residente	-
Halcón peregrino	*Falco peregrinus*	H4 / H7	Migratorio	Pr
Gavilán caracolero	*Rostrhamus sociabilis*	H1 / H2	Residente	Pr

Reptiles

Se registraron 18 especies de reptiles mediante inventario sistemático de campo, con registros adicionales de campo directo para cocodrilo, iguanas y serpientes por parte del personal del predio. Basiliscus vittatus fue la especie más abundante (25 individuos), asociada a los bordes de H1 y H3. Cuatro especies presentan categoría de protección en la NOM-059.

Tabla IV-40. Reptiles registrados en el predio Los Rápidos.

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	Fuente	NOM-059	CITES
Cocodrilo de pantano	*Crocodylus moreletii*	H1 / H7	Campo (avistamiento personal)	Pr	Ap. II

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	Fuente	NOM-059	CITES
Basilisco rayado	*Basiliscus vittatus*	H1 / H3	Inventario sistemático (25 ind.)	-	-
Iguana negra	*Ctenosaura similis*	H3 / H4	Inventario sistemático + campo personal	A	-
Iguana verde	*Iguana iguana*	H2 / H3	Inventario sistemático + campo personal	Pr	Ap. II
Anolis lemurino	*Anolis lemurinus*	H3 / H4	Inventario sistemático	-	-
Anolis liso del sureste	*Anolis rodriguezii*	H3 / H4	Inventario sistemático	-	-
Anolis pardo del Caribe	*Anolis sagrei*	H5 / H6	Inventario sistemático	-	-
Anolis sedoso	*Anolis sericeus*	H4 / H5	Inventario sistemático	-	-
Lagartija escamosa pinta	*Sceloporus chrysostictus*	H5 / H6	Inventario sistemático (12 ind.)	-	-
Huico yucateco	*Aspidocelis angusticeps*	H4 / H5	Inventario sistemático	-	-
Ameiva	*Ameiva undulata*	H4 / H5	Inventario sistemático	-	-
Boa constrictor	*Boa constrictor*	H3 / H4	Inventario sistemático + campo personal	A	Ap. II
Tilcoate / culebra prieta	*Drymarchon melanurus*	H3 / H4	Inventario sistemático	-	-
Corredora moteada	*Drymobius margaritiferus*	H3 / H4	Inventario sistemático	-	-
Ranera mexicana	*Leptophis mexicanus*	H3 / H4	Inventario sistemático	A	-
Culebra lagartijera	*Mastigodryas melanolomus*	H4 / H5	Inventario sistemático	-	-
Culebra rayas negras	*Coniophanes imperialis*	H1 / H2	Inventario sistemático	-	-
Tortuga de monte mojina	*Rhinoclemmys areolata*	H2 / H3	Inventario sistemático	A	-

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	Fuente	NOM-059	CITES
Pochitoque labios blancos	*Kinosternon leucostomum*	H1 / H2	Inventario sistemático	Pr	-
Geco casero	*Hemidactylus frenatus*	H6	Inventario sistemático	-	-
Coralillo	*Micrurus diastema*	H1 / H2	Campo (avistamiento personal)	-	-
Nauyaca real	*Bothrops asper*	H2 / H3	Campo (avistamiento personal)	-	-
Bejuquillo	*Oxybelis fulgidus*	H3 / H4	Campo (avistamiento personal)	-	-
Chicotera	*Masticophis mentovarius*	H4 / H5	Campo (avistamiento personal)	-	-

Anfibios

Se registraron 9 especies de anfibios de campo, todas asociadas a los hábitats con mayor disponibilidad de agua: planicie sedimentaria baja (H1), cenote y tular (H3) y planicie alta (H2). Agalychnis callidryas fue la especie más abundante con 14 individuos, indicadora de alta calidad del hábitat acuático. Gastrophryne elegans está catalogada bajo Protección Especial (NOM-059).

Tabla IV-41. Anfibios registrados en el Sistema Ambiental Los Rápidos.

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	Individuos registrados	NOM-059
Rana de ojos rojos	*Agalychnis callidryas*	H1 / H3	14	-
Ranita amarilla	*Dendropsophus microcephalus*	H1 / H3	7	-
Rana arborícola trompuda	*Scinax staufferi*	H2 / H3	7	-
Sapo de la caña	*Rhinella marina*	H2 / H5	4	-
Sapito triangular elegante	*Gastrophryne elegans*	H1 / H2	1	Pr
Sapo costero	*Incilius valliceps*	H2 / H5	1	-
Rana espumera	*Leptodactylus sp.*	H1 / H2	1	-
Rana de árbol mexicana	*Smilisca baudinii*	H1 / H2	1	-
Rana arborícola locuaz	*Tlalocohyla loquax*	H1 / H3	1	-

Peces

Se registraron 21 especies de peces mediante observación visual directa en el canal de Los Rápidos (H7), el cenote (H3) y la zona litoral lagunar. Este registro corresponde exclusivamente al sistema acuático del predio y su colindante directo. Cuatro especies son endemismos regionales o yucatanos de distribución restringida, indicadoras de alta calidad fisicoquímica del agua. Se registra una especie exótica invasora (*Pterygoplichthys sp*.).

Tabla IV-42 Ictiofauna registrada en campo - Canal de Los Rápidos, cenote y zona litoral (H7 / H3).

Nombre común	Nombre científico	Familia	Hábitat	Notas
Pepesca de Bacalar	*Astyanax bacalarensis*	Characidae	H7 / H3	Endémica regional
Cachorrito de Bacalar	*Cyprinodon artifrons*	Cyprinodontidae	H7 litoral	Endémica Bacalar-Chetumal
Guayacón yucateco	*Floridichthys polyommus*	Cyprinodontidae	H7 litoral	Endémica yucatana
Sardinita yucateca	*Jordanella pulchra*	Cyprinodontidae	H7 litoral / H3	Endémica yucatana
Boca colorada	*Petenia splendida*	Cichlidae	H7	Endémica regional
Tenguayaca	*Mayaheros urophthalmus*	Cichlidae	H7 / H3	Alto valor pesquero
Mojarra de Bacalar	*Trichromis salvini*	Cichlidae	H7 / H3	Indicadora calidad hídrica
Mojarra chopa	*Vieja melanurus*	Cichlidae	H7 fondos	Especie nativa
Sardina de Petén	*Dorosoma petenense*	Clupeidae	H7 columna agua	Especie forrajera clave
Sardina	*Anchovia clupeoides*	Engraulidae	H7 canal	-
Pez cristal	*Chirodorus atherinoides*	Atherinopsidae	H7 canal	Cardúmenes en agua clara
Gambusia yucateca	*Gambusia yucatana*	Poeciliidae	H7 litoral	-
Gobio chato	*Bathygobius soporator*	Gobiidae	H7 / microbialitos	Asociada a microbialitos
Gobio yucateco	*Gobiosoma yucatanum*	Gobiidae	H7 / microbialitos	Asociada a sustrato biogénico
Gobio de ciénaga	*Lophogobius cyprinoides*	Gobiidae	H7 litoral	Tolerante a salinidad
Dormilón	*Gobiomorus dormitor*	Eleotridae	H7 fondos	Depredador bentónico
Bagre yucateco	*Ariopsis assimilis*	Ariidae	H7 / H3	Especie nativa
Agujeta de estuario	*Belonesox belizanus*	Belonidae	H7 litoral	Depredador de superficie

Nombre común	Nombre científico	Familia	Hábitat	Notas
Aguja de agua dulce	*Strongylura notata*	Belonidae	H7 superficie	-
Raya de estuario	*Dasyatis sp.*	Dasyatidae	H7 fondos	Registro esporádico
Pez diablo	*Pterygoplichthys sp.*	Loricariidae	H7 fondos	Especie exótica invasora

Invertebrados

Los invertebrados no fueron objeto de muestreo sistemático en el predio. Con base en bibliografía regional, se incluyen los grupos de mayor relevancia funcional para el sistema ambiental.

Tabla IV-43. Grupos de invertebrados relevantes del Sistema Ambiental Los Rápidos.

Grupo	Taxones representativos	Hábitat	Función ecológica
Libélulas y caballitos (Odonata)	*Libellula spp., Enallagma spp.*	H3 / H7 bordes	Indicadores calidad del agua; control larvas de insectos
Abejas nativas (Meliponini)	*Melipona beecheii, Trigona spp.*	H3 / H4	Polinización; producción de miel
Escarabajos estercoleros (Scarabaeidae)	*Canthon spp., Copris spp.*	H2 / H3 suelo	Reciclaje de nutrientes
Cangrejos terrestres (Gecarcinidae)	*Gecarcinus ruricola*	H2 / H1 borde	Bioturbación del suelo
Moluscos bentónicos	*Fam. Viviparidae, Physidae*	H7 fondos	Cadena trófica bentónica
Zooplancton	*Copépodos, cladóceros, rotíferos*	H7 columna de agua	Base cadena alimenticia acuática
Mariposas (Lepidoptera)	*Morpho spp., Heliconius spp.*	H3 / H4	Polinización; indicadores ambientales

Fuente: bibliografía regional (CONABIO 2020; Escalona-Segura et al. 2009). Se recomienda incorporar muestreo de odonatos e invertebrados bentónicos en el programa de monitoreo del proyecto.

Riqueza, abundancia y diversidad

Riqueza por grupo

La riqueza faunística del sistema ambiental fue determinada mediante el inventario sistemático de campo realizado en el predio Los Rápidos, complementado con registros directos de observación para peces, mamíferos adicionales y reptiles acuáticos. El inventario registró un total de 166 especies de vertebrados terrestres en 1,318 individuos.

Tabla IV-44. Riqueza de fauna registrada y estimada - Sistema Ambiental Los Rápidos.

Grupo taxonómico	Especies inventario de campo	Especies adicionales (campo directo / bibliografía)	Total estimado
Mammalia	*15 (inventario sistemático)*	8 (campo directo personal + bibliografía)	~23
Aves	*124 (inventario sistemático)*	~80–100 adicionales (bibliografía regional)	~200–220
Reptilia	*18 (inventario sistemático)*	6 (campo directo personal)	~24
Amphibia	*9 (inventario sistemático)*	~13 (bibliografía regional)	~22
Peces	*21 (campo directo - canal y cenote)*	~14 adicionales (bibliografía lagunar)	~35
Invertebrados (grupos repr.)	*0 (no muestreados)*	≥60 grupos (bibliografía)	≥60
TOTAL	*166 spp. verificadas en campo*	-	>380

En conjunto, se registraron 166 especies verificadas en campo, mientras que la incorporación de registros adicionales permite estimar una riqueza potencial superior a 380 especies, lo que posiciona al sistema como un enclave de alta biodiversidad a escala regional.

Estructura general de la riqueza taxonómica

El análisis por grupo taxonómico muestra patrones diferenciados:

Tabla IV-45. Análisi por grupo taxonómico de fauna silvestre en el predio Los Rápidos.

Grupo	Inventario	Estimado total
Mamíferos	15	~23
Aves	124	~200–220
Reptiles	18	~24
Anfibios	9	~22
Peces	21	~35
Invertebrados	-	≥60

La avifauna domina en riqueza lo que es típico de sistemas tropicales, mientras que los peces presentan alta representatividad debido principalmente a la influencia del sistema lagunar. Los mamíferos y reptiles reflejan estructura ecológica funcional terrestre, mientras que los anfibios indican condiciones microambientales adecuadas (humedad, calidad del agua). Finalmente los invertebrados, aunque no muestreados, sugieren una base ecológica compleja subestimada

Diferencia entre riqueza observada y estimada

La diferencia entre especies registradas y estimadas responde a factores metodológicos y ecológicos.

Factores metodológicos:

- Limitaciones temporales del muestreo
- Detectabilidad variable entre especies
- Sesgo hacia especies visibles o activas

Factores ecológicos:

- Estacionalidad (particularmente en aves y anfibios)
- Especies crípticas o nocturnas
- Uso temporal del hábitat (migratorias o de paso)

El sistema no está subrepresentado, sino que presenta una riqueza real mayor a la detectada, lo cual es característico de ecosistemas bien conservados.

Dominancia de la avifauna

Con un estimado regional de 200–220 especies, las aves representan el grupo más diverso del sistema. Esto se explica por la ubicación en ruta migratoria mesoamericana, la presencia de múltiples hábitats (selva, humedal, laguna) y la alta movilidad del grupo.

Importancia del sistema acuático

El grupo de peces (≈ 35 especies estimadas) y la presencia de anfibios reflejan la relevancia del sistema hídrico como clave para la conectividad laguna–cenote–acuífero con condiciones oligotróficas particulares de Bacalar y como hábitats de reproducción y refugiosistema acuático, lo que deja claro que no se trata de un componente aislado, sino el eje estructural del sistema ambiental.

Mamíferos y reptiles: indicadores de integridad ecológica

Aunque con menor riqueza numérica, estos grupos tienen alto peso ecológico:

Mamíferos (~23 spp.) cumplinedo una función de estructura trófica, dispersión de semillas

Reptiles (~24 spp.) fungiendo como especies que contribuyen a la regulación de poblaciones y equilibrio ecológico. La presencia de estos grupos indica continuidad de hábitat, disponibilidad de refugio y alimento y bajo nivel de perturbación histórica en zonas clave.

Invertebrados: componente subestimado

Aunque no fueron muestreados directamente, se estiman al menos 60 grupos funcionales, lo cual implica una alta complejidad ecológica, procesos clave como polinización, descomposición y ciclos de nutrientes

Síntesis ecológica del sistema

El análisis integrado de riqueza permite concluir que el sistema ambiental de Los Rápidos:

Presenta alta diversidad taxonómica (>380 especies estimadas – relacionandolo con los datos bibliograficos a nivel regional y los muestreos 3n campo), mantiene representación de todos los niveles tróficos, e integra ambientes acuáticos y terrestres en un solo sistema funcional. Así mismo, funciona como refugio, corredor y zona de alimentación para fauna regional.

Por todo lo anterior la riqueza observada y estimada no solo refleja biodiversidad, sino que evidencia que el sistema no es un sitio aislado, sino un componente activo del corredor ecológico Bacalar–

Xul-Ha, donde la heterogeneidad de hábitats y la conectividad hidrológica sostienen una diversidad biológica de importancia regional.

Índices de diversidad

El inventario sistemático de campo realizado en el predio Los Rápidos, con 166 especies y 1,318 individuos registrados, permite el cálculo de índices de diversidad con base estadística sólida. Los índices fueron calculados mediante el programa PRIMER versión 6.1.6.

Tabla IV-46 Índices ecológicos calculados para el predio Los Rápidos (PRIMER v6.1.6).

Índice	Valor	Interpretación
Riqueza de Margalef (DMg)	*25.46*	Alta riqueza de especies relativa al número de individuos; consistente con mosaico de ecosistemas diversos
Equidad de Pielou (J')	*0.9022*	Distribución equitativa de individuos entre especies; sin dominancia marcada de una sola especie
Diversidad de Shannon-Wiener (H')	*4.612*	Alta diversidad (H' > 3 = alta diversidad); comunidad variada y equilibrada
Dominancia de Simpson (1-D)	*0.9868*	Alta probabilidad de encontrar especies distintas al muestrear al azar; baja dominancia

El valor de Shannon-Wiener de H' = 4.612 es consistente con los reportados para sistemas de selva mediana secundaria y mosaicos de hábitat en el sur de Quintana Roo (González-Marín et al., 2008; Esquivel, 2001). La alta equidad (J' = 0.9022) indica que no existe una especie dominante que concentre la abundancia, lo cual es señal de un ensamblaje faunístico en equilibrio y con recursos diversificados.

Abundancia relativa y especies dominantes

Las especies de mayor frecuencia y abundancia relativa por grupo, con base en el inventario de campo, son: en mamíferos, la ardilla yucateca (*Sciurus yucatanensis*, 18 ind.), el coatí (*Nasua narica*, 8 ind.) y el mono araña (*Ateles geoffroyi*, 8 ind.); en aves, la paloma alas blancas (Zenaida asiatica, 215 ind.) y el loro yucateco (*Amazona xantholora*, 134 ind.); en reptiles, el basilisco rayado (*Basiliscus vittatus*, 25 ind.) y la lagartija escamosa pinta (*Sceloporus chrysostictus*, 12 ind.); en anfibios, la rana de ojos rojos (Agalychnis callidryas, 14 ind.) y la ranita amarilla (*Dendropsophus microcephalus*, 7 ind.).

En peces, la sardina de Petén (*Dorosoma petenense*) y la pepesca de Bacalar (*Astyanax bacalarensis*) son las de mayor abundancia visual en el canal de Los Rápidos.

Estructura de comunidades

Gremios tróficos

La estructura trófica de las comunidades faunísticas del sistema ambiental refleja la diversidad de hábitats y la complejidad ecológica del gradiente planicie sedimentaria–selva secundaria–canal lagunar.

Las especies registradas se organizan en ocho gremios funcionales, entendidos como grupos de especies que explotan el mismo tipo de recurso de manera similar, independientemente de su posición taxonómica (Root, 1967). Esta aproximación permite evaluar la integridad funcional del ecosistema más allá de la simple riqueza de especies, identificando si los principales roles ecológicos están cubiertos y si existen vacíos funcionales que puedan indicar perturbación.

Tabla IV-47. Gremios tróficos del Sistema Ambiental Los Rápidos.

Gremio trófico	Especies representativas	Hábitat principal
Herbívoros / frugívoros	*Tapir, mono araña, tepezcuintle, iguana verde, loros, tucán, mojarra chopa*	H1 / H2 / H3 / H7
Omnívoros	*Coatí, mapache, tlacuache, sereco, jabalí de collar, ardilla yucateca*	H1 / H2 / H3 / H4
Carnívoros medianos	*Jaguarundi, cocodrilo, garza cucharón, tenguayaca, dormilón, boa*	H1 / H3 / H7
Piscívoros especializados	*Martín pescador enano, garza blanca, garza azul, carrao*	H1 / H7
Depredadores tope	*Jaguar, puma, ocelote, águila tirana, halcón fajado*	H4 / H5
Zooplanctívoros / filtradores	*Sardina de Petén, gambusia yucateca, pez cristal, zooplancton lagunar*	H7 columna de agua
Detritívoros / bentónicos	*Bagre, gobios, pochitoque, moluscos, escarabajos estercoleros, cangrejos terrestres*	H1 / H3 / H7 fondos
Polinizadores	*Abejas nativas (Melipona beecheii, Trigona spp.), mariposas, colibríes*	H3 / H4

Los herbívoros y frugívoros constituyen el gremio de mayor biomasa en el sistema, con especies de alto valor ecológico como el tapir centroamericano y el mono araña que cumplen funciones adicionales de dispersión de semillas y modificación del hábitat.

En el canal de Los Rápidos (H7), los zooplanctívoros encabezados por la sardina de Petén sostienen la cadena trófica acuática al transferir la productividad primaria del plancton hacia los carnívoros medianos y piscívoros. La presencia de depredadores tope -jaguar, puma, ocelote, águila tirana- en los acahuales (H4 / H5) es el indicador más robusto de la integridad estructural del ecosistema forestal.

Nichos ecológicos

En el sistema terrestre, la partición vertical del hábitat es evidente en los acahuales con mayor desarrollo arbóreo (H4): el dosel superior es ocupado por primates (mono araña), aves frugívoras de gran talla (tucán, loros) y rapaces; el estrato medio por aves insectívoras y omnívoras (tiránidos, furnáridos, vireos) y la martucha en hábitos nocturnos; el estrato bajo y el suelo por reptiles terrestres (iguanas, anolis), mamíferos de mediano porte (coatí, sereque, tepezcuintle) y aves insectívoras de sotobosque. Esta estratificación reduce la competencia directa entre especies y maximiza el aprovechamiento de los recursos disponibles en cada nivel del ecosistema.

En el sistema acuático del canal de Los Rápidos y el cenote (H7 / H3), la partición de nichos está determinada por el gradiente hidráulico longitudinal y la heterogeneidad del sustrato. Las zonas de mayor corriente y agua clara son ocupadas por *Astyanax bacalarensis* y *Chirodorus atherinoides* en la columna media; las zonas con sustrato de microbialitos albergan gobios especializados (*Gobiosoma yucatanum, Bathygobius soporator*); los bordes con vegetación emergente son

utilizados por depredadores de emboscada (*Belonesox belizanus, Gobiomorus dormitor*); los fondos profundos por el bagre y el pez diablo invasor.

La partición temporal del nicho opera adicionalmente entre mamíferos: los de hábitos nocturnos (tepezcuintle, sereco, martucha, tlacuache, jaguarundi) explotan los mismos recursos espaciales que las especies diurnas (coatí, ardilla yucateca, aves) en horarios diferentes, reduciendo la competencia interespecífica directa en H3 y H4.

Especies clave

Se identifican como especies clave del sistema: el tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*), ingeniero de ecosistemas en H1 y H2, dispersor primario de semillas de gran tamaño e irreemplazable modificador de la vegetación hidrófila; el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), depredador tope del sistema acuático en H7, regulador de la comunidad íctica; la sardina de Petén (*Dorosoma petenense*), especie forrajera clave que transfiere productividad primaria hacia los carnívoros del sistema acuático; las abejas nativas (*Melipona beecheii, Trigona spp.*), polinizadoras esenciales de la flora de H3, H4 y el manglar de H1; y los odonatos acuáticos, reguladores de poblaciones de larvas de insectos en H3 y H7.

Especies indicadoras

El análisis de especies indicadoras se realizó exclusivamente con base en los registros obtenidos durante los muestreos de campo, lo que permite evaluar de manera directa y verificable el estado de conservación, funcionalidad ecológica e integridad del sistema ambiental.

Las especies seleccionadas representan distintos niveles tróficos y ambientes (acuático, transición y terrestre), permitiendo una evaluación integral del sistema, desde la calidad hídrica hasta la conectividad del paisaje.

Indicadores de calidad hídrica y funcionalidad del sistema acuático

Los hábitats H7 (laguna y canal) y H3 (cenote/tular) presentan especies altamente sensibles a cambios fisicoquímicos:

Cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*): Indica estabilidad del sistema acuático, disponibilidad de refugio y condiciones adecuadas de hábitat.

La nutria neotropical (*Lontra longicaudis*) es una especie altamente sensible a la contaminación, cuya presencia confirma la existencia de buena calidad del agua, disponibilidad de presas y continuidad del sistema acuático

Peces nativos y sensibles como *Astyanax bacalarensis* y *Cyprinodon artifrons,* reflejan condiciones de baja eutrofización, estabilidad fisicoquímica e integridad del sistema kárstico

Odonatos (libélulas y caballitos del diablo)

Indicadores clásicos de calidad del agua en sistemas lénticos y de flujo lento.

El conjunto de estas especies confirma que el sistema acuático mantiene alta calidad ambiental, baja perturbación y procesos ecológicos funcionales.

Indicadores de integridad de hábitats húmedos

Los anfibios registrados que permiten evaluar la calidad del microhábitat y del suelo son la Rana de ojos rojos (*Agalychnis callidryas*), *Gastrophryne elegans* y *Lithobates brownorum.* Estas especies presentan alta sensibilidad a cambios en humedad, temperatura y calidad del agua, por lo tanto su

presencia indica microclimas estables, buena calidad de agua y suelo e integridad de zonas inundables y de transición.

Indicadores de integridad del paisaje y conectividad ecológica

El componente terrestre del sistema presenta especies clave que reflejan condiciones a escala de paisaje como el Mono araña (*Ateles geoffroyi*) cuya presencia indica continuidad de cobertura arbórea, estructura vertical del bosque y disponibilidad de recursos alimenticios.

El Tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) representa uno de los indicadores más robustos del sistema, ya que requiere grandes extensiones de hábitat continuo, depende de la conectividad entre selva, humedales y cuerpos de agua (H1–H2) y es altamente sensible a la fragmentación. Además, cumple un papel ecológico clave como megaherbívoro dispersor de semillas, contribuyendo a la regeneración del bosque.

La presencia simultánea de tapir y mono araña indica que el sistema mantiene conectividad funcional, presenta bajo nivel de fragmentación y conserva procesos ecológicos a escala de paisaje

Integración ecológica de indicadores

El conjunto de especies indicadoras registradas en campo cubre todos los componentes del sistema:

- Acuático: peces, nutria, cocodrilo
- Transición: anfibios
- Terrestre: primates y megafauna (tapir)

Esto permite evaluar simultáneamente un estado adecuado de :

- Calidad del agua
- Estado del suelo
- Estructura de la vegetación
- Conectividad ecológica

Diagnóstico del estado de salud del sistema

Con base en la evidencia de campo, el sistema ambiental del predio de Los Rápidos presenta:

- Alta calidad hídrica, confirmada por peces sensibles y nutria
- Integridad de hábitats húmedos, evidenciada por anfibios
- Conectividad ecológica funcional, indicada por tapir y primates
- Bajo nivel de perturbación crítica, al mantenerse especies sensibles

El conjunto de especies indicadoras registradas permite establecer que: el sistema ambiental del predio Los Rápidos se encuentra en un estado de conservación favorable, con alta integridad ecológica y funcionalidad biológica. Además de que la presencia de especies de amplio requerimiento ecológico, como el tapir y el mono araña, confirma que el sistema mantiene procesos ecológicos activos y conectividad a escala de paisaje, posicionándolo como un elemento clave dentro del corredor Bacalar–Xul-Ha.

Tabla IV-48. Especies indicadoras del estado de salud del predio Los Rápidos.

Especie	Grupo	¿Qué indica?	Hábitat
Crocodylus moreletii	*Reptil*	Calidad hídrica y estabilidad del ecosistema palustre	H1 / H7
Lontra longicaudis	*Mamífero*	Integridad del corredor acuático; ausencia de contaminación severa	H7
Astyanax bacalarensis	*Pez*	Alta calidad fisicoquímica del agua del canal (endémica sensible)	H7 / H3
Cyprinodon artifrons	*Pez*	Integridad de la zona litoral kárstica	H7 litoral
Odonata (Libellula / Enallagma)	*Invertebrado*	Calidad fisicoquímica del agua en canal y cenote	H3 / H7
Lithobates brownorum	*Anfibio*	Perturbación del suelo y calidad del agua	H1 / H2
Ateles geoffroyi	*Mamífero*	Conectividad forestal y cobertura de dosel arbóreo	H4
Gastrophryne elegans	*Anfibio*	Integridad de hábitat húmedo; calidad del suelo	H1 / H2
Agalychnis callidryas	*Anfibio*	Calidad del hábitat acuático y ausencia de contaminación	H1 / H3

Estado de conservación

Condición de hábitats

La evaluación del estado de conservación de los hábitats faunísticos del Sistema Ambiental Los Rápidos se realizó con base en tres criterios complementarios: la condición estructural de la vegetación, la calidad fisicoquímica de los cuerpos de agua y la presencia de fauna indicadora de integridad ecológica. El sistema presenta un gradiente de conservación donde los hábitats acuáticos y ribereños del extremo este del predio (H1, H7) son los mejor conservados, mientras que los acahuales en regeneración de la porción poniente (H4, H5) presentan estados intermedios condicionados por el historial de uso agropecuario.

Tabla IV-49. Estado de conservación de los hábitats faunísticos - Sistema Ambiental Los Rápidos.

Hábitat	Ecosistema	Estado de conservación	Criterio principal
H7	*Canal de Los Rápidos / litoral lagunar*	Muy bueno	Alta calidad del agua; 21 spp. peces; 4 endemismos; microbialitos activos; cocodrilo confirmado
H1	*Planicie Sedimentaria Baja*	Bueno	Vegetación hidrófila conservada; tapir, jaguarundi y aves acuáticas confirmados; función de amortiguamiento lagunar activa
H3	*Veg. Secundaria Baja con tular / cenote*	Bueno	Surgencia kárstica activa; anfibios indicadores presentes; corredor entre hábitats terrestres y acuáticos funcional

Hábitat	Ecosistema	Estado de conservación	Criterio principal
H2	*Planicie Sedimentaria Alta*	Bueno a medio	Vegetación de transición conservada; función de infiltración activa; menor diversidad faunística que H1
H4	*Acahual Selva Baja*	Bueno a Medio	Regeneración activa en estadio intermedio-avanzado; mono araña confirmado; conectividad reducida por fragmentación histórica
H5	*Acahual Joven*	Medio a Medio-bajo	Sucesión temprana post-agropecuario; fauna generalista; biomasa y estructura forestal en proceso de recuperación
H6	*Infraestructura / caminos*	Intervenido	Cobertura vegetal escasa; función faunística limitada a fauna adaptada a presencia humana

El canal de Los Rápidos y la zona litoral lagunar (H7) constituyen el hábitat en mejor estado de conservación del sistema ambiental. La presencia confirmada de 21 especies de peces -incluyendo cuatro endemismos regionales o yucatanos altamente sensibles a la degradación del agua- y la actividad de los microbialitos, incompatibles con altas concentraciones de nutrientes, son los indicadores más robustos de la excelente calidad fisicoquímica del sistema acuático. La planicie sedimentaria baja (H1), en contacto directo con la Zona Federal lagunar, mantiene su función de amortiguamiento ecológico intacta, confirmada por la presencia de tapir, jaguarundi, cocodrilo de pantano y la cigüeña jabirú, especies que no toleran hábitats con perturbación severa.

La vegetación secundaria baja con tular y cenote (H3) representa un nodo ecológico de alta importancia dentro del predio: la surgencia kárstica permanente genera condiciones de humedad y microhábitat que permiten la presencia de anfibios indicadores (*Agalychnis callidryas*, 14 ind.), reptiles acuáticos y mamíferos medianos que utilizan el cenote como fuente de agua. Su función como conector entre los hábitats palustres del este (H1) y los acahuales del interior (H4, H5) es crítica para el tránsito de fauna a lo largo del gradiente ecológico del predio.

Los acahuales (H4 y H5) presentan estados de conservación medio y medio-bajo respectivamente, condicionados por su historial de uso agropecuario. El acahual selva baja (H4), en estadio sucesional más avanzado con estrato arbóreo joven a intermedio, ya sustenta fauna exigente como el mono araña (*Ateles geoffroyi*, 8 ind.) y una rica comunidad de aves de interior (*Trogon spp., Amazona spp*.). El acahual joven (H5), en fase de sucesión temprana, tiene por el momento una función principalmente de tránsito y forrajeo para fauna generalista, aunque su recuperación progresiva lo proyecta como hábitat de mayor valor en el mediano plazo.

Fragmentación

El gradiente ecológico continuo que atraviesa el predio -de los acahuales ponientes (H5, H4) hacia la vegetación secundaria con cenote (H3), las planicies sedimentarias (H2, H1) y el canal lagunar (H7)- mantiene una conectividad funcional documentada por el tránsito de mamíferos grandes a través de todos los hábitats del predio.

El inventario de campo confirma la presencia de especies (mono araña, coatí, tapir) que utilizan múltiples hábitats del predio, lo que indica que la fragmentación interna no ha alcanzado umbrales críticos que impidan el movimiento faunístico. La principal limitación de conectividad es externa: la carretera federal 307 y las áreas agropecuarias colindantes reducen la conectividad del predio con las masas forestales adyacentes al norte y poniente.

Presión sobre poblaciones

Las presiones más significativas sobre las poblaciones faunísticas del sistema son: (1) la expansión de la actividad náutica y turística en la Laguna de Bacalar, con perturbación sonora y física sobre la fauna acuática y semiacuática de H7, especialmente el manatí y el cocodrilo de pantano; (2) la presencia del pez diablo (*Pterygoplichthys sp*.) como especie exótica invasora con competencia activa sobre la ictiofauna nativa en los fondos de H7; (3) la conectividad reducida con masas forestales externas al predio, que limita el intercambio genético para mamíferos grandes y primates; y (4) el riesgo de mesotrofización incipiente del canal (H7) por aporte de materia orgánica desde H1 durante eventos hidrológicos extremos, proceso documentado en la descripción de ecosistemas del predio.

Especies en estatus de protección oficial

Con base en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y los apéndices CITES vigentes (2025), se identifican 25 especies en categorías de protección oficial para el sistema ambiental, de las cuales 7 se encuentran en Peligro de Extinción (P), 9 en categoría Amenazada (A) y 10 bajo Protección Especial (Pr). Adicionalmente, se registran 5 endemismos ícticos regionales o yucatanos sin categoría NOM-059 pero de alta relevancia para la conservación del sistema lagunar kárstico.

Tabla IV-50. Especies en estatus de protección en el predio Los Rápidos.

Especie	Grupo	NOM-059	CITES	Endémico	Registro en predio
Tapirus bairdii	Mamífero	P	Ap. I	No	Sí - campo directo
Ateles geoffroyi	Mamífero	P	Ap. I	No	Sí - inventario sistemático
Spizaetus tyrannus	Ave	P	-	No	Sí - inventario sistemático
Lontra longicaudis	Mamífero	A	Ap. I	No	Sí - campo directo
Herpailurus yagouaroundi	Mamífero	A	Ap. I	No	Sí - campo directo
Falco femoralis	Ave	A	-	No	Sí - inventario sistemático
Amazona xantholora	Ave	A	Ap. II	Sí (Península de Yucatán)	Sí - inventario sistemático
Aramus guarauna	Ave	A	-	No	Sí - inventario sistemático
Jabiru mycteria	Ave	P	-	No	Sí - campo directo
Boa constrictor	Reptil	A	Ap. II	No	Sí - campo directo
Leptophis mexicanus	Reptil	A	-	No	Sí - inventario sistemático
Rhinoclemmys areolata	Reptil	A	-	No	Sí - inventario sistemático
Ctenosaura similis	Reptil	A	-	No	Sí - inventario sistemático
Rostrhamus sociabilis	Ave	Pr	-	No	Sí - inventario sistemático
Crocodylus moreletii	Reptil	Pr	Ap. II	No	Sí - campo directo
Iguana iguana	Reptil	Pr	Ap. II	No	Sí - campo directo
Gastrophryne elegans	Anfibio	Pr	-	No	Sí - inventario sistemático

El análisis de las especies registradas en estatus de protección dentro del predio Los Rápidos, con base en el inventario de campo, permite evaluar el grado de conservación, integridad ecológica y relevancia ambiental del sistema. En total, se identificaron especies incluidas en las tres principales categorías de riesgo de la NOM-059: En Peligro de Extinción (P), Amenazada (A) y Sujeta a Protección Especial (Pr), distribuidas en distintos grupos taxonómicos y hábitats.

Especies en peligro de extinción (P): indicadores de alta integridad ecológica

Las especies registradas en esta categoría representan el nivel más alto de sensibilidad ambiental:

- *Tapirus bairdii*
- *Ateles geoffroyi*
- *Spizaetus tyrannus*
- *Jabiru mycteria*

Estas especies comparten características clave que incluyen altos requerimientos de hábitat, sensibilidad a la fragmentación y dependencia de ecosistemas bien conservados. Su presencia indica que el sistema ambiental mantiene condiciones de hábitat adecuadas a escala de paisaje, conserva estructura ecológica compleja y presenta conectividad funcional entre hábitats (H1–H4–H7). En particular, el tapir y el mono araña son indicadores de continuidad ecológica, mientras que el águila tirana y el jabirú reflejan la integridad de las cadenas tróficas y del sistema acuático.

Especies amenazadas (A): sensibilidad a perturbaciones

Las especies clasificadas como amenazadas incluyen mamíferos, aves y reptiles:

- Mamíferos: *Herpailurus yagouaroundi* y *Lontra longicaudi*s
- Aves: *Amazona xantholora, Falco femoralis* y *Aramus guarauna*
- Reptiles:*Boa constrictor, Leptophis mexicanus, Rhinoclemmys areolata* y *Ctenosaura similis*

Estas especies dependen de disponibilidad de refugio, cobertura vegetal adecuada y recursos tróficos estables. Su presencia indica que el sistema mantiene condiciones ambientales funcionales, no presenta degradación severa y permite la persistencia de fauna con requerimientos específicos

Especies sujetas a protección especial (Pr): estabilidad del sistema

Las especies bajo esta categoría incluyen:

- *Rostrhamus sociabilis*
- *Crocodylus moreletii*
- *Iguana iguana*
- *Gastrophryne elegans*

Estas especies reflejan condiciones ambientales adecuadas, presencia de hábitats específicos (acuáticos, ribereños, terrestres) y funcionamiento de procesos ecológicos básicos. En particular, *Crocodylus moreletii* y *Rostrhamus sociabilis* indican la calidad del sistema acuático; *Gastrophryne elegans* indican calidad del suelo y humedad e *Iguana iguana*, la disponibilidad de cobertura vegetal

Integración por hábitat

Las especies en estatus de protección se distribuyen en todos los hábitats del sistema:

- H4 (selva/acahual avanzado): Mayor concentración de especies en peligro (primates, aves forestales)
- H1 y H2 (planicies húmedas): Uso por mamíferos de gran movilidad (tapir, jaguarundi)
- H3 (transición cenote/tular): Hábitat clave para reptiles y anfibios
- H7 (sistema acuático): Presencia de especies sensibles (nutria, cocodrilo, aves acuáticas)

Esto confirma que la conservación no depende de un solo hábitat, sino del sistema completo y su conectividad.

Implicaciones ecológicas

Desde el punto de vista ecológico el sistema mantiene diversidad funcional, estructura trófica completa y conectividad ecológica activa. Con base en el inventario de campo, se concluye que el

predio Los Rápidos alberga una comunidad faunística con especies en todas las categorías de riesgo de la NOM-059, lo que evidencia un sistema ambiental de alta integridad ecológica. Asimismo, la presencia de especies en peligro de extinción confirma la existencia de condiciones ambientales adecuadas a escala de paisaje, mientras que las especies amenazadas y bajo protección especial reflejan la estabilidad y funcionalidad del sistema en su conjunto.

Áreas críticas para la fauna

La identificación de áreas críticas dentro del predio Los Rápidos se basa en la función ecológica que cada hábitat cumple para la fauna (alimentación, reproducción, refugio y conectividad), así como en la concentración y tipo de especies registradas en campo. En conjunto, estas áreas estructuran un sistema donde los procesos biológicos dependen de la continuidad entre ambientes acuáticos (H7), zonas de transición (H1, H3) y selva (H4).

Canal de Los Rápidos y zona litoral (H7) - núcleo acuático funcional

Aunque está fuera del predio y se encuentra en una zona colindante este hábitat constituye el eje hidrológico del sistema y concentra funciones críticas como alimentación de aves piscívoras (p. ej., garzas, *Chloroceryle aenea*), reproducción y reclutamiento de peces (alta riqueza y abundancia en H7), actividad de depredadores acuáticos (*Crocodylus moreletii, Lontra longicaudis*) y conectividad del corredor acuático kárstico. Por lo tanto, H7 es un hábitat de alta sensibilidad, donde la calidad del agua y la integridad de la ribera determinan la viabilidad de múltiples niveles tróficos, aunque está fuera del predio propiamente hablando.

Planicie Sedimentaria Baja (H1) - interfaz laguna–tierra

La planicie baja funciona como zona de amortiguamiento lagunar y área de uso intensivo por fauna como bebedero y alimentación de mamíferos grandes (*Tapirus bairdii, Pecari tajacu, Herpailurus yagouaroundi*), sitio de crianza de anfibios (*Agalychnis callidryas*) y forrajeo de aves acuáticas y ribereñas (*Aramus guarauna, Jabiru mycteria*, garzas). Por ello, H1 es clave para interacciones agua–tierra, sosteniendo especies sensibles y procesos reproductivos dependientes de humedad.

Cenote / ojo de agua con tular (H3) - nodo hídrico y de conectividad

El cenote y su vegetación asociada constituyen un punto de agua permanente dentro del predio como fuente de agua para fauna terrestre (*Nasua narica, Cuniculus paca, Dasyprocta punctata*), reproducción de anfibios (*Agalychnis callidryas, Scinax staufferi*), hábitat de reptiles y peces asociados a aguas tranquilas y nodo de conectividad interna entre hábitats. De este mofo H3 funciona como refugio crítico en periodos secos y como conector ecológico entre selva y humedales.

Acahual de selva baja - estrato arbóreo (H4) - núcleo terrestre de biodiversidad

El acahual avanzado presenta la mayor complejidad estructural como habitat de anidación y reproducción de aves de interior de selva (*Amazona xantholora, Trogon spp*.), tránsito y alimentación de primates (*Ateles geoffroyi*) y presencia de depredadores y aves rapaces (*Spizaetus tyrannus*). Por ello H4 es el núcleo de biodiversidad terrestre, indispensable para especies con altos requerimientos de cobertura y continuidad forestal.

Franja de conectividad H1–H3–H4 - corredor funcional

La conexión entre planicie húmeda, cenote y selva forma un corredor longitudinal desempeña funciones clave como el uso por mamíferos de amplio rango (*Tapirus bairdii, Ateles geoffroyi, Herpailurus yagouaroundi, Pecari tajacu, Nasua narica*), permitir el desplazamiento entre hábitats complementarios (agua–refugio–alimentación), por ello esta franja es crítica para la conectividad ecológica, evitando aislamiento poblacional y manteniendo procesos a escala de paisaje.

Síntesis ecológica de las áreas críticas

El sistema ambiental presenta una organización funcional donde las áreas críticas no operan de forma aislada, sino como un sistema interdependiente, donde la alteración de un solo componente (particularmente H7 o H1) puede generar efectos en cascada sobre el resto del sistema.

- H7 (acuático) → soporte trófico y calidad hídrica
- H1 y H3 (transición) → reproducción, refugio y acceso al agua
- H4 (terrestre) → reproducción y estructura ecológica
- Corredores (H1–H3–H4) → conectividad y movilidad

Tabla IV-51. Áreas críticas identificadas para la fauna - Sistema Ambiental Los Rápidos.

Zona / hábitat	Función crítica	Especies asociadas
Canal de Los Rápidos y zona litoral (H7)	*Alimentación de piscívoros; reproducción de peces; actividad del cocodrilo; corredor acuático kárstico*	Garzas, martín pescador, cocodrilo, 21 spp. peces; nutria; manatí (laguna)
Planicie Sedimentaria Baja (H1)	*Alimentación y bebedero de mamíferos grandes; crianza de anfibios; forrajeo de aves acuáticas; zona de amortiguamiento lagunar*	Tapir, jaguarundi, jabalí, coatí, garza cucharón, carrao, cigüeña jabirú, Agalychnis callidryas
Cenote / ojo de agua con tular (H3)	*Fuente de agua permanente para fauna terrestre; reproducción de anfibios; hábitat de reptiles acuáticos; nodo de conectividad interna*	Coatí, sereco, tepezcuintle, Agalychnis callidryas, Scinax staufferi, cocodrilo, Ariopsis assimilis
Acahual Selva Baja - estrato arbóreo (H4)	*Anidación de aves de interior; tránsito y alimentación de primates; refugio de felinos; reproducción de aves de dosel*	Mono araña, Amazona xantholora, Trogon spp., Spizaetus tyrannus
Franja de conectividad H1–H3–H4	*Corredor de tránsito longitudinal para mamíferos grandes que utilizan múltiples hábitats*	Tapir, mono araña, jaguarundi, jabalí, coatí, tejón
Espejo lagunar colindante (H7 - laguna)	*Alimentación y tránsito de manatí; forrajeo de aves piscívoras; parada de aves migratorias*	Manatí, nutria, pelícano, halcón peregrino, aves neárticas migratorias

Corredores biológicos

El gradiente ecológico continuo del predio -acahuales ponientes (H5, H4) → cenote con tular (H3) → planicies sedimentarias (H2, H1) → canal y laguna (H7)- constituye el corredor ecológico longitudinal principal del sistema ambiental. Su funcionalidad está documentada por el tránsito confirmado de mamíferos que requieren acceso simultáneo a hábitat terrestre y acuático (tapir, coatí, mapache, jaguarundi). A escala regional, el predio se inscribe dentro del corredor costero suroeste-noreste identificado por la CONABIO entre la Laguna de Bacalar y la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, facilitando el desplazamiento del mono araña y otras especies a lo largo del borde lagunar.

Rutas migratorias - aves

El sector sur de la Laguna de Bacalar se ubica dentro del corredor migratorio mesoamericano del litoral caribeño de México, una de las cuatro rutas migratorias principales del continente americano (Centro-Canadá-Mississippi-Golfo de México-Yucatán-Centroamérica). El canal de Los Rápidos, la

planicie sedimentaria baja (H1) y el espejo lagunar colindante constituyen sitios de parada, descanso y alimentación para aves migratorias neárticas entre agosto y noviembre (migración otoñal) y entre marzo y mayo (migración primaveral). El inventario de campo confirmó la presencia de halcón peregrino (*Falco peregrinus*), múltiples especies de paserinas migratorias (*Parulidae, Vireonidae)* y aves acuáticas migratorias en tránsito.

Factores de deterioro de la fauna silvestre

La fauna silvestre del sistema ambiental asociado al predio Los Rápidos se encuentra influenciada por una serie de factores de presión y deterioro de origen tanto antrópico como natural, cuya intensidad y alcance varían en función del tipo de hábitat y su conectividad con el sistema regional Bacalar–Xul-Ha.

Dado que el área de estudio mantiene condiciones de conservación relativamente favorables, evidenciadas por la presencia de especies sensibles y en estatus de protección, los factores de deterioro identificados no han generado hasta el momento una pérdida significativa de biodiversidad; sin embargo, representan riesgos potenciales que pueden comprometer la funcionalidad ecológica del sistema en el mediano y largo plazo si no son gestionados adecuadamente.

Estos factores se manifiestan principalmente sobre los componentes más sensibles del sistema, particularmente los hábitats acuáticos (H7), las zonas de transición hidrológica (H1 y H3) y los corredores de conectividad entre unidades ambientales, afectando procesos clave como la reproducción, alimentación y desplazamiento de la fauna.

Asimismo, es importante destacar que el predio presenta una dinámica dual, en la que coexisten presiones externas derivadas del contexto regional (turismo lagunar, infraestructura vial, cambio de uso de suelo) y condiciones internas que, en gran medida, han sido reguladas mediante esquemas de manejo interno que han permitido la permanencia de la fauna silvestre dentro del área operativa.

Presión turística y náutica sobre el sistema lagunar

El incremento sostenido de la actividad náutica y turística en la Laguna de Bacalar genera perturbación sonora, visual y física sobre la fauna acuática y semiacuática de H7, especialmente sobre el manatí, el cocodrilo de pantano y las colonias de aves acuáticas en la planicie sedimentaria baja (H1). En el predio, el modelo de uso regulado con infraestructura fija, zonificación de actividades y el andador elevado construido sobre la planicie sedimentaria ha permitido mantener la fauna silvestre dentro del área operativa, como lo ha venido haciendo a lo largo de más de 30 años de operación continua.

Especies exóticas invasoras

La presencia del pez diablo (Pterygoplichthys sp.) en los fondos lagunares de H7 representa el principal factor de presión biológica de origen exótico sobre el ensamblaje ictícola nativo. Su comportamiento raspador altera el sustrato bentónico y los microbialitos, compite por refugio con especies nativas y puede depredar huevos de otros peces.

Conectividad externa reducida

La carretera federal 307 y las áreas agropecuarias colindantes limitan la conectividad del predio con las masas forestales adyacentes al norte y poniente, reduciendo el intercambio genético para mamíferos grandes (jaguarundi, tapir) y primates que requieren extensas superficies forestales continuas.

Riesgo de mesotrofización del canal como proceso ecológico asociado a la dinámica de los microbialitos

El sistema del canal de Los Rápidos (H7) se caracteriza por condiciones predominantemente oligotróficas, en las cuales los microbialitos activos desempeñan un papel central en la estructuración del ecosistema. Sin embargo, estas condiciones no son estáticas, sino que forman parte de una dinámica ecológica de largo plazo, donde los propios microbialitos participan en la transformación progresiva del sistema.

Los microbialitos, a través de procesos de precipitación de carbonatos, generan estructuras sólidas que contribuyen a la formación de sustrato, acumulación de sedimentos y reducción gradual de la profundidad del canal. Este proceso tiene múltiples efectos ecológicos como la disminución de la velocidad de flujo del agua, el incremento en la retención de sedimentos finos, la generación de microhábitats someros y zonas de transición y la formación incipiente de suelos en zonas emergentes.

De manera simultánea, las unidades adyacentes, particularmente la planicie sedimentaria baja (H1) y otras zonas húmedas, aportan de forma natural nutrientes disueltos y materia orgánica hacia el canal, especialmente durante eventos hidrológicos como lluvias intensas o fluctuaciones del nivel lagunar.

Estos procesos combinados dan lugar a una tendencia natural hacia la mesotrofización, entendida no como degradación inmediata, sino como una fase sucesional del sistema, en la cual aumenta la disponibilidad de nutrientes, se diversifican los hábitats (acuáticos, someros, emergentes y húmedos) y se facilita el establecimiento de nuevas comunidades biológicas

En este sentido, la mesotrofización en Los Rápidos puede interpretarse como el resultado de una retroalimentación positiva constructiva generada por los microbialitos, donde los microbialitos modifican el ambiente físico (profundidad, flujo, sustrato) lo cual favorece la retención de nutrientes, lo que, a su vez permite el desarrollo de nuevos ecosistemas, que a su vez refuerzan la transformación del sistema.

Implicaciones ecológicas del proceso

Este proceso conlleva una transición gradual de ambientes oligotróficos abiertos hacia sistemas más complejos con mosaicos de hábitats, incluyendo zonas someras, humedales, áreas con vegetación emergente y microhábitats para anfibios, reptiles y aves. Por lo tanto, la mesotrofización no implica necesariamente pérdida de biodiversidad, sino un cambio en la composición y estructura ecológica del sistema.

Es importante, por ello, tener clara la diferenciación entre proceso natural y riesgo inducido. En este sentido es importante distinguir entre mesotrofización natural que esta asociada a la evolución geomorfológica y ecológica del sistema, impulsada por microbialitos y procesos hidrológicos y la mesotrofización acelerada (que es el riesgo real), la cual es derivada de aportes antrópicos excesivos de nutrientes, que pueden desestabilizar el sistema y alterar los tiempos naturales del proceso.

Papel de la planicie sedimentaria (H1)

La planicie sedimentaria baja (H1) no solo representa una posible fuente de nutrientes para el canal, sino un componente funcional que aporta materia orgánica, favorece la formación de nuevos hábitats y contribuye a la transición ecológica natural. Su conservación es fundamental para mantener la dinámica natural del sistema sin inducir procesos de degradación acelerada.

La mesotrofización del canal de Los Rápidos debe entenderse como un proceso ecológico natural asociado a la dinámica de los microbialitos, mediante el cual el sistema evoluciona hacia una mayor complejidad estructural y diversidad de hábitats. No obstante, el principal riesgo no radica en la

mesotrofización en sí, sino en su aceleración por factores externos, que podrían alterar el equilibrio entre los procesos de construcción biogénica y la estabilidad del sistema.

Biodiversidad - análisis multiescalar

La biodiversidad del sistema ambiental asociado al predio Los Rápidos no puede entenderse únicamente a partir de la riqueza de especies registrada en el sitio, sino que debe analizarse en función de su organización espacial y funcional a diferentes escalas ecológicas.En este sentido, el sistema presenta una estructura compleja donde la diversidad biológica se expresa a través de la interacción entre múltiples hábitats interconectados -desde ambientes acuáticos oligotróficos hasta selvas secundarias en distintos estadios de sucesión -, generando un mosaico ecológico altamente heterogéneo.

El análisis multiescalar de la biodiversidad permite distinguir tres niveles complementarios:

- Diversidad alfa, asociada a la riqueza y equidad de especies dentro del predio
- Diversidad beta, relacionada con los cambios en la composición de especies entre hábitats a lo largo del gradiente ambiental
- Diversidad gamma, que integra el papel del sistema dentro del contexto regional de la cuenca de Bacalar

Este enfoque es particularmente relevante en sistemas kársticos como el de Bacalar, donde la conectividad hidrológica y la heterogeneidad del paisaje generan patrones de distribución biológica altamente dinámicos, y donde procesos como la formación de microbialitos, la transición de hábitats y la conectividad ecológica influyen directamente en la estructura de la biodiversidad.

Asimismo, este análisis permite ubicar al predio Los Rápidos no como un sistema aislado, sino como un componente funcional dentro de un continuo ecológico regional, cuya importancia radica tanto en su diversidad local como en su contribución a la conectividad y resiliencia del sistema lagunar.

Diversidad alfa (local - predio Los Rápidos)

El inventario sistemático de campo reporta H' = 4.612 (Shannon-Wiener) para el ensamblaje de vertebrados terrestres del predio, con alta equidad (J' = 0.9022) y alta riqueza relativa (DMg = 25.46). Este valor es consistente con sistemas de selva mediana secundaria y mosaico de hábitats en el sur de Quintana Roo.

La ictiofauna del canal de Los Rápidos, con 21 especies en una porción del cuerpo de agua que posee reducida extensión superficial, representa un valor de diversidad alfa acuática elevado para la región, explicado por la heterogeneidad de microhábitats generada por el gradiente hidráulico, los microbialitos y la conexión con el acuífero.

Diversidad beta (entre ecosistemas - gradiente del predio)

La diversidad beta es alta, determinada por el fuerte contraste entre los ensamblajes faunísticos de cada hábitat. Los ecotonos entre H1 y H3, y entre H3 y H4, concentran la mayor riqueza local al combinar recursos de ecosistemas adyacentes. El cenote con tular (H3) actúa como nodo de alta diversidad beta por su posición central en el gradiente y su condición de hábitat singular dentro de la matriz terrestre del predio.

Diversidad gamma (regional - cuenca de Bacalar)

La Laguna de Bacalar alberga microbialitos de agua dulce gigantes (Gischler et al., 2008) y una ictiofauna con alto nivel de endemismo regional. El Sistema Ambiental Los Rápidos contribuye a esta diversidad gamma como componente del continuo ecológico costero-lagunar del sur de

Quintana Roo, aportando hábitats de planicie sedimentaria, tular, acahual y selva secundaria que complementan el ecosistema estrictamente acuático de la laguna.

Comparación con región prioritaria

El municipio de Othón P. Blanco forma parte de la Región Terrestre Prioritaria 'Balaam-Kú' y la Región Hidrológica Prioritaria 'Bacalar' (CONABIO). La presencia confirmada en el predio de tapir, mono araña, jaguarundi, cocodrilo de pantano y endemismos ícticos del canal es coherente con el perfil de biodiversidad esperado para esta región prioritaria.

Ecosistemas y funcionalidad faunística

El sistema ambiental del predio Los Rápidos se caracteriza por una alta complejidad ecológica, resultado de la interacción entre ecosistemas acuáticos, de transición y terrestres que operan de manera integrada a través de flujos de energía, materia y organismos. Esta interconectividad se expresa en la funcionalidad faunística, entendida como el conjunto de procesos ecológicos en los que participa la fauna, incluyendo relaciones tróficas, interacciones con la vegetación, dispersión de nutrientes y mantenimiento de la estructura del ecosistema.

En este contexto, la fauna no solo representa un componente de la biodiversidad, sino que constituye un elemento activo en la regulación y estabilidad del sistema, participando en procesos clave como la transferencia de energía entre niveles tróficos, la regeneración de la vegetación, el control de poblaciones y la conectividad entre hábitats.

La configuración espacial del predio, organizada en un gradiente que va desde el sistema lagunar (H7), pasando por zonas de transición (H1, H3), hasta ecosistemas terrestres en distintos estados sucesionales (H4, H5), favorece la existencia de redes ecológicas complejas, donde las especies utilizan múltiples hábitats de manera complementaria a lo largo de su ciclo de vida.

Este enfoque permite analizar la funcionalidad del sistema desde cuatro dimensiones principales:

1. Las relaciones tróficas que estructuran las cadenas alimenticias,
2. Las interacciones flora-fauna que sostienen procesos ecológicos clave,
3. El rol del predio dentro del sistema regional bacalar, y
4. La resiliencia del sistema frente a perturbaciones.

En conjunto, este análisis evidencia que el predio Los Rápidos no constituye un espacio aislado, sino un sistema ecológico funcionalmente integrado, cuya dinámica depende de la conectividad entre hábitats y del mantenimiento de procesos biológicos esenciales.

Relaciones tróficas

La cadena trófica del sistema acuático se sustenta en la productividad primaria de algas bentónicas, tapetes microbianos y fitoplancton del canal (H7) y el cenote (H3). El zooplancton y las larvas de insectos acuáticos constituyen el segundo nivel trófico, consumidos por peces zooplanctívoros (*Dorosoma petenense, Gambusia yucatana, Chirodorus atherinoides*).

Estos son presas de carnívoros medianos (*Belonesox belizanus, Gobiomorus dormitor, Petenia splendida, Mayaheros urophthalmus*) y de depredadores externos (garzas, martín pescador enano, cocodrilo). En el sistema terrestre, la cadena va de la vegetación secundaria en regeneración (H4, H5) y la planicie sedimentaria (H1, H2) hacia los herbívoros y frugívoros (tapir, mono araña, tepezcuintle), los omnívoros (coatí, mapache) y los depredadores tope (jaguarudi).

Interacciones flora-fauna

Las interacciones flora-fauna más relevantes del sistema son: (1) la dispersión de semillas por tapir, tepezcuintle, monos y aves frugívoras, que acelera la recuperación de los acahuales (H4, H5) y mantiene la diversidad florística de la planicie sedimentaria (H1, H2); (2) la polinización por abejas nativas y mariposas de plantas de selva secundaria y del manglar en transición de H1; (3) la asociación entre gobios especializados (*Gobiosoma yucatanum*) y los microbialitos del canal (H7), cuyos biofilms constituyen parte de la dieta de estos peces; (4) la estabilización de las orillas del canal y la planicie baja (H1) por la vegetación hidrófila (carrizal, tular, manglar en transición), que provee refugio y zona de crianza para peces juveniles y anfibios; y (5) el control biológico de larvas de insectos en H3 y H7 por los odonatos acuáticos, que reduce poblaciones de vectores de enfermedades.

Rol en el ecosistema regional

El predio Los Rápidos cumple una función de conexión ecológica entre el interior terrestre y el ecosistema lagunar de Bacalar. La planicie sedimentaria baja (H1) actúa como zona de amortiguamiento ecológico entre el sistema lagunar y las áreas terrestres, regulando flujos de nutrientes, sedimentos y agua. El cenote (H3) conecta el acuífero kárstico con el sistema superficial del predio, sustentando una fuente de agua permanente de alta importancia faunística.

El gradiente de acahuales (H5→H4→H3) representa el proceso de recuperación de la cobertura forestal histórica del predio y su progresiva reintegración como hábitat de calidad para fauna de interior.

Resiliencia

La coexistencia documentada de fauna de alta sensibilidad ecológica (tapir, mono araña, jaguarundi, cocodrilo, endemismos ícticos) con la operación turística del predio durante más de 30 años sugiere un nivel de resiliencia razonable del sistema, atribuible al modelo de manejo de baja intensidad adoptado, la conservación de la planicie sedimentaria baja como zona de amortiguamiento sin intervención, el mantenimiento del flujo permanente y la calidad del agua del canal, y la preservación del cenote como fuente de agua interna para la fauna terrestre.

El principal riesgo para la resiliencia del sistema es la degradación de la calidad del agua lagunar por presiones externas al predio y la expansión del pez diablo invasor en H7.

Metodología de caracterización

La caracterización de la fauna silvestre del sistema ambiental asociado al predio Los Rápidos se realizó mediante un enfoque metodológico mixto, que integra técnicas de campo, observación directa, registros operativos acumulados y revisión de fuentes secundarias. Este enfoque permitió obtener una base de datos robusta y representativa, adecuada para evaluar la composición, distribución y funcionalidad de la fauna en el área de estudio.

Dado que el sistema presenta una alta heterogeneidad de hábitats -incluyendo ambientes terrestres, zonas de transición y sistemas acuáticos kársticos-, fue necesario emplear diferentes técnicas complementarias, cada una con alcances específicos y limitaciones inherentes. La combinación de estas herramientas permitió cubrir distintos grupos taxonómicos y escalas espaciales, reduciendo sesgos asociados a la detectabilidad de especies y a la temporalidad del muestreo.

Técnicas utilizadas y fuentes de información

La caracterización faunística se fundamenta en cinco fuentes principales de información: (1) inventarios sistemáticos de campo, (2) observaciones directas del personal operativo, (3) registros visuales específicos para ictiofauna, (4) revisión bibliográfica de estudios regionales y (5) consulta de bases de datos especializadas.

El inventario sistemático de campo constituye la base principal del análisis, al proporcionar datos cuantificables obtenidos mediante transectos diurnos y nocturnos, recorridos en brechas, identificación de huellas y rastros, así como registros auditivos y visuales. Esta técnica permitió documentar la mayor parte de la fauna terrestre del predio, con un total de 1,318 individuos registrados, incluyendo aves, mamíferos, reptiles y anfibios. Sin embargo, su alcance se limita principalmente a ambientes terrestres y de transición, sin cubrir de manera directa el sistema acuático (H7).

Para complementar esta información, se incorporaron observaciones directas del personal operativo y propietarios, quienes han mantenido un registro continuo de la fauna durante más de 30 años de operación. Aunque estos datos no siguen un protocolo sistemático, aportan información valiosa sobre especies de baja detectabilidad o comportamiento críptico, así como sobre la persistencia temporal de la fauna en el predio.

En el caso de la ictiofauna, se utilizó el método de observación visual directa en el canal de Los Rápidos, el cenote (H3) y la zona litoral lagunar (H7), aprovechando la alta transparencia del agua característica del sistema. Esta técnica permitió identificar 21 especies de peces; sin embargo, no se cuenta con estimaciones cuantitativas de abundancia.

Adicionalmente, se realizó una revisión bibliográfica de antecedentes regionales, incluyendo estudios previos y manifestaciones de impacto ambiental en la cuenca de Bacalar, con el fin de contextualizar los resultados a escala regional. Esta información fue complementada con consultas a bases de datos especializadas como el CONABIO (SNIB) y la plataforma eBird, que aportan registros adicionales a nivel municipal y estatal.

Consideraciones metodológicas

Cada técnica presenta limitaciones inherentes:

- El inventario sistemático puede subestimar especies raras o nocturnas
- Las observaciones del personal carecen de esfuerzo de muestreo cuantificado
- El registro visual de peces no permite estimar densidad poblacional
- La información bibliográfica y de bases de datos no es específica del predio

No obstante, la integración de múltiples fuentes permite compensar estas limitaciones, generando una caracterización más completa y confiable del sistema.

El enfoque metodológico adoptado permite contar con información verificable, representativa y multiescalar, reducir sesgos asociados a métodos individuales e integrar el predio dentro de su contexto ecológico regional. En conjunto, la metodología empleada proporciona una base sólida para el análisis de biodiversidad, funcionalidad ecológica e impactos ambientales del proyecto.

Técnicas utilizadas y fuentes de información

Tabla IV-52. Métodos y fuentes de información utilizados en la caracterización faunística.

Técnica / fuente	Grupos cubiertos	Alcance en el sistema ambiental	Limitaciones
Inventario sistemático de campo (transectos diurnos y nocturnos, recorridos en brechas, identificación de huellas y rastros, registros auditivos y visuales)	*Aves (124 spp.), mamíferos (15 spp.), reptiles (18 spp.), anfibios (9 spp.)*	Predio Los Rápidos (179.41 ha); dos temporadas; 1,318 ind. registrados	No cubre sistema acuático (canal, cenote) ni hábitat H7
Observación directa del personal operativo y propietarios	*Mamíferos adicionales, reptiles acuáticos*	Predio completo; registros acumulados >30 años de operación	No sistemática; sin esfuerzo de muestreo cuantificado
Registro visual de ictiofauna	*Peces (21 spp.)*	Canal de Los Rápidos, cenote (H3) y zona litoral lagunar (H7)	Sin cuantificación de abundancia; identificación visual
Revisión bibliográfica y antecedentes de MIA regionales	*Todos los grupos*	Sistema ambiental y cuenca de Bacalar	Escala regional; no específica para el predio
Bases de datos especializadas (CONABIO SNIB, eBird)	*Aves, mamíferos*	Municipio de Othón P. Blanco y Quintana Roo	Resolución espacial variable

Esfuerzo de muestreo

El inventario sistemático de campo registró 1,318 individuos distribuidos en 166 especies, con una equidad de Pielou de J' = 0.9022, valor que indica cobertura representativa del ensamblaje presente. Los muestreos se realizaron en diferentes horarios (diurno: 8:00–11:00 h y 13:00–16:00 h; nocturno: 19:00–22:00 h) para capturar tanto especies diurnas como nocturnas, y en diferentes tipos de cobertura (selva baja y mediana, acahual, tular, zonas de borde) para maximizar la representatividad del inventario.

Para aves se empleó el método de transecto en franja con registros visuales y auditivos; para herpetofauna, búsqueda activa con volteo de sustratos y recorridos nocturnos; para mamíferos, recorridos con identificación de huellas, excretas, comederos y avistamientos directos.

Tapetes microbianos y biofilms

Los tapetes microbianos constituyen la fracción biológicamente activa asociada a los microbialitos, desempeñando un papel fundamental en los procesos de formación, estabilización y funcionamiento del sistema lagunar. Estos ensamblajes están compuestos principalmente por cianobacterias, diatomeas, bacterias heterótrofas y otros microorganismos, organizados en una matriz compleja que interactúa de manera directa con las condiciones fisicoquímicas del agua (Gischler et al., 2011; Centeno et al., 2012).

A nivel funcional, los tapetes microbianos inducen la precipitación de carbonato de calcio mediante la modificación local del pH y la alcalinidad, asociada a procesos metabólicos como la fotosíntesis y la respiración microbiana (Dupraz et al., 2009; Riding, 2000). Este proceso constituye uno de los mecanismos clave en la formación de los microbialitos.

Los biofilms generan matrices extracelulares poliméricas (EPS) que cumplen funciones estructurales y ecológicas esenciales, incluyendo la captura y retención de sedimentos finos, la

estabilización del carbonato precipitado, la cohesión del sustrato y la formación de microhábitats para diversas comunidades microbianas. Estas matrices actúan como interfaz entre el agua y el sedimento, regulando procesos de deposición y erosión, y facilitando la acumulación progresiva de material carbonatado (Dupraz et al., 2009; Valdespino-Castillo et al., 2018).

En términos de composición, el tapete microbiano incluye, de manera general Cianobacterias filamentosas y coloniales, principales responsables de la inducción de precipitación de carbonato, Diatomeas y algas microscópicas, que contribuyen a la fijación de carbono y a la producción de mucílago., Bacterias heterótrofas y quimioautótrofas, involucradas en el ciclado de nutrientes (nitrógeno y fósforo), Matriz extracelular (EPS), compuesta por polisacáridos, proteínas y lípidos que estabilizan la estructura y partículas sedimentarias incorporadas, que incrementan la densidad y porosidad del sistema.

La diversidad microbiana presente en estos tapetes genera redundancia funcional, permitiendo que distintos organismos realicen procesos similares, lo que incrementa la resiliencia del sistema frente a variaciones ambientales (Yáñez-Montalvo et al., 2020; Valdespino-Castillo et al., 2018).

Asimismo, los tapetes microbianos participan en la modulación de la bioturbación, al generar una resistencia parcial a la acción de organismos bentónicos y estabilizar el sedimento superficial. No obstante, la bioturbación también puede contribuir a la heterogeneidad estructural, al mezclar sedimentos y modificar la porosidad del sustrato.

La dinámica del tapete está estrechamente vinculada a procesos de retroalimentación positiva, en los cuales la acumulación de carbonato y la modificación de la topografía influyen en la redistribución del flujo, favoreciendo nuevas zonas de deposición y crecimiento estructural (Burne & Moore, 1987; Dupraz et al., 2009).

Es importante señalar que la distribución y presencia del tapete microbiano es altamente variable en el espacio y en el tiempo, respondiendo a factores como la hidrodinámica, la disponibilidad de nutrientes, la luz, la interacción con macrófitas y los procesos de sucesión ecológica. En este sentido, su expresión no es homogénea ni permanente, sino parte de la dinámica natural del sistema lagunar (Gischler et al., 2011; Yáñez-Montalvo et al., 2020).

Por lo anterior, aunque el tapete microbiano es fundamental para comprender el funcionamiento del sistema, no constituye un indicador directo de impacto ambiental, debido a la ausencia de metodologías estandarizadas para su cuantificación y a la dificultad para atribuir cambios observados a causas específicas (naturales o antrópicas).

Retroalimentación positiva y bioturbación

El crecimiento de los tapetes microbianos y la acumulación de carbonato en los microbialitos están asociados a mecanismos de retroalimentación positiva, en los cuales la actividad biológica modifica las condiciones físicas del entorno, favoreciendo la continuidad de los procesos de formación estructural. Este tipo de dinámicas ha sido ampliamente documentado en ecosistemas acuáticos, donde interacciones entre componentes biológicos y físicos generan procesos auto-reforzados que estabilizan o transforman el sistema (Stone & Weisburd, 1992).

En el caso de los microbialitos, a medida que se incrementa la topografía de las estructuras, se producen cambios en la hidrodinámica local, incluyendo la redistribución del flujo, la generación de microzonas de distinta energía hidráulica y la retención diferencial de sedimentos. Estas condiciones favorecen la deposición adicional de carbonato y la estabilización del sustrato, reforzando el crecimiento estructural del sistema (Dupraz et al., 2009; Burne & Moore, 1987).

Este comportamiento refleja la naturaleza autoorganizada de los sistemas microbialíticos, en los que la interacción entre actividad microbiana, precipitación de carbonato y dinámica hidráulica produce configuraciones espaciales complejas y en evolución continua (Gischler et al., 2011).

Paralelamente, la bioturbación ejercida por invertebrados bentónicos introduce un factor adicional de variabilidad en la estructura del tapete y del sedimento superficial. La actividad de estos organismos puede reestructurar capas superficiales, mezclar sedimentos y materia orgánica, modificar la porosidad del sustrato, y alterar microgradientes fisicoquímicos.

Sin embargo, la evidencia disponible sugiere que la interacción entre fauna y tapetes microbianos no implica necesariamente una dependencia trófica directa, ni una presión constante que limite su desarrollo. En sistemas microbialíticos, los metazoos pueden interactuar con los tapetes sin que estos constituyan su principal recurso alimenticio, lo que indica una relación más compleja que la simple herbivoría (Rishworth et al., 2017).

En este sentido, la bioturbación puede tanto favorecer como limitar la precipitación de carbonato, dependiendo de su intensidad y de las condiciones ambientales, al influir en la estabilidad del tapete y en la retención de sedimentos (Dupraz et al., 2009; Valdespino-Castillo et al., 2018).

La estructura de los microbialitos resulta así de la interacción dinámica entre procesos constructivos (precipitación y estabilización) y procesos de reestructuración (bioturbación), lo que contribuye a la heterogeneidad interna del sistema.

Los principales "ingenieros del sedimento" son: Caracoles y otros gasterópodos, que dejan rastros y surcos sobre los tapetes microbianos y raspan la superficie para alimentarse de algas o bacterias.

También hay pequeños crustáceos (anfípodos, isópodos, camarones), que excavan microtúneles y vuelven a suspender sedimentos finos. Hay peces bentónicos (chacs, mojarras) que revuelven el sedimento al buscar alimento y realizan "picoteo" o raspado sobre los tapetes.

Los gusanos y larvas sedimentívoras perforan el tapete microbiano e ingresan oxígeno o agua rica en nutrientes a zonas que deberían permanecer anóxicas (privadas de oxígeno) (Villarreal-Sonora, 2025)

Es importante señalar que estos procesos forman parte de la dinámica natural del sistema, y no deben interpretarse como indicadores directos de perturbación antrópica, sino como mecanismos inherentes al funcionamiento ecológico y geomicrobiológico de los microbialitos.

Composición y funciones químicas del tapete

Los tapetes microbianos asociados a los microbialitos constituyen sistemas biogeoquímicos altamente organizados, en los cuales interactúan componentes minerales, orgánicos y biológicos en microescala, funcionando como unidades activas de transformación del entorno.

Desde el punto de vista composicional, estos sistemas están integrados por:

- Carbonato de calcio ($CaCO_3$), principalmente en forma de aragonita y calcita, que se precipita in situ como resultado de cambios fisicoquímicos inducidos por la actividad metabólica de los microorganismos (Dupraz et al., 2009; Riding, 2000).
- Matriz extracelular polimérica (EPS), compuesta por polisacáridos, proteínas y lípidos, que actúa como un medio cohesivo donde se retienen sedimentos y se facilita la nucleación mineral (Decho, 2000).
- Comunidades microbianas complejas, dominadas por cianobacterias, pero incluyendo bacterias heterótrofas, arqueas y otros microorganismos que participan en ciclos biogeoquímicos clave (Gischler et al., 2011).
- Minerales traza y compuestos disueltos, que intervienen en procesos de precipitación, disolución y transformación química del sistema.

A nivel funcional, el tapete microbiano opera como una interfaz activa entre el agua y el sedimento, donde se regulan procesos fundamentales para la formación de microbialitos. En particular, las cianobacterias utilizan bicarbonato disuelto como fuente de carbono para la fotosíntesis, lo que genera cambios locales en el pH del microambiente. Este incremento en alcalinidad favorece la precipitación de carbonato de calcio, que queda atrapado dentro de la matriz del tapete, iniciando así el proceso de litificación (Dupraz et al., 2009).

Este mecanismo ha sido ampliamente documentado en sistemas microbialíticos, donde la actividad metabólica induce condiciones de sobresaturación de carbonato, promoviendo la formación de estructuras minerales de manera progresiva (Riding, 2000).

En el caso de Bacalar, la evidencia local indica que este proceso ocurre de manera continua: el agua del sistema transporta bicarbonato y calcio disueltos provenientes del acuífero kárstico, los cuales son transformados por la actividad microbiana en carbonato sólido que se deposita en el tapete. Este proceso se repite de forma acumulativa, generando capas sucesivas de material mineralizado (Villarreal Sonora, 2025)

Adicionalmente, la matriz extracelular (EPS) cumple funciones críticas como la captura y retención de sedimentos finos, la estabilización del sustrato, la facilitación de la nucleación y crecimiento cristalino y la protección de las comunidades microbianas frente a perturbaciones físicas y químicas (Decho, 2000; Dupraz et al., 2009).

Desde una perspectiva ecosistémica, los tapetes microbianos no solo participan en la formación de microbialitos, sino que también regulan procesos clave como la dinámica de nutrientes (nitrógeno y fósforo), la retención y redistribución de sedimentos y la estabilización de microambientes fisicoquímicos. Asimismo, su estructura estratificada genera gradientes redox (zonas oxigenadas y anóxicas), lo que permite la coexistencia de distintos grupos funcionales de microorganismos y una alta redundancia metabólica (Gischler et al., 2011; Valdespino-Castillo et al., 2018).

En conjunto, el tapete microbiano actúa como un sistema integrador que conecta procesos biológicos, químicos y sedimentarios, permitiendo la transformación de carbono disuelto en estructuras minerales sólidas.

Es importante destacar que estos procesos responden a la interacción entre condiciones hidrológicas, químicas y biológicas del sistema, y no deben interpretarse de manera aislada como indicadores directos de perturbación, sino como parte del funcionamiento natural de los sistemas microbialíticos.

Composición y biodiversidad del tapete microbiano

El tapete microbiano que constituye la base de los microbialitos en el sistema lagunar de Bacalar corresponde a una comunidad bentónica altamente diversa y funcionalmente integrada, en la que interactúan microorganismos, matriz orgánica y partículas sedimentarias. Estos tapetes operan como unidades biogeoquímicas activas que controlan procesos de precipitación mineral, retención de sedimentos y regulación química local (Dupraz et al., 2009; Gischler et al., 2011).

Su composición incluye los siguientes componentes estructurales y funcionales:

- Cianobacterias (filamentosas y coloniales): principales responsables de la fotosíntesis oxigénica y de la inducción de precipitación de carbonato mediante la modificación del pH local. Forman redes que estabilizan sedimentos y carbonato precipitado (Riding, 2000; Dupraz et al., 2009).
- Diatomeas y microalgas eucariotas: contribuyen a la fijación de carbono, producción de mucílago y cohesión del tapete, además de participar en la dinámica de sílice y materia orgánica.

- Bacterias heterótrofas y quimioautótrofas: intervienen en los ciclos de nitrógeno, fósforo y azufre, modulando la química del microambiente (pH, alcalinidad, disponibilidad de carbono inorgánico).
- Arqueas: participan en procesos de metabolismo anaerobio y contribuyen a los gradientes redox dentro del tapete.
- Matriz extracelular polimérica (EPS): estructura clave compuesta por polisacáridos, proteínas y lípidos que funciona como agente de cohesión, captura de sedimentos y sitio de nucleación mineral (Decho, 2000).
- Partículas sedimentarias atrapadas: arena, limo y detritos orgánicos que quedan incorporados en la matriz, contribuyendo a la densidad, porosidad y crecimiento estructural del microbialito.

En Bacalar, además, se ha documentado que estos tapetes presentan una alta diversidad microbiana con diferenciación espacial, incluyendo variaciones entre orillas, profundidades y tipos de sustrato, lo que evidencia su sensibilidad a condiciones locales, pero también su capacidad de adaptación (Villarreal Sonora, 2025).

Tabla IV-53. Síntesis de composición microbiana (basada en estudios en Bacalar y sistemas similares)

Grupo microbiano	Función principal	Rol en el tapete
Cianobacterias	Fotosíntesis, incremento de pH	Inducción de precipitación de $CaCO_3$
Proteobacterias (Alpha, Delta)	Ciclos de N, S y C	Regulación química y reciclaje de nutrientes
Bacterias heterótrofas	Degradación de materia orgánica	Producción de CO_2 y modulación del microambiente
Arqueas	Metabolismo anaerobio	Participación en gradientes redox
Diatomeas	Fotosíntesis y mucílago	Cohesión estructural y captura de sedimento
Protozoos	Depredación microbiana	Control poblacional y reorganización del tapete
Fuente: Integrado de Gischler et al. (2011); Valdespino-Castillo et al. (2018); Águila et al. (2022); Villarreal Sonora (2025).		

Tabla IV-54. Estructura funcional del tapete (organización vertical simplificada)

Capa	Condición dominante	Procesos principales
Superficial	Oxigenada	Fotosíntesis, aumento de pH, precipitación de carbonato
Intermedia	Microaeróbica	Transformación de nutrientes, degradación parcial
Profunda	Anóxica	Reducción de sulfatos, procesos anaerobios

Esta estructura genera **gradientes redox** que permiten la coexistencia de múltiples metabolismos y aumentan la eficiencia del sistema (Dupraz et al., 2009; Gischler et al., 2011).

Propiedades ecológicas clave del tapete

1. Redundancia funcional

Diversos grupos microbianos pueden realizar funciones similares (p. ej., fijación de carbono, transformación de nutrientes), lo que incrementa la resiliencia del sistema ante cambios ambientales (Valdespino-Castillo et al., 2018).

2. Complementariedad metabólica

La interacción entre organismos fotosintéticos y heterótrofos regula el pH, la alcalinidad y la saturación de carbonato, favoreciendo condiciones de precipitación mineral.

3. Interacciones tróficas y bioturbación microbiana

Protozoos y bacterias depredadoras reorganizan la matriz y los sedimentos, generando microheterogeneidad estructural sin comprometer necesariamente la funcionalidad del sistema.

4. Acoplamiento biogeoquímico

El tapete actúa como interfaz activa entre agua y sedimento, integrando procesos físicos, químicos y biológicos en una unidad funcional.

Microbialitos y sucesión hidroseral

Estos microbailitos no solo representan estructuras carbonatadas biogénicas de alto valor científico y ecológico, sino que cumplen una función fundamental como constructores de plataformas físicas que sostienen la evolución ecológica del sistema lagunar Bacalar–Xul-Ha (Villarreal-Sonora, M., 2026).

A través de la precipitación continua de carbonato de calcio inducida por comunidades microbianas, estas estructuras generan superficies estables y progresivamente emergentes, que actúan como cimientos naturales para el establecimiento de otros ecosistemas. Este proceso, acumulativo y de muy larga duración, ha permitido la formación de plataformas someras y bordes consolidados a ambos lados del canal.

La presencia de estas plataformas carbonatadas es clave para comprender la sucesión hidroseral observada en Los Rápidos. Sobre las superficies construidas por los microbialitos se desarrolla una transición gradual de ambientes acuáticos a subacuáticos y, posteriormente, a humedales consolidados:

En las zonas inmediatamente adyacentes al canal, los microbialitos conforman sustratos duros y estables, ligeramente elevados respecto al fondo lagunar. Estas superficies permiten la acumulación progresiva de sedimentos finos y materia orgánica, facilitando el establecimiento inicial de comunidades vegetales hidrófitas. Con el tiempo, se desarrollan ecosistemas de humedal, como tulares, carrizales y manglares, que se asientan directamente sobre las plataformas microbianas preexistentes.

De esta manera, los microbialitos funcionan como ingenieros ecosistémicos primarios, al crear las condiciones físicas necesarias para la colonización vegetal y la transición de ambientes acuáticos a terrestres.

Este papel constructor tiene implicaciones profundas en la dinámica del paisaje:

- Contribuye a la estabilización de los márgenes del canal, reduciendo la erosión lateral.
- Define la posición y anchura del canal, al limitar el espacio disponible para el flujo de agua.
- Sostiene la heterogeneidad de hábitats, al generar gradientes de profundidad, humedad y sustrato.
- Permite la existencia de humedales funcionales que actúan como zonas de amortiguamiento hidrológico, filtros biogeoquímicos y refugio de biodiversidad.

La sucesión hidroseral observable a ambos lados de Los Rápidos no puede explicarse sin la presencia de estas plataformas carbonatadas, las cuales constituyen la base estructural sobre la que se organiza el mosaico de ecosistemas del área.

Los microbialitos de Bacalar representan el primer escalón de una sucesión hidroseral acuática que, en escalas de tiempo largas (decenas a cientos de años), puede conducir a la transformación de un canal o zona de rápidos en un ambiente más somero y lentamente colmatado, eventualmente un pantano.

1. Fase pionera: microbialito activo

En esta fase hay un tapete microbiano incipiente: cianobacterias, diatomeas y bacterias heterótrofas colonizan sedimentos firmes en rápidos de flujo constante. Se produce precipitación de carbonato quea su vez induce consolidación superficial y genera microtopografía que comienza a retener sedimento fino. Se presenta una hidrodinámica dominante de flujos relativamente rápidos controlan la deposición de partículas, erosionando áreas más expuestas y favoreciendo la estabilidad de tapetes bien adheridos.

Los microbialitos están activos, acumulando capas de carbonato y sedimento, pero el flujo del agua sigue siendo suficiente para mantener el canal abierto y oxigenado.

2. Fase de consolidación y sedimentación progresiva

Incremento de sedimentación: sedimentos finos transportados por corrientes se depositan entre y sobre los microbialitos, aumentando la topografía y disminuyendo la turbulencia local.

Est aes la fase del tapete maduro: la densidad de la matriz extracelular y la diversidad microbiana alcanzan su máximo, estabilizando carbonato y sedimento, con una reducción de flujo: el aumento de obstáculos en el canal provoca zonas de velocidad de agua reducida, favoreciendo deposición adicional y acumulación de materia orgánica. Aquí, los microbialitos comienzan a modificar activamente la hidrodinámica local, creando microambientes donde se retienen partículas finas y restos vegetales. Esta acumulación progresiva inicia la transición hacia aguas más someras.

3. Fase intermedia: colonización vegetal y transición hacia pantano

Acumulación de sedimento y materia orgánica: la combinación de sedimentos carbonatados, finos y materia vegetal depositada genera un sustrato cada vez más estable y nutritivo. Colonización vegetal: plantas acuáticas emergentes y sumergidas comienzan a establecerse en zonas de baja corriente, como juncos, gramíneas y macrófitas típicas de zonas pantanosas, con una microtopografía compleja: la alternancia de trombolitos, oncolitos y zonas sedimentadas forma islotes y canales menores que reducen la conectividad de flujo, favoreciendo la retención de agua y sedimentos.

En este punto, los microbialitos ya no dominan la superficie, sino que sirven como base estructural para la colonización vegetal y el desarrollo de un tapete orgánico-sedimentario más heterogéneo.

4. Fase madura: pantano consolidado

Colmatación completa: la acumulación de sedimentos y materia orgánica, combinada con la descomposición de restos vegetales, eleva el lecho, reduciendo el flujo de agua a arroyos someros o estanques. Existe vegetación dominante de especies herbáceas, arbustos y eventualmente árboles de humedal reemplazan el tapete microbiano como estructura principal del sustrato. Se presenta una reducción de actividad microbiana de carbonato: la cobertura vegetal y la disminución de flujo reducen la precipitación de carbonato, y la dinámica de microbialitos queda relegada a relictos aislados.

Formación de pantano: se consolida un ecosistema con aguas someras, alta retención de materia orgánica y sedimentaria, y un equilibrio nuevo entre hidrodinámica, vegetación y microbialitos relictos.

Retroalimentaciones clave

Microbialito → reducción de flujo → deposición de sedimento

Sedimento acumulado → retención de agua y materia orgánica → colonización vegetal

Vegetación → estabilización de sedimento → disminución de precipitación de carbonato

Este conjunto de retroalimentaciones impulsa la transición hidroseral desde un sistema rápido dominado por microbialitos hacia un humedal o pantano, donde la dinámica original del flujo y precipitación carbonatada se integra a un ecosistema más complejo y maduro. Este canal funciona como un sistema morfodinámico activo, en el que los procesos biogeoquímicos, hidrológicos y geomorfológicos interactúan de manera estrecha. Dentro de este contexto, se identifica un mecanismo de retroalimentación positiva que influye directamente en la reducción gradual del ancho y la profundidad efectiva del canal.

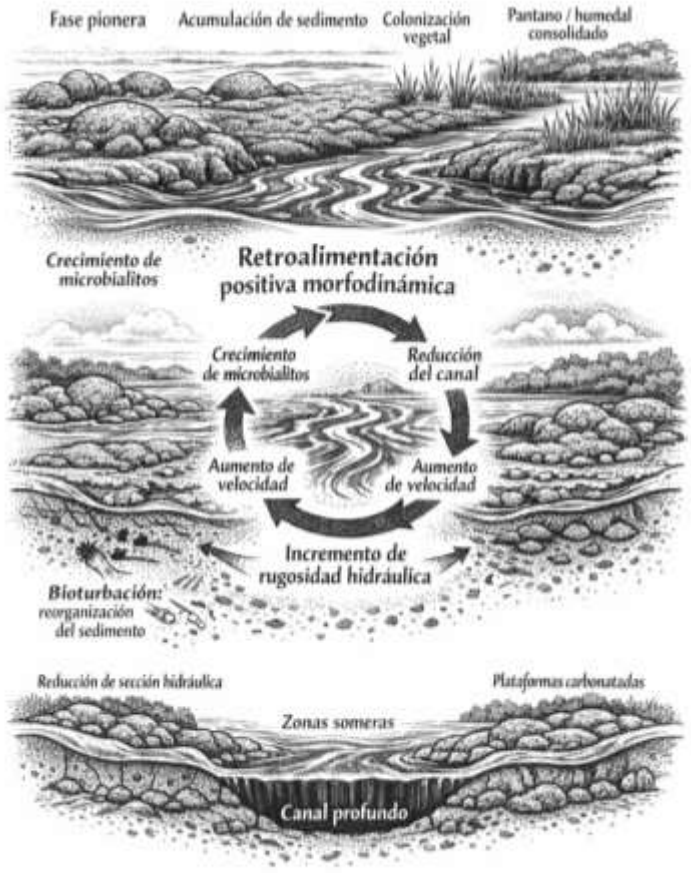


Ilustración IV-3 Evolición morfodinámica del canal de Los Rápidos. Fuente: Villarreal-Sonora (2025). Los Rápidos Bacalar. Geología y Ecología.

La retroalimentación positiva ocurre cuando un proceso inicial genera condiciones que refuerzan y aceleran ese mismo proceso. En Los Rápidos, este mecanismo puede describirse de la siguiente manera:

Crecimiento de microbialitos en zonas someras y márgenes del canal

Los microbialitos se desarrollan preferentemente en áreas poco profundas, con buena iluminación y flujo hídrico constante. Su crecimiento lateral y vertical hacia el interior del canal reduce progresivamente la sección hidráulica disponible.

Reducción del ancho y la profundidad efectiva del canal

A medida que las plataformas microbianas avanzan, el canal se vuelve más estrecho y somero en ciertos tramos, concentrando el flujo de agua en un espacio cada vez más limitado.

Aceleración del flujo en el canal remanente

La disminución de la sección transversal provoca un aumento local de la velocidad de la corriente, particularmente en el eje central del canal.

Condiciones favorables para la persistencia microbiana en los márgenes

El flujo acelerado evita la sedimentación fina sobre las superficies activas de los microbialitos, mantiene la oxigenación del agua y asegura un suministro continuo de carbonatos, lo que favorece

su crecimiento continuo. Este ciclo refuerza el proceso inicial, consolidando una dinámica autogenerada que tiende a estrechar y elevar gradualmente el lecho del canal.

Pérdida progresiva de profundidad y ancho

Como resultado de esta retroalimentación positiva, el canal experimenta una pérdida paulatina de profundidad y ancho funcional, especialmente en sus márgenes. Este proceso no ocurre de manera uniforme, sino de forma heterogénea, generando:

- Sectores con encajonamiento extremo del flujo, donde la corriente se concentra y se acelera.
- Zonas someras con plataformas microbianas emergentes o semiemergentes.
- Incremento de la rugosidad. hidráulica, es decir, al conjunto de irregularidades físicas del fondo y las paredes del cauce que oponen resistencia al movimiento del agua, y de la turbulencia local.

Desde una perspectiva geológica y ecológica, esta evolución es natural dentro de sistemas carbonatados kársticos con alta actividad microbiana. Sin embargo, su equilibrio depende de que se mantengan constantes las condiciones hidrológicas y fisicoquímicas del sistema.

La reducción, a través de este proceso natutal, del ancho y la profundidad del canal tiene implicaciones relevantes:

- Modifica los patrones de flujo entre la Laguna de Bacalar y Xul-Ha, afectando la conectividad hidrológica.
- Influye en la distribución de hábitats acuáticos y subacuáticos.
- Incrementa la sensibilidad del sistema ante perturbaciones externas, como cambios en el nivel del agua, aumento de nutrientes o alteraciones físicas del lecho.

Este proceso de retroalimentación positiva debe considerarse como un mecanismo clave de funcionamiento del sistema, y no como una anomalía. La pérdida gradual de profundidad y ancho del canal forma parte de una dinámica natural de construcción biogeoquímica del paisaje, cuya alteración puede tener efectos acumulativos y sinérgicos de alta significancia ambiental. Pero es un proces o natural.

Medio Socioeconómico

Contexto regional

El sistema ambiental donde se inserta el predio Los Rápidos forma parte de un continuo territorial y socioeconómico integrado por las localidades de Bacalar, Xul-Ha, dentro del sur del estado de Quintana Roo. Este sistema se articula en torno a la Laguna de Bacalar, que constituye el principal eje ecológico, paisajístico y económico de la región. Y la ciudad de Chetumal.

La localidad de Bacalar, cabecera municipal, ha experimentado una transformación significativa en las últimas décadas, pasando de ser una comunidad de base rural a un destino turístico emergente, con una población aproximada de 12,572 habitantes en 2020 . Este crecimiento se encuentra directamente vinculado a la valorización turística de la laguna, cuyo paisaje y características ecológicas han sido posicionadas como un producto turístico de alto atractivo.

Por su parte, Xul-Ha, ubicada al sur de la laguna y dentro del municipio de Othón P. Blanco, representa una localidad de menor escala poblacional (alrededor de 2,037 habitantes), con una economía basada en actividades primarias y un turismo incipiente . Su ubicación estratégica sobre la ribera lagunar y la carretera federal 307 la convierte en un punto de transición entre Bacalar y Chetumal.

Finalmente, la ciudad de Chetumal, cabecera del municipio de Othón P. Blanco, constituye el principal centro urbano, administrativo y de servicios de la región, concentrando infraestructura, población y actividades económicas de mayor escala .

Relación con el turismo lagunar

El desarrollo regional se encuentra fuertemente condicionado por el turismo asociado a la Laguna de Bacalar, el cual ha sido el principal motor de crecimiento económico en la última década. La laguna no solo funciona como atractivo turístico, sino como un recurso territorial estructurante, alrededor del cual se han configurado actividades de hospedaje, recreación, servicios náuticos y desarrollo inmobiliario.

Diversos estudios señalan que el turismo ha impulsado el crecimiento económico local, aunque también ha generado desigualdades sociales y presiones territoriales, particularmente en zonas cercanas al cuerpo lagunar . Asimismo, se ha documentado que el uso de suelo turístico ocupa aproximadamente 45% de la ribera de la laguna, dominado por viviendas de segunda residencia, hoteles y balnearios .

Este proceso ha derivado en una reconfiguración del paisaje ribereño, caracterizada por el incremento de infraestructura turística, la privatización progresiva del acceso a la laguna, la expansión de desarrollos inmobiliarios, la intensificación del uso recreativo del sistema acuático y el crecimiento reciente y la aceleración de la dinámica territorial

El crecimiento de Bacalar y su zona de influencia ha sido acelerado y en muchos casos desordenado, impulsado principalmente por el turismo. Se ha documentado un aumento significativo en la población y en la demanda de suelo urbano, asociado al posicionamiento del destino como atractivo turístico emergente .

De acuerdo con instrumentos de planeación urbana, las tasas de crecimiento poblacional han alcanzado valores cercanos al 2.9% anual en Bacalar, reflejando una tendencia de expansión sostenida . Este crecimiento se traduce en expansión urbana hacia zonas periurbanas y rurales, incremento en la demanda de servicios básicos y cambio de uso de suelo, particularmente en áreas cercanas a la laguna. Adicionalmente, estudios recientes han señalado que la combinación de expansión urbana acelerada y desarrollo turístico ha generado presión sobre los recursos hídricos, incluyendo riesgos de contaminación del acuífero y deterioro de la calidad del agua .

En conjunto, el sistema Bacalar-Xul-Ha-Chetumal puede entenderse como un territorio en transición, donde la laguna actúa como eje ecológico y económico, el turismo funciona como principal motor de transformación, el crecimiento poblacional y urbano se encuentra en expansión pero a la vez existen presiones crecientes sobre los recursos naturales. En este contexto, el predio se inserta dentro de un sistema socioeconómico dinámico, donde las actividades turísticas y el uso del territorio están directamente vinculados con la integridad ecológica del sistema lagunar, lo que resulta fundamental para la evaluación de impactos y la definición de estrategias de manejo ambiental.

Población y dinámica demográfica

La dinámica demográfica del sistema Bacalar–Xul-Ha–Chetumal se caracteriza por un crecimiento acelerado, impulsado principalmente por procesos migratorios y por la expansión del turismo, lo cual ha generado una presión creciente sobre el territorio y los recursos naturales, particularmente en la franja lagunar.

Crecimiento acelerado

En las últimas dos décadas, Bacalar ha experimentado un crecimiento poblacional significativo, asociado a su consolidación como destino turístico emergente. De acuerdo con datos del INEGI (2020), la población del municipio de Bacalar ha mostrado una tendencia sostenida al alza, con tasas de crecimiento superiores al promedio estatal en ciertos periodos.

Este crecimiento no responde únicamente a procesos naturales (natalidad), sino que está fuertemente vinculado a la atracción de población externa, motivada por oportunidades económicas en el sector turístico, servicios asociados y desarrollo inmobiliario.

La expansión demográfica se manifiesta en el incremento de asentamientos en la periferia urbana a medida que llega más personas a laborar en los centros relacionados con turismo y los servicios relacionados con la misma población, también con la ocupación de zonas cercanas a la laguna que han adquirido más plusvalía, la fragmentación progresiva del territorio rural en busqueda de espacios para que la poblacion migrante se establezca y la migración como motor del crecimiento econímico en la zona.

El crecimiento poblacional en Bacalar tiene un componente migratorio determinante. La región ha recibido población proveniente de otros estados del país (principalmente sureste y centro), de zonas rurales cercanas y, en menor medida, población extranjera vinculada al turismo. Este fenómeno ha generado una reconfiguración social y territorial, donde nuevas dinámicas económicas coexisten con estructuras comunitarias tradicionales.

De este modo la migración presenta características particulares ya que es predominantemente económica, asociada al turismo, en granparte tiene un componente temporal y fluctuante (trabajo estacional), está generando presión sobre servicios y vivienda y sobre el territorio ylos ecosistemas. El crecimiento poblacional y la migración han derivado en una presión directa sobre el uso del suelo, particularmente en zonas de alto valor ambiental como la ribera de la Laguna de Bacalar y sus áreas de influencia.

Entre los principales efectos se identifican el cambio de uso de suelo hacia actividades turísticas y habitacionales, la expansión urbana desordenada, en muchos casos sin planeación adecuada, el incremento en la demanda de servicios básicos (agua, drenaje, residuos) y la ocupación de áreas ambientalmente sensibles, lo cual ha generado una tensión creciente entre el desarrollo socioeconómico y la conservación ambiental, especialmente en sistemas frágiles como el lagunar, donde la capacidad de carga es limitada.

La aceleración de la dinámica poblacional en Bacalar no es un proceso aislado, sino el reflejo de un sistema socioeconómico en expansión, donde el turismo actúa como detonador principal, representa uno de los factores estructurales más relevantes en la transformación del territorio, con implicaciones directas sobre la integridad ecológica del sistema lagunar y sus zonas de influencia, incluyendo el predio Los Rápidos.

Actividades económicas

El sistema Bacalar–Xul-Ha–Chetumal presenta una estructura económica en transformación, donde el turismo se ha consolidado como el principal motor de desarrollo, desplazando progresivamente a las actividades tradicionales y reconfigurando el uso del territorio y la relación sociedad–ecosistema.

Turismo (principal motor)

En las últimas dos décadas, Bacalar ha emergido como un destino turístico relevante dentro del sur de Quintana Roo, impulsado por el atractivo paisajístico y ecológico de la Laguna de Bacalar. Este proceso ha derivado en un crecimiento sostenido de la actividad turística, posicionando al sector como el eje central de la economía local.

El turismo en la región se caracteriza por el desarrollo de hospedaje (hoteles, cabañas, eco-hoteles), la operación de balnearios y clubes de playa, actividades recreativas acuáticas (kayak, paddle, recorridos en lancha) y turismo de naturaleza y paisaje. Diversos estudios han señalado que el turismo ha generado beneficios económicos importantes, pero también ha implicado una transformación del territorio y del paisaje, particularmente en la franja lagunar (Gómez Pech, 2018). Asimismo, el crecimiento turístico ha estado acompañado de una expansión de infraestructura y servicios, así como de un aumento en la presión sobre los recursos naturales, especialmente el agua y el suelo (Barrera-Rojas, 2022).

En el contexto estatal, el turismo representa el principal sector económico de Quintana Roo, contribuyendo de manera significativa al Producto Interno Bruto y al empleo, lo que explica su efecto de atracción poblacional hacia destinos emergentes como Bacalar (SECTUR, 2023).

Servicios asociados

El desarrollo del turismo ha impulsado el crecimiento de un conjunto de actividades económicas complementarias, que constituyen la base del sector terciario en la región. Entre estas destacan los restaurantes y servicios de alimentos, transporte turístico y local, comercio minorista (artesanías, insumos, alimentos), servicios de guías turísticos, servicios inmobiliarios y de construcción.

Estas actividades han contribuido a diversificar la economía local y a generar empleo, pero también han incrementado la demanda de infraestructura y servicios básicos, como agua potable, manejo de residuos y saneamiento. No obstante, en muchos casos, el crecimiento de estos servicios ha ocurrido de manera acelerada y parcialmente desregulada, lo que ha derivado en problemas de ordenamiento territorial y presión sobre ecosistemas sensibles (INEGI, 2020; CONABIO, 2020).

Actividades primarias: presencia regional, ausencia local

Previo al auge turístico, la economía de la región se sustentaba principalmente en actividades primarias, particularmente la pesca artesanal, orientada al consumo local y a mercados regionales, agricultura de subsistencia, incluyendo sistemas tradicionales como la milpa, ganadería y agricultura mecanizada. Actualmente, estas actividades han disminuido en importancia relativa, siendo desplazadas por el turismo y los servicios. No obstante, continúan presentes en menor escala, especialmente en comunidades como Xul-Ha y en zonas rurales del municipio de Othón P. Blanco.

La pesca no constituye una actividad económica significativa en la laguna de Bacalar, debido a las características oligotróficas del sistema lagunar, por lo que hay una muy baja productividad pesquera del cuerpo de aguay el cuerpo de agua está enfocado en la transición económica hacia el turismo. Sin embargo, esta actividad se mantiene de manera artesanal y localizada en otros sistemas acuáticos del municipio de Othón P. Blanco, particularmente en la Bahía de Chetumal y en algunos cuerpos lagunares interiores, donde sí existe tradición pesquera.

A diferencia del frente lagunar, el municipio de Othón P. Blanco presenta una fuerte base de actividades primarias, incluyendo la agricultura mecanizada, particularmente caña de azúcar en extensas superficies, ganadería extensiva, sistemas agropecuarios mixtos, manejo forestal y agricultura de subsistencia (milpa). Estas actividades ocupan miles de hectáreas del territorio municipal, constituyendo uno de los principales usos del suelo fuera del sistema lagunar.

Sin embargo, su distribución espacial es clave ya que se desarrollan principalmente en zonas alejadas del sistema Bacala-Xul-Ha y tienen una relación indirecta con la laguna, principalmente a través de escurrimientos, procesos hidrológicos y conectividad del acuífero kárstico

Por otro lado, la agricultura persiste de manera residual, principalmente en zonas rurales, bajo esquemas de baja intensidad como la milpa. No obstante, su importancia económica ha disminuido frente a las actividades turísticas y de servicios.

El sistema ambiental donde se inserta el predio Los Rápidos presenta una dualidad territorial claramente diferenciada, tanto en términos de uso del suelo como de dinámicas económicas y presiones ambientales. Por un lado, la zona lagunar Bacalar-Xul-Ha se encuentra dominada por actividades del sector terciario, particularmente el turismo y los servicios asociados.

En esta franja, el territorio se ha reconfigurado en función del aprovechamiento escénico y recreativo de la laguna, lo que se traduce en una alta concentración de infraestructura turística, la intensificación del uso recreativo del sistema acuático, el incremento en la demanda de servicios básicos y la presión ambiental directa sobre el cuerpo lagunar y sus zonas de transición.

Por otro lado, el territorio continental del municipio de Othón P. Blanco mantiene una fuerte vocación agropecuaria, con amplias superficies destinadas a agricultura mecanizada (principalmente caña de azúcar), ganadería extensiva, sistemas agropecuarios mixtos y agricultura tradicional de subsistencia. En esta zona, la transformación del paisaje se da a gran escala, mediante procesos de cambio de uso de suelo, remoción de cobertura vegetal, modificación de las propiedades del suelo, uso de insumos agrícolas y conectividad no evidente: el vínculo hidrológico. Aunque estas dos unidades territoriales parecen operar de manera independiente, en realidad se encuentran funcionalmente conectadas a través del sistema hidrológico kárstico, característico de la región.

Esta conexión ocurre mediante flujos subterráneos del acuífero, que integran el sistema continental con la laguna, escurrimientos superficiales y subsuperficiales, particularmente durante eventos de lluvia y transporte de nutrientes y sedimentos, derivados de actividades agropecuarias. En sistemas kársticos como el de Bacalar, donde la infiltración es alta y los suelos son delgados, esta conectividad implica que las actividades desarrolladas en zonas alejadas del cuerpo lagunar pueden tener efectos acumulativos sobre la calidad del agua y la dinámica ecológica del sistema.

Desde esta perspectiva, el sistema lagunar no se encuentra únicamente bajo presión por las actividades turísticas locales, sino también por procesos regionales asociados a cambios de uso de suelo en el territorio continental, aportes difusos de nutrientes provenientes de actividades agrícolas y la transformación del paisaje a escala de cuenca. Esto implica que los impactos ambientales deben entenderse como el resultado de múltiples fuentes de presión que operan de manera simultánea y acumulativa.

Dinámica socioeconómica del Sistema Ambiental

El Sistema Ambiental (SA), delimitado a partir de las UGA 29, 30 y 31 del Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Othón P. Blanco, presenta una dinámica socioeconómica caracterizada por la coexistencia de actividades primarias y terciarias, articuladas en torno al sistema lagunar de Bacalar. En este contexto, la estructura económica regional se organiza en dos grandes componentes funcionales:

- Zona lagunar (UGA 29 y entorno de la UGA 31): donde predominan actividades turísticas, recreativas y de servicios, asociadas al aprovechamiento paisajístico y ecológico del sistema lagunar. Estas actividades han generado procesos de consolidación de infraestructura turística, incremento en la demanda de servicios y transformación progresiva del uso del suelo.
- Zona continental (UGA 30): donde prevalecen actividades primarias como agricultura y ganadería, con menor nivel de capitalización y mayor dependencia de las condiciones ambientales.

La interacción entre ambos componentes configura una dualidad territorial, en la que los beneficios económicos del desarrollo turístico se concentran espacialmente, mientras que los procesos de presión ambiental y transformación del territorio se distribuyen de manera más amplia dentro del sistema.

En este contexto, es relevante señalar que el aprovechamiento turístico del área donde se ubica el proyecto no constituye un proceso reciente. Los Rápidos ha mantenido una operación continua por aproximadamente 32 años, consolidándose como una unidad económica preexistente dentro del sistema regional. Esta permanencia evidencia que el proyecto se inserta en una dinámica socioeconómica previamente establecida, caracterizada por el uso recreativo del sistema lagunar, y no en un escenario de transformación inicial del territorio.

Componente social

El componente social del SA está conformado por localidades rurales, núcleos agrarios y centros urbanos en crecimiento, donde coexisten formas tradicionales de organización social con dinámicas recientes de transformación territorial. En particular, en las zonas ejidales persisten esquemas de propiedad social de la tierra y prácticas productivas vinculadas al territorio, mientras que en las zonas con vocación turística se observa una creciente participación de actores externos, inversión privada y diversificación de actividades económicas.

Este proceso ha generado cambios en la estructura social del Sistema Ambiental, los cuales se manifiestan en transformaciones progresivas en la forma en que la población local se relaciona con el territorio y con las actividades económicas predominantes.

En primer término, se observa una modificación en los usos tradicionales del territorio, particularmente en zonas cercanas al sistema lagunar, donde actividades primarias como la agricultura de subsistencia, el aprovechamiento forestal y el uso comunitario del espacio han sido parcialmente desplazadas o reconfiguradas por actividades orientadas al turismo y los servicios. Este cambio no implica necesariamente la desaparición de dichas prácticas, pero sí su subordinación frente a actividades con mayor rentabilidad económica inmediata.

Asimismo, se registra un incremento en el valor de la tierra, asociado a la creciente demanda de espacios con vocación turística y a la valorización del paisaje lagunar como activo económico. Este fenómeno tiende a modificar las decisiones sobre el uso del suelo, incentivando procesos de cambio hacia actividades de mayor rentabilidad, así como la fragmentación o venta de predios previamente destinados a usos tradicionales.

De manera paralela, se ha intensificado la interacción entre población local y visitantes, lo cual ha generado nuevas dinámicas sociales y económicas. Esta interacción favorece la diversificación de ingresos y la integración a circuitos turísticos, pero también implica ajustes culturales, cambios en las formas de organización social y una mayor exposición a dinámicas externas al contexto local.

Finalmente, se identifican tensiones asociadas a la distribución de beneficios derivados del desarrollo turístico, particularmente en relación con el acceso a oportunidades económicas, el control del territorio y la participación en las actividades productivas. Estas tensiones no necesariamente se traducen en conflictos abiertos, pero constituyen elementos relevantes en la configuración social del territorio y en la percepción de los procesos de desarrollo.

En conjunto, estos cambios reflejan una transición socioeconómica en curso, en la cual coexisten formas tradicionales de organización con nuevas dinámicas orientadas al mercado, configurando un sistema social en proceso de adaptación.

No obstante, en el caso específico del proyecto, su carácter de establecimiento preexistente ha permitido su integración gradual dentro del tejido social local, sin evidencias de procesos recientes de desplazamiento o ruptura social asociados directamente a su operación.

Indicadores de calidad de vida

De acuerdo con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Sistema Ambiental (SA) presenta condiciones diferenciadas en términos de calidad de vida. Las zonas con mayor actividad turística muestran mayor acceso a servicios, incremento en oportunidades de empleo y mayor dinamismo económico; mientras que en zonas rurales persisten limitaciones en el acceso a servicios básicos, dependencia de actividades primarias y condiciones de vulnerabilidad económica.

Estas diferencias reflejan una distribución desigual de los beneficios del desarrollo regional.

Población en situación de vulnerabilidad

En el Sistema Ambiental (SA) se identifican sectores de la población que presentan condiciones de vulnerabilidad socioeconómica, particularmente en localidades rurales y núcleos ejidales ubicados dentro de las UGA 29 y 30. Estas condiciones han sido documentadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y otras fuentes institucionales, evidenciando rezagos en acceso a servicios, ingresos y diversificación productiva.

Desde el punto de vista estructural, estos grupos se caracterizan por una alta dependencia de los recursos naturales para su subsistencia, incluyendo actividades como agricultura de temporal, aprovechamiento forestal y pesca en pequeña escala.

Asimismo, se observa una limitada diversificación económica, lo cual restringe su capacidad de adaptación frente a cambios en la dinámica regional.

Indicadores socioeconómicos relevantes

Con el objetivo de caracterizar las condiciones socioeconómicas del Sistema Ambiental (SA), se analizan indicadores representativos de los municipios de Othón P. Blanco y Bacalar, los cuales conforman el contexto territorial del proyecto.

Los indicadores se sustentan en información oficial del INEGI, CONEVAL y CONAPO, e incluyen variables relacionadas con pobreza, acceso a servicios, empleo, marginación y estructura económica.

Othón P. Blanco

Tabla IV-55. Indicadores socioeconómicos relevantes (Othón P. Blanco)

Indicador	Valor aproximado	Fuente
Población en situación de pobreza	27–30%	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL)
Población con al menos una carencia social	>40%	CONEVAL
Viviendas sin acceso a drenaje	10–20% (mayor en zonas rurales)	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
Viviendas sin acceso a agua entubada	5–15%	INEGI
Población ocupada en sector primario (rural)	Alta concentración local	INEGI
Empleo informal	>40%	INEGI
Índice de marginación	Medio (con focos alto en localidades rurales)	CONAPO
Nota: Los valores pueden variar a nivel localidad; se presentan como referencia municipal y regional.		

Los indicadores evidencian que, si bien el municipio presenta condiciones de desarrollo relativamente favorables, persisten brechas significativas en localidades rurales, particularmente en acceso a servicios, estabilidad de ingresos y diversificación económica. Se observa la coexistencia de pobreza moderada, alta informalidad y dependencia de recursos naturales.

Bacalar

Indicador	Valor aproximado	Fuente
Población en situación de pobreza	40–50%	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL)
Población con al menos una carencia social	>60%	CONEVAL
Viviendas sin acceso a drenaje	30–50% (mayor en localidades rurales)	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
Viviendas sin acceso a agua entubada	15–30%	INEGI
Viviendas con piso de tierra (localidades rurales)	5–15%	INEGI
Empleo informal	>50%	INEGI
Población ocupada en sector primario	Alta en comunidades rurales	INEGI
Índice de marginación	Medio–Alto	CONAPO
Nota: Los valores varían entre cabecera municipal y localidades rurales; se presentan como referencia municipal y regional.		

El municipio de Bacalar presenta una configuración socioeconómica contrastante, donde coexisten una economía turística en expansión y condiciones de rezago en localidades rurales. Los indicadores muestran mayores niveles de pobreza, menor cobertura de servicios y una mayor proporción de población en situación de vulnerabilidad.

Análisis conjunto del sistema socioeconómico

El análisis conjunto permite identificar una configuración territorial caracterizada por contrastes estructurales, donde coexisten dinámicas de crecimiento económico asociadas al turismo con condiciones persistentes de pobreza y marginación.

En este contexto, las zonas con vocación turística concentran inversión, empleo y servicios, mientras que las zonas rurales presentan mayores niveles de vulnerabilidad socioeconómica.

Desde una perspectiva regional, estos patrones reflejan una distribución desigual del desarrollo, donde amplios sectores de la población mantienen una alta dependencia del territorio y de los recursos naturales.

Vulnerabilidad al cambio climático

Dado el carácter costero-kárstico del Sistema Ambiental (SA), se reconoce una alta vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático, particularmente en lo relacionado con la dinámica hidrológica y los eventos extremos. En este tipo de sistemas, la interacción entre factores climáticos y condiciones geohidrológicas genera una elevada sensibilidad a perturbaciones, debido a la alta permeabilidad del sustrato, la limitada capacidad de retención superficial y la estrecha conexión entre aguas superficiales y subterráneas.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2022), las regiones tropicales costeras son particularmente susceptibles al incremento en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos, la variabilidad en los patrones de precipitación y las alteraciones en los ciclos hidrológicos.

La región sur de Quintana Roo se encuentra expuesta a fenómenos como huracanes, tormentas tropicales y frentes fríos intensos (“nortes”), los cuales pueden generar inundaciones temporales, incremento en la escorrentía, transporte de sedimentos y alteraciones en la calidad del agua en sistemas lagunares.

Variaciones en el nivel del agua

En sistemas lagunares kársticos, las variaciones en el nivel del agua responden tanto a la precipitación local como a la dinámica regional del acuífero. Durante eventos extremos, pueden generarse expansiones de zonas inundables, mayor conectividad hidráulica entre unidades y movilización de sedimentos y materia orgánica.

Diversos estudios en hidrogeología kárstica han señalado que estos sistemas presentan respuestas rápidas a eventos de recarga, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a cambios climáticos (Ford & Williams, 2007).

Incremento en la intensidad de precipitaciones

El incremento en la intensidad de las lluvias, más que en su volumen total, representa uno de los principales factores de riesgo en estos sistemas, ya que puede generar pulsos súbitos de escurrimiento, erosión localizada y transporte acelerado de nutrientes hacia cuerpos de agua. De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2022), se prevé un aumento en la intensidad de eventos de precipitación en regiones tropicales, lo cual puede amplificar estos procesos.

Incremento en la intensidad de precipitaciones

El incremento en la intensidad de las lluvias representa uno de los principales factores de riesgo, ya que puede generar pulsos súbitos de escurrimiento, erosión localizada y transporte acelerado de nutrientes hacia cuerpos de agua. El IPCC (2022) prevé un aumento en la intensidad de estos eventos en regiones tropicales.

Paisaje

La inclusión del componente paisaje en la evaluación del impacto ambiental del Sistema Ambiental (SA) asociado al proyecto *Los Rápidos Lagoon Club* adquiere una importancia sustantiva, en la medida en que el valor escénico del sistema lagunar constituye uno de los principales atributos que sustentan tanto su aprovechamiento turístico como su relevancia ecológica. En este sentido, el paisaje debe ser entendido como un componente integrador del ambiente, resultado de la interacción entre factores geomorfológicos, hidrológicos, biológicos y antrópicos, cuya valoración incorpora tanto elementos objetivos del territorio como la percepción que de éstos tienen los observadores.

A diferencia de enfoques simplificados que consideran el paisaje como una superficie homogénea, el área de estudio presenta una configuración geomorfológica compleja, estructurada a partir de un sistema kárstico escalonado que desciende desde la zona continental hacia el sistema lagunar. Este

gradiente topográfico, con diferencias de elevación de hasta aproximadamente 34 metros, configura una secuencia funcional de unidades que incluyen una meseta de captación, un escarpe de transición, una planicie de infiltración y una zona ribereña asociada al cuerpo de agua, condicionando tanto la estructura visual del paisaje como su funcionamiento hidrológico.

En este contexto, la evaluación del paisaje se sustenta en el análisis de tres variables fundamentales: la visibilidad, la calidad paisajística y la fragilidad del paisaje, integrando además la frecuencia de observación y la presencia de elementos singulares.

Visibilidad

La visibilidad se define como el espacio del territorio que puede ser apreciado desde un punto o conjunto de puntos de observación, y en el caso del SA se encuentra fuertemente condicionada por la topografía y la cobertura vegetal.

El sistema presenta una visibilidad heterogénea, determinada por el gradiente geomorfológico descrito. Las zonas de meseta, localizadas en la porción poniente del predio, presentan una visibilidad limitada hacia el sistema lagunar, debido tanto a la distancia como a la presencia de vegetación. Por su parte, el escarpe introduce planos inclinados que generan vistas parciales y dinámicas, aportando profundidad visual al paisaje. En contraste, la planicie de infiltración y la ribera lagunar constituyen las zonas de mayor apertura visual, desde donde se percibe de manera directa el sistema lagunar, el cual actúa como elemento dominante del paisaje.

Este escalonamiento genera una estructura visual compleja, caracterizada por múltiples planos de observación, variaciones en la profundidad de campo y una transición progresiva entre unidades territoriales. En este contexto, el proyecto se localiza principalmente en las zonas de menor pendiente, donde la visibilidad es abierta y el paisaje está dominado por el cuerpo de agua.

Calidad paisajística

La calidad paisajística del Sistema Ambiental puede considerarse alta, en función de la combinación de atributos naturales que configuran un paisaje de elevada coherencia visual y valor escénico. En términos de características intrínsecas, el paisaje se distingue por la presencia del sistema lagunar, la diversidad de unidades geomorfológicas, la vegetación en distintos estados de regeneración y la existencia de elementos ecológicos de alta singularidad, como los microbialitos. Estos componentes configuran una estructura visual compleja y armónica, donde la interacción entre tierra y agua constituye el eje central del paisaje.

En el entorno inmediato, comprendido en un radio aproximado de 500 a 700 metros, se observa una continuidad en la cobertura vegetal y una baja densidad de infraestructura, lo cual contribuye a mantener la integridad visual del sistema. Asimismo, el fondo escénico se caracteriza por la ausencia de elementos artificiales de gran escala, predominando horizontes naturales definidos por la vegetación y el relieve.

La secuencia meseta-escarpe-planicie-laguna introduce un gradiente visual que incrementa la calidad escénica, al generar contrastes geomorfológicos y transiciones espaciales claramente definidas. Este elemento es particularmente relevante, ya que aporta profundidad y dinamismo al paisaje, diferenciándolo de sistemas de topografía uniforme.

Fragilidad del paisaje

La fragilidad del paisaje se refiere a la capacidad del sistema para absorber cambios sin perder sus características esenciales. En el SA, la fragilidad presenta una condición variable, determinada por factores biofísicos y morfológicos.

Desde el punto de vista biofísico, la fragilidad es elevada debido a la naturaleza kárstica del sistema, la alta permeabilidad del sustrato y la presencia de comunidades biológicas sensibles, como los

microbialitos, cuya permanencia depende de condiciones específicas de calidad del agua. Asimismo, la baja capacidad de retención del suelo implica que las alteraciones pueden propagarse rápidamente a través del sistema hidrológico.

En términos morfológicos, la fragilidad está asociada a la estructura escalonada del terreno. Las zonas de escarpe presentan mayor susceptibilidad a procesos de erosión, mientras que la ribera lagunar constituye un espacio de alta sensibilidad ecológica y visual. La planicie de infiltración, aunque de menor pendiente, cumple una función crítica como zona de amortiguamiento, contribuyendo a la regulación de flujos y a la retención de sedimentos.

Un aspecto fundamental es la conectividad vertical del sistema, en la cual los procesos que ocurren en las zonas altas tienen repercusiones directas en las zonas bajas. Esta condición implica que la integridad del paisaje depende no solo de la conservación de cada unidad, sino de la continuidad funcional entre ellas.

En conjunto, la alta fragilidad del paisaje indica una baja capacidad de absorción de cambios, lo que incrementa su sensibilidad frente a perturbaciones físicas, hidrológicas y ecológicas.

Frecuencia de observación

El área presenta una alta frecuencia de observadores, particularmente en las zonas ribereñas y de uso recreativo, donde se concentra la mayor afluencia de visitantes. Esta condición incrementa la relevancia del componente perceptual, en tanto que la calidad del paisaje influye directamente en la experiencia de los usuarios y en el valor escénico del sistema.

Elementos singulares del paisaje

El paisaje del SA incluye elementos de alto valor escénico, ecológico y científico, entre los que destacan el sistema lagunar de Bacalar, el canal de Xul-Ha, los flujos de agua en los rápidos, las planicies sedimentarias y las formaciones microbianas (microbialitos). Estos elementos constituyen componentes clave tanto por su singularidad como por su contribución a la identidad visual del sistema.

Diagnóstico ambiental

Con base en la caracterización integral de los componentes físico, biótico, paisajístico y socioeconómico desarrollados en los apartados anteriores, el Sistema Ambiental (SA) se define como un sistema kárstico–lagunar funcional, estructuralmente conservado y sujeto a presiones ambientales de carácter acumulativo asociadas a la dinámica regional.

La delimitación del SA, sustentada en las Unidades de Gestión Ambiental 29, 30 y 31 del Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Othón P. Blanco, permite integrar de manera coherente los procesos ecológicos, hidrológicos y territoriales que regulan su funcionamiento, particularmente la interacción entre la zona terrestre de recarga y el sistema lagunar de Bacalar.

Condición ambiental actual

El sistema presenta un grado de conservación medio–alto, caracterizado por la permanencia de una matriz ambiental dominante compuesta por vegetación secundaria en distintos estadios sucesionales, planicies sedimentarias funcionales y unidades hidrológicas activas.

La continuidad de procesos ecológicos como la infiltración, la recarga del acuífero, la retención de sedimentos y la conectividad ecológica constituye un elemento central en la estabilidad del sistema.

La calidad ambiental se mantiene funcional, en tanto no se identifican procesos de deterioro generalizado, fragmentación significativa ni alteraciones estructurales en las unidades geomorfológicas.

Vulnerabilidad ambiental

El sistema presenta condiciones de vulnerabilidad inherente asociadas a su naturaleza kárstica, particularmente en lo relativo a:

- Alta permeabilidad del sustrato
- Baja capacidad de amortiguamiento
- Alta sensibilidad a cambios en la calidad del agua

En este contexto, la estabilidad del sistema depende de la integridad de sus procesos hidrológicos y de la calidad de los flujos que lo alimentan.

Indicadores funcionales del sistema

La condición ambiental del SA puede inferirse a partir de indicadores clave, entre los que destacan:

- Presencia y funcionamiento de comunidades microbianas (microbialitos)
- Dinámica hidrológica activa del canal de los Rápidos
- Estabilidad de las planicies sedimentarias como unidades de regulación

La persistencia de condiciones oligotróficas, con presencia de procesos de mesotrofización incipiente en ciertos contextos hidrológicos, sugiere un sistema funcional pero sensible a incrementos en la carga de nutrientes.

Capacidad de respuesta y resiliencia

El sistema presenta una capacidad de respuesta limitada pero operante, sustentada en la interacción entre cobertura vegetal, procesos de infiltración y regulación hidrológica.

Asimismo, se observa una resiliencia media, evidenciada por:

- Regeneración activa de la vegetación secundaria
- Estabilización de suelos
- Persistencia de funciones ecológicas

Esta resiliencia depende de la conservación de la cobertura vegetal, la integridad de las planicies sedimentarias y el mantenimiento de las condiciones hidrológicas naturales.

Tendencias y presiones ambientales

El análisis de tendencias permite identificar presiones ambientales asociadas a procesos regionales, entre los que destacan:

- Crecimiento del turismo
- Cambio de uso del suelo en la cuenca
- Variabilidad climática

Estas presiones se manifiestan a través de:

- Incremento en la carga de nutrientes
- Alteraciones en flujos hidrológicos
- Transformaciones territoriales

En este contexto, el sistema presenta respuestas diferenciadas dependiendo de la intensidad de las perturbaciones. En condiciones normales, las planicies sedimentarias actúan como zonas de

amortiguamiento; sin embargo, durante eventos extremos pueden comportarse como fuentes de exportación de materia orgánica, evidenciando una dinámica no lineal del sistema.

Áreas ambientalmente vulnerables

Con base en la integración de las unidades ambientales, se identifican como zonas de mayor vulnerabilidad:

- Planicie sedimentaria baja
- Ribera lagunar y canal de los Rápidos
- Zonas de surgencia (ojos de agua)
- Zonas de escurrimiento y transición geomorfológica

Estas áreas constituyen puntos críticos del sistema, donde las perturbaciones pueden generar efectos amplificados.

Índice cualitativo de vulnerabilidad

El Sistema Ambiental presenta una vulnerabilidad media–alta, determinada por:

- Alta permeabilidad kárstica
- Sensibilidad de comunidades microbianas
- Dependencia de procesos hidrológicos
- Exposición a eventos hidrometeorológicos extremos
- Presiones regionales acumulativas

Síntesis del diagnóstico

El Sistema Ambiental se caracteriza como un sistema socioecológico funcional, con un grado de conservación medio–alto, una capacidad de respuesta moderada y una vulnerabilidad elevada frente a presiones acumulativas.

Su estabilidad depende del mantenimiento de sus procesos hidrológicos, la integridad de sus unidades geomorfológicas y la conservación de la cobertura vegetal.

Este diagnóstico constituye la base para la identificación y evaluación de impactos ambientales desarrollada en el Capítulo V.

V. V. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Identificación de impactos

La identificación y evaluación de interacciones ambientales del proyecto Los Rápidos Lagoon Club se desarrolla a partir de un enfoque sistemático e integrado, en congruencia con los criterios establecidos por la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA). Este enfoque se sustenta en el cumplimiento de las funciones analíticas fundamentales del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental: identificación, caracterización y evaluación, mediante la aplicación de criterios cualitativos que permiten estimar su significancia ambiental, incluyendo la magnitud, extensión, duración, reversibilidad, periodicidad y probabilidad de ocurrencia, así como la identificación de su carácter directo, indirecto, acumulativo o sinérgico.

De manera complementaria, se incorporan criterios relacionados con la sensibilidad del medio y la capacidad de respuesta del sistema ambiental, particularmente relevantes en sistemas kárstico–lagunares, donde la alta permeabilidad del sustrato, la conectividad hidrológica y la presencia de componentes biológicos sensibles condicionan la propagación de los efectos.

Adecuación del enfoque a un proyecto en operación

A diferencia de los estudios aplicados a proyectos en etapa de planeación o desarrollo, el presente análisis corresponde a un sistema en operación histórica con más de tres décadas de funcionamiento continuo. En este contexto, la evaluación se orienta al análisis de las interacciones ambientales efectivamente observadas, su comportamiento en el tiempo y su relación con las condiciones actuales del sistema ambiental.

Bajo este enfoque, los efectos identificados se analizan como manifestaciones operativas existentes, cuya presencia, magnitud y comportamiento pueden ser verificados mediante observaciones de campo, información histórica y condiciones actuales del sitio. Esto permite evaluar el sistema bajo condiciones reales de operación, evitando la sobreestimación de impactos asociada a escenarios hipotéticos que no corresponden a la dinámica actual del proyecto.

Las adecuaciones realizadas durante el periodo de operación se analizan de acuerdo con su ubicación, extensión y relación con las áreas previamente intervenidas. La huella física de la infraestructura cuantificada en el inventario del proyecto es de 6,575 m² (0.6575 ha), equivalente aproximadamente al 0.37% de la superficie predial de 179.41 ha. Esta cifra corresponde a la huella de infraestructura identificada y debe distinguirse de la superficie total de intervención que pudiera incluir caminos y áreas de tránsito.

Diferenciación entre efectos locales y procesos regionales

El enfoque metodológico adoptado permite distinguir entre las interacciones atribuibles a la operación del proyecto y aquellas derivadas de procesos ambientales de carácter regional. Esta diferenciación resulta particularmente relevante en sistemas kárstico-lagunares, donde la dinámica hidrológica, la variabilidad climática y los cambios en el uso del suelo en la cuenca pueden influir en el comportamiento del sistema de manera independiente a la operación puntual del proyecto.

Herramientas de análisis

La identificación de interacciones se realiza mediante un enfoque metodológico integrado que combina el uso de una matriz de interacción de tipo Leopold modificada con el análisis mediante redes causa-efecto.

En una primera etapa, la matriz de Leopold modificada permite organizar de manera sistemática las relaciones entre las actividades del proyecto -agrupadas en categorías funcionales como operación turística, infraestructura, manejo ambiental y mantenimiento- y los componentes del sistema ambiental previamente caracterizados, asignando valores cualitativos de interacción en función de su intensidad y relevancia.

En una segunda etapa, los resultados de la matriz se analizan mediante redes de relación causa–efecto, seleccionando aquellas interacciones con mayor relevancia ambiental y capacidad de generar efectos encadenados. Este análisis permite comprender la dinámica de propagación de los impactos, identificando relaciones directas, indirectas, acumulativas y sinérgicas, así como los factores que modulan su comportamiento en el sistema.

Alcance del análisis

El enfoque adoptado permite evaluar las interacciones entre las actividades actuales del proyecto y los componentes del sistema ambiental, considerando la información descrita en los capítulos II y IV, la distribución espacial de las instalaciones y las medidas de manejo implementadas. La interpretación integra el alcance de cada interacción y su relevancia para los componentes receptores.

Identificación de los componentes del proyecto

Con base en la información presentada en el Capítulo II, se identifican los componentes del proyecto susceptibles de generar interacciones con el sistema ambiental, asegurando que éstos sean relevantes, medibles, ubicables, no redundantes y claramente definidos en el tiempo y en el espacio.

El proyecto Los Rápidos Lagoon Club corresponde a una unidad en operación histórica con más de tres décadas de funcionamiento continuo. No obstante, durante su evolución operativa -particularmente en el periodo reciente- se han realizado adecuaciones, mejoras y obras de infraestructura de baja escala, orientadas principalmente a optimizar la operación, reducir presiones sobre el entorno y fortalecer los sistemas de manejo ambiental.

En este sentido, si bien no se identifican fases de preparación del sitio o construcción en el sentido convencional de un proyecto nuevo, sí se reconoce la existencia de intervenciones puntuales y progresivas, las cuales se integran a la condición operativa actual del sistema y son evaluadas como parte de sus interacciones ambientales. Bajo este enfoque, las acciones del proyecto se concentran en la fase de operación, mantenimiento y mejora continua, considerando condiciones actualmente observables y verificables en campo.

Clasificación de componentes

En este contexto, los componentes se agrupan en cuatro categorías principales:

Operación turística

Se identifican las actividades asociadas al uso recreativo del sitio, que incluyen el uso del canal de los Rápidos y de la ribera lagunar, el tránsito de visitantes dentro del predio y el desarrollo de actividades de baja intensidad, como el uso de kayaks.

Estas actividades representan la interacción directa entre los usuarios y el medio natural, y se desarrollan en áreas definidas dentro del predio, constituyendo uno de los principales vectores de interacción con los componentes ambientales.

Infraestructura existente y adecuaciones operativas

Se consideran los elementos de infraestructura presentes en el sitio, tales como restaurantes, sanitarios, cocinas, andadores, terrazas y muelles.

Asimismo, se incluyen las adecuaciones realizadas a lo largo del tiempo, las cuales han consistido en la mejora de instalaciones existentes, la incorporación de elementos de control (como senderos delimitados o estructuras elevadas) y la optimización del funcionamiento del sitio.

Estas intervenciones se caracterizan por realizarse sobre áreas previamente intervenidas, ser de escala limitada y estar orientadas a ordenar el uso del espacio y reducir la interacción directa con componentes sensibles. En conjunto, estas estructuras y adecuaciones configuran la ocupación física actual del predio y los puntos de interacción espacial con el sistema ambiental.

Sistemas de manejo ambiental

Se identifican los sistemas implementados para el manejo de residuos y descargas, entre los que destacan:

- Planta de tratamiento de aguas residuales
- Sistema de recolección y separación de residuos sólidos
- Disposición final mediante servicios autorizados

Es importante señalar que estos sistemas han sido fortalecidos y optimizados durante el periodo reciente, como parte de un proceso de mejora operativa orientado a reducir interacciones con el sistema ambiental.

Estos componentes forman parte del esquema operativo del proyecto y están directamente relacionados con el control de interacciones ambientales, particularmente en lo referente a la calidad del agua y la gestión de residuos.

Mantenimiento y gestión operativa

Se incluyen las actividades de mantenimiento rutinario, tales como:

- Limpieza de instalaciones
- Reparación y conservación de infraestructura
- Supervisión ambiental del sitio

Estas acciones son continuas y forman parte de la operación cotidiana del proyecto, contribuyendo al mantenimiento de las condiciones operativas observadas y a la prevención de efectos acumulativos.

Integración de componentes

En conjunto, los componentes identificados representan un sistema de acciones en operación que ha evolucionado a lo largo del tiempo, integrando tanto las actividades cotidianas del proyecto como las adecuaciones y mejoras implementadas para optimizar su funcionamiento y manejo ambiental.

Su definición permite reconocer que las interacciones con el ambiente no derivan de un esquema estático, sino de un sistema operativo consolidado, cuya configuración actual es el resultado de procesos progresivos de ajuste y mejora bajo condiciones reales de uso.

Esta integración constituye la base para el análisis de interacciones mediante la matriz de Leopold modificada y las redes causa–efecto, al establecer una correspondencia clara entre las actividades del proyecto, las condiciones operativas actuales y los componentes del sistema ambiental, permitiendo evaluar de manera estructurada su comportamiento dentro del sistema.

Criterios para la selección de actividades en el análisis de redes causa–efecto

La selección de actividades consideradas en el análisis mediante redes de relación causa–efecto se realizó de manera sistemática a partir de los resultados obtenidos en la matriz de interacción tipo Leopold modificada, priorizando aquellas con mayor relevancia ambiental y capacidad de generar secuencias de interacción. Este enfoque permite representar de manera consistente la dinámica del sistema bajo condiciones reales de operación, considerando que la configuración actual del proyecto es el resultado de un proceso evolutivo de uso, adecuación y mejora.

En este sentido, las redes no buscan reproducir la totalidad de las interacciones identificadas en la matriz, sino aquellas que, por sus características, permiten explicar la propagación de efectos dentro del sistema ambiental, así como los mecanismos que regulan su comportamiento bajo condiciones operativas actuales.

Selección basada en la matriz de interacciones

Se incluyen las actividades que presentan interacciones identificables y relevantes en la matriz de Leopold modificada, particularmente aquellas que:

- Mantienen relación directa con componentes ambientales
- Presentan interacción consistente bajo condiciones operativas actuales
- Reflejan interacciones observables y verificables en campo

Se priorizan las actividades asociadas a la operación turística, la infraestructura existente (incluyendo adecuaciones realizadas) y los sistemas de manejo ambiental, por concentrar la mayor parte de las interacciones dentro de la condición operativa actual del proyecto.

Relevancia ambiental del componente receptor

Se incorporan actividades que interactúan con componentes de alta sensibilidad, tales como:

- Sistema lagunar
- Calidad del agua
- Superficies carbonatadas (microbialitos)
- Planicies sedimentarias

Este criterio permite enfocar el análisis en elementos donde pequeñas variaciones pueden tener mayor relevancia ecológica, considerando la vulnerabilidad inherente del sistema.

Capacidad de generar efectos encadenados

Se seleccionan aquellas interacciones que presentan:

- Un mecanismo identificable de relación causa–efecto
- Posibilidad de generar efectos secundarios
- Interacción entre múltiples componentes del sistema

Este criterio permite identificar rutas de propagación dentro del sistema, reconociendo su carácter interconectado y dinámico.

Incorporación de condiciones operativas y mecanismos de control

Se incluyen en las redes aquellas actividades donde es posible identificar la intervención de medidas operativas que influyen en el comportamiento de las interacciones, tales como:

- Sistemas de tratamiento de aguas residuales
- Manejo y disposición de residuos
- Delimitación de zonas de uso y control de acceso

Estos elementos forman parte de la condición operativa consolidada del proyecto y reflejan procesos de mejora implementados a lo largo del tiempo, permitiendo analizar las interacciones bajo un contexto de operación regulada.

Consideración de procesos acumulativos

El análisis se integra en un contexto regional, diferenciando entre las interacciones asociadas al proyecto y los procesos derivados de dinámicas externas (turismo regional, cambios en la cuenca, variabilidad climática). Este criterio permite contextualizar las interacciones dentro de un sistema más amplio y evitar la atribución directa de efectos que responden a procesos de escala mayor.

En conjunto, estos criterios permiten construir redes causa–efecto que representan de manera consistente las interacciones del proyecto con el sistema ambiental, integrando tanto los procesos de generación como los mecanismos de regulación bajo condiciones operativas actuales.

Este enfoque incorpora la evolución del proyecto y las mejoras implementadas como parte de su condición operativa, favoreciendo una interpretación realista del sistema basada en evidencia observable y evitando la sobreestimación de efectos derivada de escenarios no representativos.

Desglose de actividades del proyecto sujetas a evaluación

El análisis de impactos ambientales se fundamenta en la identificación y desagregación de las actividades del proyecto que interactúan con los componentes del sistema ambiental bajo condiciones operativas actuales. Dado que el proyecto Los Rápidos Lagoon Club corresponde a una unidad en operación consolidada, el desglose se realiza sobre actividades existentes, verificables en campo y representativas de la dinámica real del sitio, incorporando tanto la operación cotidiana como las adecuaciones y mejoras implementadas a lo largo del tiempo.

En este sentido, el análisis no se basa en escenarios hipotéticos, sino en la condición operativa actual del sistema, entendida como el resultado de un proceso evolutivo de uso, ajuste y optimización de las actividades del proyecto.

Las actividades se organizan en cuatro categorías funcionales: operación turística, operación de infraestructura, manejo ambiental y mantenimiento. Esta clasificación permite estructurar el análisis de interacciones en la matriz de Leopold modificada y su posterior interpretación mediante redes causa–efecto.

Actividades de operación turística

Corresponden al conjunto de acciones asociadas al uso recreativo del sitio por parte de los visitantes, constituyendo el principal punto de interacción directa entre los usuarios y el medio natural.

Incluyen:

- Acceso, tránsito y permanencia de visitantes dentro del predio
- Uso recreativo del canal de los Rápidos y de la ribera lagunar
- Actividades de baja intensidad, como el uso de kayaks

- Permanencia en áreas de descanso y zonas ribereñas

Estas actividades se desarrollan en áreas definidas del predio y representan interacciones recurrentes, cuya intensidad y distribución espacial pueden ser observadas y caracterizadas bajo condiciones reales de operación.

Actividades asociadas a la infraestructura existente y adecuaciones operativas

Se refieren al funcionamiento de las instalaciones presentes en el sitio, así como a las adecuaciones realizadas para optimizar su operación.

Incluyen:

- Operación de áreas de alimentos y bebidas (restaurante, cocina)
- Uso de sanitarios y servicios asociados
- Circulación sobre andadores, terrazas y muelles
- Uso de áreas construidas para atención al visitante

Asimismo, se consideran las adecuaciones implementadas a lo largo del tiempo, orientadas a mejorar la organización del espacio, canalizar el tránsito y reducir la interacción directa con componentes sensibles. Estas actividades permiten identificar interacciones relacionadas con el uso de recursos, generación de residuos y ocupación del espacio, dentro de una configuración operativa consolidada.

Sistemas de manejo ambiental

Comprenden las acciones operativas destinadas a la gestión de residuos y descargas, que forman parte del funcionamiento cotidiano del proyecto.

Incluyen:

- Operación de la planta de tratamiento de aguas residuales
- Manejo, separación y almacenamiento temporal de residuos sólidos
- Disposición final de residuos mediante servicios autorizados

Estos sistemas han sido objeto de mejora y optimización en el tiempo, como parte del proceso evolutivo del proyecto, y están directamente relacionados con la regulación de interacciones ambientales, particularmente en lo referente a la calidad del agua y la gestión de residuos.

Actividades de mantenimiento y gestión operativa

Corresponden a las acciones necesarias para conservar las condiciones funcionales del sitio y asegurar la continuidad de la operación.

Incluyen:

- Limpieza de instalaciones y áreas de uso común
- Reparación y conservación de infraestructura
- Supervisión ambiental y operativa del sitio

Estas actividades son continuas y permiten mantener las condiciones observadas del sistema bajo operación, contribuyendo a la prevención de efectos acumulativos.

Integración para el análisis de impactos

El desglose anterior permite identificar de manera estructurada las actividades que serán evaluadas en la matriz de interacción tipo Leopold modificada. Cada actividad constituye una unidad de análisis que se cruza con los componentes del sistema ambiental para identificar interacciones bajo condiciones operativas actuales.

Este enfoque facilita la trazabilidad del análisis, al establecer una correspondencia directa entre las actividades del proyecto, la evolución de su configuración operativa y los componentes del sistema ambiental, asegurando consistencia metodológica entre la identificación, evaluación e interpretación de impactos.

Clasificación transversal de las actividades

Las actividades identificadas pueden clasificarse adicionalmente en función de su tipo de interacción con el sistema ambiental, lo que permite comprender de manera integral su papel dentro de la dinámica operativa del proyecto y facilitar su análisis en términos de relaciones causa–efecto. Esta clasificación reconoce que las actividades actuales forman parte de una condición operativa consolidada, resultado de un proceso evolutivo de uso, adecuación y mejora, por lo que sus interacciones se analizan bajo condiciones reales y verificables.

Actividades de contacto directo con el medio

Corresponden a aquellas que implican interacción inmediata entre los usuarios y los componentes naturales del sistema, incluyendo:

- Uso recreativo del canal y la laguna
- Tránsito en zonas ribereñas

Estas actividades representan interacciones puntuales y espacialmente delimitadas con el entorno, concentradas en áreas específicas del predio, y constituyen los principales puntos de contacto directo entre los usuarios y el sistema ambiental.

Actividades de soporte operativo

Incluyen aquellas necesarias para el funcionamiento del sitio, desarrolladas principalmente en espacios previamente intervenidos, tales como:

- Operación de restaurantes
- Uso de sanitarios

Funcionamiento de infraestructura en general

Estas actividades se asocian a interacciones indirectas con el sistema ambiental, vinculadas al uso de recursos, generación de residuos y permanencia de visitantes, dentro de la configuración operativa actual del proyecto.

Actividades de control ambiental

Comprenden las acciones orientadas a regular y gestionar las interacciones del proyecto con el entorno, entre las que se incluyen:

- Operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)
- Manejo y disposición de residuos sólidos
- Delimitación de áreas y control de acceso a zonas sensibles

Estas actividades forman parte del sistema de manejo ambiental del proyecto y reflejan procesos de mejora implementados a lo largo del tiempo, orientados a la regulación de interacciones bajo condiciones operativas actuales.

Actividades de mantenimiento

Incluyen acciones rutinarias que aseguran la continuidad operativa y la conservación de las condiciones del sitio, tales como:

- Limpieza
- Reparación
- Supervisión

Estas actividades son de carácter continuo y contribuyen al mantenimiento de las condiciones observadas del sistema, así como a la prevención de efectos acumulativos derivados de la operación.

Integración para el análisis de impactos

La clasificación anterior permite identificar de manera clara y sistemática las acciones del proyecto que interactúan con el sistema ambiental, diferenciando entre tipos de interacción directa, indirecta y de control operativo.

Este esquema constituye la base para el análisis de interacciones mediante la matriz de Leopold modificada y las redes causa–efecto, al establecer categorías funcionales que reflejan la dinámica real del proyecto.

Dado el carácter preexistente del proyecto, estas actividades corresponden a condiciones operativas actuales, por lo que su evaluación se orienta a determinar la significancia de sus interacciones y su relación con la capacidad de respuesta del sistema ambiental.

Identificación de los factores ambientales relevantes

En congruencia con la complejidad del Sistema Ambiental (SA) y su carácter sistémico, los factores ambientales susceptibles de interactuar con las actividades del proyecto se estructuran en dos grandes subsistemas: el físico-natural y el socioeconómico. Estos se desagregan en componentes, factores y subfactores, conforme a criterios técnicos consistentes con las recomendaciones de la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA).

La selección de factores se realiza en función de su relevancia para el análisis de interacciones bajo condiciones operativas actuales, considerando que el proyecto se encuentra en operación consolidada y que su configuración responde a un proceso evolutivo de uso, adecuación y mejora. En este sentido, se priorizan aquellos componentes que permiten describir de manera efectiva la dinámica del sistema y su respuesta frente a las actividades identificadas.

Subsistema físico-natural

Dentro del subsistema físico-natural se integran los componentes abiótico, biótico y perceptual, los cuales concentran los procesos ecológicos y geohidrológicos que estructuran el sistema ambiental.

Componente abiótico

Se consideran como factores relevantes:

- Agua, evaluada en términos de calidad, transparencia y concentración de nutrientes, dada su función central en la dinámica del sistema lagunar.
- Suelo, analizado en función de su permeabilidad, estabilidad y susceptibilidad a la compactación, particularmente en zonas de uso.

- Hidrología, considerada en términos de conectividad, flujo, recarga del acuífero y relación entre aguas superficiales y subterráneas.

Estos factores son clave para comprender los procesos de transporte, dilución y transformación de materia dentro del sistema.

Componente biótico

Incluye los elementos vivos del sistema, entre los que destacan:

- Vegetación, evaluada en términos de cobertura, estructura y estado de regeneración.
- Fauna, considerada en función de su presencia, distribución y comportamiento frente a la actividad humana.
- Comunidades microbianas, particularmente los microbialitos, los cuales representan un componente de alta sensibilidad ecológica y relevancia funcional dentro del sistema lagunar.

Estos elementos permiten analizar la respuesta biológica del sistema frente a las interacciones identificadas.

Componente perceptual

Está representado por el paisaje, entendido como la integración visual de los elementos naturales y antrópicos del sistema.

Se considera en función de:

- Calidad escénica
- Integridad visual
- Relación entre unidades geomorfológicas, cobertura vegetal y cuerpos de agua

Este componente permite incorporar la dimensión perceptual del sistema dentro del análisis ambiental.

Subsistema socioeconómico

El subsistema socioeconómico incluye factores relacionados con:

- Dinámica económica
- Generación de empleo
- Uso del territorio
- Interacción entre población local y visitantes

Estos elementos permiten analizar la inserción del proyecto dentro de la dinámica regional, considerando su relación con procesos territoriales existentes y su papel dentro del sistema socioecológico.

Criterios de selección de factores

La selección de los factores ambientales relevantes se basa en los siguientes criterios:

- Relevancia, en términos de su influencia en el funcionamiento del sistema
- Sensibilidad, particularmente en componentes susceptibles a cambios
- Ubicabilidad, permitiendo su identificación espacial dentro del área de estudio
- Medibilidad, en función de su capacidad de ser evaluados cualitativa o cuantitativamente
- No redundancia, evitando duplicidad en el análisis

Listado de elementos del Sistema Ambiental susceptibles de afectación

Con base en la caracterización del Sistema Ambiental (SA) presentada en el Capítulo IV y en la identificación de factores ambientales relevantes, se reconocen los elementos susceptibles de interactuar con las actividades del proyecto bajo condiciones operativas actuales.

En congruencia con la estructura definida previamente, estos elementos se agrupan en los subsistemas físico-natural y socioeconómico, considerando aquellos componentes que presentan mayor sensibilidad, relevancia funcional y posibilidad de interacción. Este listado corresponde directamente a los factores ambientales previamente definidos y constituye la base para el análisis de interacciones en la matriz de Leopold modificada.

Su función es establecer de manera clara los elementos del sistema que serán evaluados en relación con las actividades del proyecto, asegurando coherencia metodológica entre la identificación de factores, el análisis de interacciones y la evaluación de impactos bajo condiciones operativas actuales.

Medio abiótico

Corresponde a los componentes físicos del sistema que determinan su estructura y funcionamiento.

Agua

Calidad del agua (parámetros fisicoquímicos y estado trófico)

Se refiere al conjunto de características químicas y físicas del agua (pH, oxígeno disuelto, conductividad, nutrientes, entre otros) que determinan su estado ecológico, incluyendo su nivel trófico (oligotrófico, mesotrófico o eutrófico).

Criterio de selección: Es un indicador integral del estado del sistema acuático y permite identificar variaciones asociadas a procesos naturales y a interacciones antrópicas bajo condiciones de operación.

• *Transparencia del agua*
Es la capacidad del agua para permitir el paso de la luz, generalmente asociada a la presencia o ausencia de partículas suspendidas y materia orgánica.

Criterio de selección: Refleja variaciones en la calidad del agua y en procesos como la resuspensión de sedimentos o cambios en la carga orgánica.

• *Concentración de nutrientes*
Corresponde a la cantidad de compuestos como nitrógeno y fósforo presentes en el agua, que regulan la productividad biológica del sistema.

Criterio de selección: Es un indicador clave para evaluar la dinámica trófica del sistema y posibles variaciones asociadas a interacciones dentro del entorno.

• *Dinámica hidrológica del canal de los Rápidos*
Describe el comportamiento del flujo de agua en el canal, incluyendo velocidad, dirección, variabilidad y respuesta a eventos hidrometeorológicos.

Criterio de selección: Controla el transporte de sedimentos, nutrientes y materia orgánica, siendo determinante en la estabilidad funcional del sistema.

• *Conectividad con el acuífero kárstico*
Se refiere a la relación hidráulica entre el sistema lagunar y el acuífero subterráneo, característica de los sistemas kársticos altamente permeables.

Criterio de selección

Define la susceptibilidad del sistema a la transmisión de sustancias a través del subsuelo en caso de interacción, dada su alta permeabilidad.

• *Zonas de surgencia (ojos de agua):*
Son puntos donde el agua subterránea emerge a la superficie, aportando caudal al sistema lagunar.

Criterio de selección: Constituyen áreas de alta sensibilidad ecológica e hidrológica, al representar puntos directos de conexión entre el acuífero y el sistema superficial.

Su relevancia
Elemento estructural clave del sistema, con alta sensibilidad a variaciones en sus condiciones fisicoquímicas. La selección de estos componentes responde a su función como indicadores de la estabilidad hidrológica y de la dinámica del sistema kárstico–lagunar, así como a su sensibilidad frente a interacciones de origen antrópico bajo condiciones controladas de operación.

Suelo

• *Estructura del suelo kárstico*
Se refiere a la configuración física del suelo desarrollado sobre roca caliza, caracterizado por alta porosidad, fracturamiento y presencia de cavidades.

Criterio de selección: Determina la fragilidad estructural del sistema y su comportamiento frente a interacciones físicas, particularmente en términos de estabilidad y de transmisión de sustancias a través del subsuelo.

• *Permeabilidad e infiltración*
Es la capacidad del suelo para permitir el paso del agua hacia el subsuelo, facilitando la recarga del acuífero.

Criterio de selección: Controla la dinámica hidrológica del sistema y define su alta capacidad de infiltración, característica relevante en la evaluación de interacciones en ambientes kársticos.

• *Estabilidad superficial*
Se refiere a la capacidad del suelo para mantenerse estructuralmente estable frente a interacciones físicas, como el tránsito o la acción de escurrimientos.

Criterio de selección: Permite evaluar la respuesta del suelo ante uso recreativo en condiciones operativas controladas.

• *Capacidad de retención de sedimentos*
Es la habilidad del suelo para captar y retener partículas transportadas por escurrimientos superficiales.

Criterio de selección: Funciona como mecanismo natural de filtración y regulación de la carga de sedimentos hacia el sistema lagunar.

• *Susceptibilidad a compactación*
Es la tendencia del suelo a modificar su porosidad y permeabilidad debido a la presión mecánica, como el tránsito de personas.

Criterio de selección: Permite identificar posibles variaciones en la infiltración y en la funcionalidad del suelo como regulador hidrológico, particularmente en zonas de uso delimitado.

Su relevancia
Componente clave en la regulación hidrológica y en los procesos de filtración del sistema. La selección de estos elementos responde a su papel como reguladores de los flujos de agua y sedimentos en el sistema kárstico, así como a su sensibilidad frente a interacciones físicas de carácter localizado bajo condiciones de operación controlada.

Geomorfología y topografía

• *Meseta de captación*
Unidad topográfica elevada que funciona como área de recepción de precipitación pluvial, desde donde se originan los escurrimientos superficiales y procesos de infiltración hacia zonas bajas.

Criterio de selección: Es clave en la regulación del flujo hídrico del sistema, al controlar la cantidad y calidad del agua que se desplaza hacia el sistema lagunar, manteniendo su funcionalidad hidrológica bajo condiciones actuales.

• *Escarpe de transición*
Zona de pendiente pronunciada que conecta la meseta con las áreas bajas, caracterizada por concentrar flujos de escurrimiento y procesos de transporte de sedimentos.

Criterio de selección: Presenta sensibilidad a procesos naturales de erosión y cumple un papel fundamental en la transferencia de materiales hacia la planicie y el sistema lagunar.

• *Planicie de infiltración*
Superficie de baja pendiente donde se disipa la energía de los escurrimientos y se favorecen procesos de infiltración y retención de sedimentos.

Criterio de selección: Funciona como zona de amortiguamiento del sistema, regulando la entrada de agua y sedimentos al sistema lagunar y contribuyendo a su estabilidad hidrológica.

• *Ribera lagunar*
Zona de contacto entre el sistema terrestre y el cuerpo de agua, caracterizada por alta interacción ecológica y elevada sensibilidad ambiental.

Criterio de selección: Es un área clave por concentrar los procesos de intercambio entre el medio terrestre y acuático, incluyendo la presencia de microbialitos, y por su relevancia en la dinámica ecológica del sistema.

Su relevancia
Estas unidades definen la estructura física del territorio y la dinámica de los flujos hídricos y de sedimentos, así como la configuración del paisaje. Su selección responde a su función como elementos estructurantes del sistema ambiental y como referentes para analizar las interacciones del proyecto.

Hidrología

• *Flujo superficial (escurrimientos)*
Se refiere al movimiento del agua sobre la superficie del terreno, generado principalmente por la precipitación y condicionado por la pendiente, la cobertura vegetal y las características del suelo.

Criterio de selección: Regula el transporte natural de sedimentos, nutrientes y materia orgánica hacia el sistema lagunar, constituyendo un proceso clave en la dinámica hidrológica del sistema.

• *Infiltración vertical*
Es el proceso mediante el cual el agua se desplaza desde la superficie hacia el subsuelo, recargando el acuífero.

Criterio de selección: Define la capacidad del sistema para absorber y filtrar agua a través del subsuelo, siendo especialmente relevante en ambientes kársticos de alta permeabilidad.

• *Interacción acuífero–laguna*
Se refiere al intercambio hidráulico entre el agua subterránea y el sistema lagunar, característico de sistemas kársticos interconectados.

Criterio de selección: Determina la conectividad funcional del sistema hídrico y la dinámica de intercambio entre componentes subterráneos y superficiales.

• *Respuesta a eventos hidrometeorológicos*
Es la capacidad del sistema para reaccionar ante eventos como lluvias intensas, frentes fríos o variaciones en la precipitación.

Criterio de selección: Permite evaluar la variabilidad del sistema y su comportamiento bajo condiciones climáticas cambiantes, incluyendo modificaciones temporales en el transporte de sedimentos y nutrientes.

Su relevancia
El sistema hidrológico regula los flujos de agua y materiales dentro del entorno. Estos componentes se incorporan al análisis por su papel en la dinámica lagunar y por la conectividad característica del sistema kárstico.

Clima

• *Precipitación*
Corresponde a la cantidad y distribución de la lluvia en el área de estudio, la cual determina la disponibilidad de agua en el sistema.

Criterio de selección: Regula los procesos hidrológicos, como el escurrimiento superficial y la infiltración, influyendo en el transporte natural de sedimentos y nutrientes hacia el sistema lagunar.

• *Eventos extremos*
Incluyen fenómenos hidrometeorológicos de alta intensidad, como lluvias torrenciales, frentes fríos (“nortes”) y tormentas.

Criterio de selección: Generan variaciones temporales en la dinámica del sistema, pudiendo modificar de manera transitoria el transporte de sedimentos, materia orgánica y nutrientes.

• *Variabilidad climática*
Se refiere a las fluctuaciones en los patrones de precipitación y temperatura a lo largo del tiempo.

Criterio de selección: Influye en la dinámica del sistema ambiental y en la respuesta de los procesos hidrológicos y ecológicos bajo distintas condiciones climáticas.

Su relevancia
El componente climático actúa como un factor condicionante del sistema ambiental, al determinar el comportamiento de los procesos hidrológicos y ecológicos. No es susceptible de interacción directa con las actividades del proyecto, pero establece el marco dentro del cual ocurren las interacciones del sistema, influyendo en su variabilidad natural bajo condiciones actuales.

Medio biótico

Vegetación

• *Cobertura vegetal secundaria*
Corresponde a la vegetación que se ha desarrollado después de procesos de transformación previos, caracterizada por especies pioneras y en diferentes grados de consolidación.

Criterio de selección: Permite evaluar el estado de conservación del sistema y su capacidad de amortiguar variaciones en las condiciones ambientales.

• *Estado sucesional*
Se refiere a la etapa de desarrollo en la que se encuentra la vegetación, desde fases tempranas hasta estados más maduros.

Criterio de selección: Indica el nivel de estabilidad ecológica del sistema y su capacidad de adaptación frente a cambios en el entorno.

• *Regeneración natural*
Es el proceso mediante el cual la vegetación se restablece de forma espontánea sin intervención directa.

Criterio de selección: Funciona como indicador de resiliencia ecológica, evidenciando la capacidad del sistema para mantener y recuperar su cobertura vegetal bajo condiciones actuales.

• *Función de retención e infiltración*
Se refiere al papel de la vegetación en la reducción del escurrimiento superficial, la retención de sedimentos y la facilitación de la infiltración de agua al subsuelo.

Criterio de selección: Es un componente clave en la regulación hidrológica del sistema y en el mantenimiento de las condiciones del sistema lagunar.

Su relevancia

La vegetación participa en la regulación de procesos hidrológicos, la retención de sedimentos y la configuración del hábitat. Por ello, su cobertura, estado sucesional y regeneración se consideran factores relevantes para analizar las interacciones del proyecto con el entorno.

Fauna

• *Fauna terrestre*
Corresponde a las especies animales que habitan o utilizan el entorno terrestre del área de estudio, incluyendo mamíferos, reptiles, aves y otros grupos asociados a la vegetación presente.

Criterio de selección: Permite evaluar la interacción entre la fauna y la presencia humana, así como la integridad del hábitat terrestre bajo condiciones actuales de operación.

• *Fauna asociada a ambientes acuáticos*
Incluye las especies que dependen directa o indirectamente del sistema lagunar y cuerpos de agua, como peces, anfibios y organismos vinculados a la ribera.

Criterio de selección: Es indicadora de las condiciones del sistema acuático y de su estabilidad ecológica, siendo sensible a variaciones en las condiciones fisicoquímicas del entorno.

• *Comportamiento frente a la presencia humana*
Se refiere a las respuestas de la fauna ante la presencia de visitantes y actividades recreativas, tales como desplazamiento, evitación o adaptación.

Criterio de selección: Permite evaluar cambios conductuales de carácter temporal asociados al uso del sitio, sin implicar modificaciones estructurales del hábitat ni pérdida de funcionalidad ecológica.

Su relevancia
La fauna constituye un indicador de la interacción entre las actividades del proyecto y el entorno natural, particularmente en términos de respuesta conductual y uso del espacio. Su inclusión permite valorar las interacciones potenciales asociadas a la presencia de visitantes.

Microbialitos

• *Integridad física*
Se refiere a la conservación de la estructura superficial de los microbialitos, incluyendo su forma, cohesión y continuidad.

Criterio de selección: Permite identificar posibles variaciones asociadas al contacto físico o a la resuspensión de sedimentos en zonas de interacción indirecta, particularmente en áreas adyacentes al predio.

• *Estado de conservación*
Corresponde al grado en que los microbialitos mantienen sus características estructurales y funcionales dentro del sistema lagunar.

Criterio de selección: Refleja la condición actual del sistema y su estabilidad bajo las condiciones operativas existentes en el entorno.

• *Sensibilidad a interacción*
Es la susceptibilidad de los microbialitos a cambios físicos o químicos en su entorno, incluyendo variaciones en la calidad del agua y en la dinámica de sedimentos.

Criterio de selección: Justifica su inclusión como componente prioritario, dado que pequeñas variaciones pueden generar cambios localizados en su estructura superficial.

• *Función ecológica*
Se refiere al papel de los microbialitos en los procesos biogeoquímicos del sistema, incluyendo la fijación de carbono, la estabilización de sedimentos y su contribución a la dinámica ecológica del ambiente lagunar.

Criterio de selección: Su relevancia funcional los convierte en un elemento clave para la estabilidad del sistema, más allá de su valor estructural.

Su relevancia:

Los microbialitos constituyen un componente de alta sensibilidad ecológica y relevancia funcional dentro del sistema lagunar. Su distribución se localiza fuera del predio del proyecto, en áreas adyacentes del sistema lagunar. Por ello, la evaluación distingue la ubicación de estas formaciones de las áreas de operación del establecimiento y considera las medidas implementadas para ordenar el uso recreativo y favorecer su conservación.

En este contexto, las interacciones potenciales se presentan de manera indirecta y espacialmente delimitada, asociadas a la dinámica general del sistema y no a una ocupación directa del área donde se desarrollan estos organismos.

Los microbialitos se consideran un componente prioritario de conservación. En las condiciones actuales de operación descritas para el proyecto, el tránsito de visitantes se

encuentra ordenado mediante infraestructura y delimitación de áreas, con vigilancia del uso y sin pisoteo de las formaciones. El corredor elevado ubicado en la periferia de las zonas sensibles contribuye a canalizar la circulación y evitar el contacto directo con los atolones microbianos. La evaluación incorpora estas medidas como elementos de protección y manejo preventivo.

Ecosistema lagunar

Se refiere a la condición general del ecosistema lagunar, determinada por la interacción de sus componentes físicos, químicos y biológicos, así como por su nivel de conservación y funcionalidad.

Criterio de selección: Permite evaluar la condición integral del sistema y su comportamiento bajo la influencia de procesos naturales y antrópicos en el entorno.

• Condiciones oligotróficas / mesotróficas:

Corresponde al nivel de nutrientes y productividad del sistema, donde condiciones oligotróficas indican baja concentración de nutrientes y alta transparencia, y condiciones mesotróficas reflejan un incremento moderado en la productividad.

Criterio de selección: Es un indicador clave de la dinámica de la calidad del agua y del funcionamiento ecológico del sistema, particularmente en relación con la disponibilidad de nutrientes.

• Dinámica biogeoquímica:

Se refiere a los procesos de transformación y circulación de nutrientes, materia orgánica y energía dentro del sistema lagunar.

Criterio de selección: Permite evaluar el funcionamiento interno del ecosistema y su capacidad de autorregulación bajo distintas condiciones ambientales.

Su relevancia:

El ecosistema lagunar constituye el principal integrador de los procesos físicos, químicos y biológicos del sistema ambiental; sin embargo, es importante precisar que este componente se localiza fuera de los límites del predio del proyecto, formando parte del área de influencia y del sistema ambiental regional.

En este sentido, su inclusión en el análisis responde a la necesidad de evaluar la interacción indirecta del proyecto con el entorno, dentro de un contexto de conectividad ecológica e hidrológica.

El ecosistema lagunar integra los procesos físicos, químicos y biológicos del área de influencia. Su inclusión permite contextualizar las interacciones indirectas del proyecto dentro de la dinámica ambiental regional; la interpretación del estado trófico debe corresponder a los parámetros y resultados que se presentan en la caracterización ambiental.

Medio perceptual (paisaje)

• Paisaje:

Se refiere a la percepción visual integrada del entorno, resultado de la interacción entre elementos naturales y antrópicos.

Criterio de selección: Permite evaluar la integración del proyecto dentro del contexto ambiental y su correspondencia con las características del entorno.

• Calidad escénica:

Corresponde al valor estético del paisaje, determinado por la presencia, diversidad y armonía de sus elementos naturales y culturales.

Criterio de selección: Es un indicador del atractivo visual del sitio y de su relevancia para actividades recreativas y turísticas.

• Integridad visual:

Se refiere al grado en que el paisaje mantiene su coherencia visual sin elementos discordantes.

Criterio de selección: Permite evaluar la compatibilidad de la infraestructura existente con el entorno visual, considerando su integración en el paisaje.

• Continuidad geomorfológica:

Corresponde a la conservación de las formas del relieve y su conexión visual dentro del paisaje.

Criterio de selección: Permite analizar la permanencia de la lectura natural del territorio en relación con los elementos existentes.

• Fondo escénico:

Se refiere al plano visual de fondo que enmarca el paisaje, incluyendo vegetación, cuerpos de agua y relieve.

Criterio de selección: Es un elemento clave en la percepción del paisaje y en la valoración de su composición visual a escala del observador.

Su relevancia:

El paisaje constituye la base del valor turístico del sitio, integrando elementos naturales y antrópicos en una configuración visual coherente. La selección de estos componentes responde a su función como indicadores del medio perceptual, permitiendo evaluar la integración del proyecto en el entorno, el cual mantiene su calidad escénica bajo las condiciones actuales de operación..

Medio socioeconómico

• Dinámica económica:

Se refiere al conjunto de actividades productivas y de intercambio que se desarrollan en el área de influencia, así como a su evolución en el tiempo.

Criterio de selección: Permite evaluar la integración del proyecto en la economía regional y su participación dentro de la estructura económica existente.

• Turismo regional:

Corresponde al flujo de visitantes y a las actividades turísticas que se desarrollan en la región, incluyendo su intensidad, estacionalidad y tendencias de crecimiento.

Criterio de selección: Es un factor clave para entender la dinámica turística regional y la inserción del proyecto dentro de esta, en un contexto de desarrollo turístico consolidado.

• Economía local:

Se refiere a las actividades económicas desarrolladas por la población local, incluyendo comercio, servicios y aprovechamiento de recursos.

Criterio de selección: Permite identificar la contribución del proyecto a la economía local, tanto en términos directos como indirectos, así como su relación con los medios de vida existentes.

• Servicios asociados:

Incluye los servicios vinculados al desarrollo de actividades turísticas, tales como transporte, alimentación, hospedaje y otros servicios complementarios.

Criterio de selección: Permite evaluar la vinculación del proyecto con la cadena de valor turística y su participación en la economía local.

Su relevancia:

La selección de estos componentes responde a la necesidad de evaluar la relación del proyecto con la dinámica socioeconómica regional, destacando su integración en un sistema turístico existente y su contribución al desarrollo económico local, dentro de un contexto de operación continua.

Empleo

• Generación de empleo directo:

Se refiere a los puestos de trabajo asociados a la operación del proyecto, incluyendo personal administrativo, operativo y de servicios dentro del sitio.

Criterio de selección: Permite evaluar la contribución del proyecto a la ocupación laboral local y su papel en la continuidad de fuentes de empleo en el área de influencia.

• Generación de empleo indirecto:

Corresponde a los empleos derivados de la demanda de bienes y servicios asociados al proyecto, como proveedores, transporte, comercio y actividades complementarias.

Criterio de selección: Permite identificar la participación del proyecto en la dinámica económica local y regional, a través de su vinculación con otras actividades productivas.

Su relevancia:

La selección de estos componentes responde a la necesidad de evaluar la contribución del proyecto al empleo local, destacando su papel en la generación y continuidad de oportunidades laborales, así como en el fortalecimiento de la economía regional bajo un esquema de operación consolidada.

Uso del territorio

• Cambio de uso de suelo:

Se refiere a la transformación de la cobertura o función del territorio, por ejemplo, de uso natural a uso urbano, turístico o productivo.

Criterio de selección: Permite identificar procesos de transformación territorial asociados a actividades humanas y analizar la continuidad del uso turístico existente en el contexto de la configuración actual del predio.

• Valor del suelo:

Corresponde al valor económico del territorio, influenciado por factores como accesibilidad, servicios y atractivo turístico.

Criterio de selección: Permite analizar la relación del proyecto con la valorización del territorio dentro de un contexto turístico consolidado.

• Interacción urbano–rural:

Se refiere a la relación entre asentamientos humanos, actividades productivas y espacios naturales, particularmente en zonas de transición.

Criterio de selección: Permite evaluar la integración del proyecto en el contexto territorial y su correspondencia con las dinámicas de ocupación del espacio existentes.

Su relevancia:

La selección de estos componentes permite analizar la relación del proyecto con el uso del territorio y la continuidad de la actividad turística existente, considerando la configuración espacial actual del predio y las dinámicas territoriales descritas en el Capítulo IV.

Tejido social

• Relación comunidad–turismo:

Se refiere a la interacción entre la población local y las actividades turísticas, incluyendo formas de participación, integración y convivencia.

Criterio de selección: Permite evaluar el grado de articulación entre el proyecto y la comunidad, así como su integración dentro de la dinámica social local asociada al turismo.

• Distribución de beneficios:

Corresponde a la forma en que los beneficios económicos y sociales generados por el proyecto se distribuyen entre los actores locales.

Criterio de selección: Permite analizar la participación del proyecto en la generación de beneficios económicos y sociales en el entorno local.

• Percepción social:

Se refiere a la valoración que la comunidad local tiene sobre el proyecto, incluyendo niveles de aceptación y participación.

Criterio de selección: Es un indicador de la integración social del proyecto y de su correspondencia con el contexto comunitario.

Su relevancia:

La selección de estos componentes responde a la necesidad de evaluar la dimensión social del proyecto, destacando su integración en la dinámica comunitaria y su participación en las actividades económicas y sociales del entorno, dentro de un contexto de operación continua y aceptación social.

Vulnerabilidad social

• Población en condición de marginación:

Se refiere a los grupos de población que presentan carencias en el acceso a servicios básicos, ingresos, vivienda o bienestar social, de acuerdo con indicadores oficiales.

Criterio de selección: Permite identificar sectores que podrían presentar mayor sensibilidad frente a variaciones en la dinámica económica o territorial, así como analizar la participación del proyecto en la distribución de beneficios a nivel local.

• Dependencia de recursos naturales:

Corresponde al grado en que la población local depende directamente de los recursos naturales para su subsistencia, como pesca, agricultura o aprovechamientos tradicionales.

Criterio de selección: Permite contextualizar la relación entre la población y el entorno natural, así como su capacidad de adaptación dentro de las condiciones actuales del sistema.

Su relevancia:

La selección de estos componentes responde a la necesidad de contextualizar las condiciones sociales del área de influencia, identificando sectores con distintos niveles de sensibilidad socioeconómica.

En este sentido, el análisis se orienta a evaluar la compatibilidad del proyecto con dichas condiciones, sin que se identifiquen elementos que indiquen un incremento en la vulnerabilidad social asociado a su operación, manteniéndose su participación dentro de la dinámica económica local.

Clasificación técnica

Los elementos del sistema ambiental identificados pueden agruparse en función de su sensibilidad ambiental de la siguiente manera:

Alta sensibilidad:
Agua, microbialitos, ecosistema lagunar

Sensibilidad media:
Suelo, hidrología, fauna, planicie de infiltración

Baja sensibilidad:
Vegetación secundaria, paisaje (alta capacidad de integración),
Componente socioeconómico

El listado anterior integra los componentes clave del Sistema Ambiental susceptibles de interactuar con las actividades del proyecto, constituyendo la base para la identificación de impactos y la construcción de la matriz de interacción. La selección de estos elementos responde a criterios de relevancia ecológica, funcionalidad del sistema y susceptibilidad a perturbaciones, asegurando que la evaluación se enfoque en los factores que realmente determinan la estabilidad y resiliencia del entorno.

Matriz de identificación de interacciones causa–efecto

Enfoque metodológico

En cumplimiento de los lineamientos metodológicos de la DGIRA, la matriz de interacciones considera las etapas de planeación, construcción, operación y mantenimiento; sin embargo, para efectos del presente análisis, las etapas de planeación y construcción no forman parte del escenario ambiental actual del proyecto.

Si bien durante el periodo comprendido entre el inicio del procedimiento administrativo y la integración del presente estudio se llevaron a cabo adecuaciones y obras de carácter menor, éstas corresponden a intervenciones progresivas dentro de una unidad operativa existente, sin que se haya modificado la naturaleza del proyecto, el uso del suelo, la superficie ocupada ni la capacidad de carga del sitio.

Las intervenciones realizadas en distintos momentos forman parte de los antecedentes y de la configuración actual del Sistema Ambiental descrita en el Capítulo IV. Para efectos de la evaluación, se distingue entre las modificaciones históricas que conforman las condiciones actuales del sitio y las interacciones que persisten durante la operación y el mantenimiento.

Las intervenciones realizadas a lo largo del tiempo se incorporan como antecedentes de la configuración actual del sitio. La evaluación distingue esos antecedentes de las interacciones que permanecen durante la operación y el mantenimiento, que constituyen el foco de la matriz operativa.

La identificación de interacciones causa–efecto entre las actividades del proyecto y los factores ambientales se realizó mediante una matriz de interacción tipo Leopold modificada, en la que se cruzan las acciones del proyecto con los componentes del Sistema Ambiental. Dado que el proyecto corresponde a un establecimiento en operación histórica, la matriz se enfoca en las interacciones actuales y de continuidad**,** incorporando las etapas de planeación y construcción únicamente con fines metodológicos, sin asignación de interacciones, al no formar parte del escenario actual.

Las actividades se agrupan en las siguientes categorías:

- Planeación (histórica)
- Construcción (histórica)
- Operación turística
- Operación de infraestructura
- Manejo ambiental
- Mantenimiento

Los factores ambientales se organizan conforme a los componentes descritos en el Capítulo IV.

La identificación y análisis de impactos ambientales del presente proyecto se llevó a cabo mediante un enfoque sistemático e integral, basado en la combinación de herramientas metodológicas complementarias que permiten evaluar tanto las interacciones directas como las relaciones complejas entre las actividades del proyecto y el sistema ambiental.

Si bien en una primera etapa, se empleó una matriz de interacción tipo Leopold modificada, la cual permitió establecer de manera estructurada las relaciones causa–efecto entre las actividades del proyecto y los factores ambientales identificados en el Capítulo IV. Esta herramienta facilita la identificación puntual de interacciones, así como su valoración en términos de magnitud, extensión, reversibilidad y carácter del impacto.

No obstante, dado que los sistemas kárstico–lagunares presentan una alta interconectividad entre sus componentes físicos, biológicos e hidrológicos, la evaluación de impactos requiere también un análisis que permita comprender la propagación de efectos más allá de las interacciones directas.

En este sentido, como complemento a la matriz de interacción, se incorporó el análisis mediante redes de relación causa–efecto, el cual permite representar de manera secuencial las cadenas de interacción que se originan a partir de las actividades del proyecto y su posible incidencia en distintos componentes del sistema ambiental.

Esta metodología permite:

- Identificar efectos directos, indirectos y acumulativos
- Analizar la concatenación de impactos a través del sistema
- Reconocer interdependencias entre componentes ambientales

Evaluar la capacidad del sistema para absorber o amplificar perturbaciones

La integración de ambas herramientas metodológicas permite contar con una evaluación más robusta y consistente, en la que la matriz de interacción proporciona la base estructural para la identificación de impactos, mientras que las redes causa–efecto permiten profundizar en su interpretación desde una perspectiva sistémica.

Asimismo, el análisis se desarrolló bajo un enfoque de continuidad operativa, considerando que el proyecto corresponde a un establecimiento en operación histórica, por lo que los impactos evaluados corresponden a las condiciones actuales del sistema ambiental, integrando los efectos históricos dentro de la línea base del análisis.

Este enfoque combinado permite evitar la sobreestimación de impactos, al tiempo que proporciona una comprensión integral de las interacciones entre el proyecto y su entorno, particularmente en sistemas ambientales complejos.”

Tratamiento de impactos históricos en proyectos en operación

En el contexto de proyectos en operación histórica sujetos a procesos de regularización en materia de impacto ambiental, el análisis de impactos debe considerar una diferenciación clara entre impactos históricos, impactos actuales e impactos potenciales de continuidad.

Los impactos históricos corresponden a aquellos generados durante las etapas iniciales de establecimiento del proyecto, incluyendo actividades de preparación del sitio, construcción y adecuaciones realizadas a lo largo del tiempo. En estos casos, dichos impactos han sido ya incorporados al sistema ambiental y forman parte de su condición actual.

En el presente proyecto, las intervenciones realizadas durante más de tres décadas, incluidas las efectuadas en periodos recientes, se consideran dentro de la evolución histórica de una unidad de uso turístico preexistente. Su análisis distingue la huella física de las obras, las condiciones actuales del sitio y las interacciones que continúan durante la operación.

El Sistema Ambiental descrito en el Capítulo IV integra áreas de intervención histórica y áreas con procesos de regeneración y conservación. Esta configuración se considera en la interpretación de las condiciones actuales y en la diferenciación entre antecedentes de intervención e interacciones operativas vigentes.

En este sentido, los impactos históricos no se evalúan como eventos activos dentro de la matriz de interacciones, sino que se integran como parte de la línea base del análisis, a partir de la cual se valoran las interacciones actuales del proyecto. Por lo anterior, la evaluación de impacto ambiental se centra en:

- Las interacciones actuales derivadas de la operación del proyecto
- La continuidad de dichas interacciones en el tiempo
- La compatibilidad de las interacciones actuales con los objetivos de conservación y uso del territorio se analiza a partir de su magnitud, extensión, duración, reversibilidad, sensibilidad del componente receptor y medidas de manejo aplicables.

Este enfoque permite evitar la sobreestimación de impactos asociados a etapas no vigentes, y proporciona una evaluación más precisa de la relación actual entre el proyecto y su entorno. En consecuencia, los impactos históricos se consideran integrados al estado actual del sistema ambiental y no representan fuentes activas de presión ambiental, por lo que la evaluación se enfoca en las condiciones operativas vigentes del proyecto.

Criterios de valoración de la matriz de identificación de interacciones

La evaluación de los impactos ambientales se realiza a partir de los resultados obtenidos en la matriz de interacción de tipo Leopold modificada, complementada con el análisis de redes causa–efecto. Para cada interacción identificada, se valoran criterios cualitativos que permiten estimar la significancia del impacto, incluyendo su magnitud, extensión, duración, reversibilidad, periodicidad y probabilidad de ocurrencia, considerando las condiciones actuales del sistema y la presencia de medidas de manejo implementadas.

La magnitud se refiere al grado de alteración generado sobre el componente ambiental; la extensión, al ámbito espacial de influencia; la duración, al tiempo de persistencia del efecto; y la reversibilidad, a la capacidad del sistema para recuperar sus condiciones originales. La periodicidad y la probabilidad permiten estimar la frecuencia y la posibilidad de ocurrencia del impacto bajo condiciones reales de operación.

Estos criterios se analizan de manera integrada, evitando su interpretación aislada, y se complementan con la información derivada de las redes causa–efecto, las cuales permiten identificar la propagación de los impactos a través del sistema, así como la presencia de efectos indirectos, acumulativos y sinérgicos.

En este sentido, la evaluación no se limita a la interacción puntual identificada en la matriz, sino que incorpora una visión sistémica del comportamiento del impacto, permitiendo determinar su relevancia ambiental en función de su capacidad de modificar procesos ecológicos, hidrológicos y geoquímicos del sistema.

- **0** = Sin interacción actual
- **1** = Interacción baja
- **2** = Interacción media
- **(+/-)** = carácter del impacto

En la matriz no se asigna el valor 3 (interacción alta). La valoración de cada relación se realiza de acuerdo con la escala cualitativa definida, atendiendo a la naturaleza de la actividad, el componente receptor, la extensión espacial y las medidas de manejo aplicables.

La matriz de identificación de interacciones causa–efecto se fundamenta en un sistema de valoración cualitativa–semicuantitativa que permite estimar la magnitud y el carácter de las interacciones entre las actividades del proyecto y los factores ambientales del Sistema Ambiental.

Este sistema se basa en una escala ordinal que refleja la intensidad de la interacción en términos de su capacidad para generar modificaciones en el componente ambiental evaluado, considerando el contexto de un proyecto en operación histórica.

El sistema de valoración empleado permite identificar de manera clara y consistente las interacciones relevantes, evitando la sobreestimación de impactos y facilitando su posterior caracterización y evaluación.

Este enfoque es congruente con los principios de la evaluación de impacto ambiental establecidos por la DGIRA, en los que se prioriza la identificación de interacciones significativas y la diferenciación entre impactos potenciales y condiciones ambientales existentes, particularmente en proyectos en operación.

Valor 0 = Sin interacción actual

Este valor se asigna cuando no existe relación directa ni indirecta entre la actividad del proyecto y el factor ambiental evaluado en las condiciones actuales de operación.

Desde el punto de vista técnico, implica que:

La actividad no genera presión sobre el componente ambiental
No existe mecanismo causal identificable
No se observa evidencia de afectación ni potencial de interacción
En el contexto del presente estudio, este valor se utiliza principalmente en:

Factores no intervenidos (p. ej., geomorfología, vegetación)
Etapas no vigentes (planeación y construcción)
Componentes cuya dinámica es independiente de las actividades del proyecto
Este criterio es fundamental para evitar la sobreestimación de impactos, permitiendo delimitar con claridad los elementos que realmente interactúan con el sistema.

Valor 1 = Interacción baja

Este valor corresponde a interacciones de baja magnitud, caracterizadas por generar efectos limitados, localizados y de baja intensidad sobre el componente ambiental. Técnicamente, una interacción baja presenta las siguientes características:

Su alcance espacial es puntual o local
No implica alteraciones estructurales del sistema
Es reversible en el corto plazo
Su manifestación depende de condiciones específicas (frecuencia, intensidad de uso)
Puede ser mitigada o controlada fácilmente
En el contexto del proyecto, este tipo de interacción se asocia principalmente a:

Presencia de visitantes
Tránsito en áreas delimitadas
Perturbaciones leves en fauna
Procesos de compactación superficial

Las interacciones de baja magnitud se valoran considerando su extensión, duración, reversibilidad y las medidas de manejo asociadas. La compatibilidad ambiental se interpreta de manera integrada y no se determina únicamente por la puntuación de una interacción.

Valor 2 = Interacción media

Este valor se asigna a interacciones que, sin ser estructuralmente significativas, presentan una mayor intensidad relativa debido a la sensibilidad del componente ambiental receptor o a la naturaleza de la interacción. Una interacción media se caracteriza por:

Involucrar componentes de alta sensibilidad ecológica
Tener efectos potencialmente persistentes a escala local
Requerir medidas específicas de manejo o control

Presentar menor capacidad de recuperación en caso de alteración

Este valor se asigna a interacciones que requieren atención específica por la sensibilidad del componente receptor o por la naturaleza de la relación evaluada. En el caso de los microbialitos, la magnitud media identifica la importancia de mantener las medidas de conservación y vigilancia; no significa que exista pisoteo ni que se esté produciendo un daño físico efectivo.

Su alta sensibilidad a perturbaciones físicas
Su baja capacidad de regeneración frente a daño directo
Su importancia ecológica dentro del sistema lagunar
La asignación de una interacción media no implica automáticamente un impacto significativo ni acredita por sí misma un daño. En componentes sensibles como los microbialitos, permite reconocer la prioridad de las medidas preventivas y de conservación, y valorar su contribución a mantener el uso ordenado del espacio.

Signo del impacto (+ / -)

El carácter del impacto se representa mediante un signo que indica la naturaleza de la interacción:

(+) Impacto positivo:

Corresponde a interacciones que generan beneficios o contribuciones favorables al sistema ambiental o socioeconómico, tales como la generación de empleo o el fortalecimiento de la economía local.

(-) Impacto negativo:

Indica interacciones que pueden generar efectos adversos sobre el sistema ambiental, como perturbaciones, alteraciones físicas o cambios en la calidad de los componentes.

(0) Impacto neutro o no significativo:

Se utiliza en casos donde la interacción no genera efectos apreciables o donde la magnitud es tan baja que no implica una alteración relevante.

La inclusión del signo permite complementar la valoración de magnitud, proporcionando una visión integral del tipo de interacción.

Criterios cruzados para la valoración de interacciones

Con el fin de sustentar la asignación de valores en la matriz de interacciones, se empleó un sistema de criterios cruzados que integra tres variables fundamentales:

Magnitud (intensidad del efecto)
Extensión (alcance espacial)
Reversibilidad (capacidad de recuperación del sistema)

Estos criterios permiten caracterizar de manera más robusta cada interacción y respaldar la asignación de los valores 0, 1 y 2 en la matriz.

Explicación técnica de los criterios

Magnitud

Se refiere al grado de alteración que la actividad puede generar sobre el componente ambiental. En este estudio, la magnitud se interpreta en función de la intensidad del efecto y su capacidad para modificar las condiciones del sistema.

Extensión

Define el alcance espacial del efecto, distinguiendo entre impactos puntuales (localizados en áreas específicas) y aquellos que pueden propagarse a mayor escala.En el proyecto, la mayoría de las interacciones son de carácter local, debido a la limitada superficie de intervención.

Reversibilidad

La reversibilidad se refiere a la posibilidad de que el componente recupere sus condiciones previas una vez que cesa la causa del impacto. Su valoración depende del tipo de componente y del mecanismo de afectación; no se presume una reversibilidad alta para todos los procesos superficiales ni por la sola presencia de un sustrato kárstico.

Tabla V-1. Criterios cruzados de magnitud, extensión y reversibilidad de interacciones ambientales

Valor asignado	Magnitud	Extensión	Reversibilidad	Interpretación
0	Nula	No aplica	No aplica	No existe interacción identificable entre la actividad y el factor ambiental
1	Baja	Puntual o local	Alta	Interacción leve, localizada y reversible, sin efectos estructurales sobre el sistema
2	Media	Local	Media a baja	Interacción relevante por la sensibilidad del receptor o persistencia del efecto, requiere control
3*	Alta	Regional o amplia	Baja o irreversible	No aplicable en el presente proyecto

Fundamentación de la construcción y análisis de la matriz de interacciones causa–efecto

La matriz de identificación de interacciones causa–efecto fue construida a partir de un enfoque sistemático que integra los principios metodológicos de la evaluación de impacto ambiental y las características específicas de un proyecto en operación histórica. Su elaboración se fundamenta en la adaptación del método de matrices de interacción tipo Leopold, ampliamente utilizado en estudios de impacto ambiental, el cual permite establecer relaciones directas entre las actividades del proyecto y los factores del sistema ambiental.

Definición de los elementos de la matriz

La estructura de la matriz se basa en la intersección de dos componentes fundamentales:

a) Actividades del proyecto

Las actividades se definieron a partir de la caracterización detallada del Capítulo II, agrupándose en categorías funcionales que representan las acciones reales del proyecto:

- Operación turística
- Operación de infraestructura
- Manejo ambiental
- Mantenimiento

Adicionalmente, se incluyeron las etapas de planeación y construcción únicamente con fines metodológicos, en cumplimiento de los lineamientos de la DGIRA, sin asignación de interacciones, al no constituir fases vigentes del proyecto.

b) Factores ambientales

Los factores ambientales fueron seleccionados a partir del diagnóstico integral del Capítulo IV, considerando:

- Su relevancia ecológica
- Su función dentro del sistema
- Su susceptibilidad a perturbaciones
- Su capacidad de reflejar cambios ambientales

Estos factores incluyen componentes del medio abiótico, biótico, perceptual y socioeconómico, así como elementos integradores como el ecosistema lagunar.

Criterios para la identificación de interacciones

La identificación de interacciones se realizó mediante el análisis de relaciones causa–efecto entre cada actividad y cada factor ambiental, considerando:

- La existencia de un mecanismo de interacción (directo o indirecto)
- La naturaleza de la relación (contacto, perturbación, aporte, control)
- La evidencia observable o potencial de interacción
- El contexto operativo actual del proyecto

Este análisis permitió discriminar entre:

- Interacciones reales
- Interacciones inexistentes
- Interacciones indirectas

Sistema de valoración

La asignación de valores en la matriz se fundamentó en un sistema de valoración cualitativa–semicuantitativa basado en tres criterios:

- Magnitud
- Extensión
- Reversibilidad

Estas unidades definen la estructura física del territorio, los flujos hídricos y de sedimentos y la configuración del paisaje. Su condición actual se considera en la evaluación de las interacciones del proyecto.

Criterios para la identificación de interacciones

La identificación de interacciones se realizó mediante el análisis de relaciones causa–efecto entre cada actividad y cada factor ambiental, considerando:

- La existencia de un mecanismo de interacción (directo o indirecto)
- La naturaleza de la relación (contacto, perturbación, aporte, control)
- La evidencia observable o potencial de interacción
- El contexto operativo actual del proyecto

Este análisis permitió discriminar entre:

- Interacciones reales
- Interacciones inexistentes
- Interacciones indirectas

Enfoque de regularización

Dado que el proyecto se encuentra en operación histórica, la construcción y análisis de la matriz se realizó bajo un enfoque de continuidad operativa, en el que:

- Las interacciones evaluadas corresponden a condiciones actuales
- Los impactos históricos se consideran integrados a la línea base
- No se evalúan etapas constructivas como procesos activos

Este enfoque permite evitar la sobreestimación de impactos y alinea el análisis con la condición real del sistema ambiental.

Análisis de la matriz

La matriz no se limita a una representación tabular, sino que constituye una herramienta de análisis que permite:

- Identificar componentes críticos
- Detectar patrones de interacción
- Diferenciar entre impactos relevantes y no significativos
- Establecer la base para la caracterización y evaluación de impactos

El análisis cruzado de la matriz permite integrar la información y entender el comportamiento del sistema como un todo.

La construcción de la matriz de interacciones se realizó mediante un proceso sistemático, consistente y basado en criterios técnicos, lo que permite asegurar que la identificación de impactos responde a las condiciones reales del proyecto y del sistema ambiental, evitando la sobreestimación o subestimación de sus efectos.

Agua

Tabla V-2. Evaluación de interacciones – Componente agua

Factor	Actividad	Magnitud	Extensión	Reversibilidad	Signo	Resultado
Calidad del agua	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Calidad del agua	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Calidad del agua	Operación turística	Baja	Local	Alta	(-)	1
Calidad del agua	Operación infraestructura	Baja	Puntual	Alta	(-)	1
Calidad del agua	Manejo ambiental	Baja	Local	No aplica	(+)	1
Calidad del agua	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Transparencia del agua	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0

Factor	Actividad	Magnitud	Extensión	Reversibilidad	Signo	Resultado
Transparencia del agua	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Transparencia del agua	Operación turística	Baja	Local	Alta	(-)	1
Transparencia del agua	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Transparencia del agua	Manejo ambiental	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Transparencia del agua	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Nutrientes	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Nutrientes	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Nutrientes	Operación turística	Baja	Local	Alta	(-)	1
Nutrientes	Operación infraestructura	Baja	Puntual	Alta	(-)	1
Nutrientes	Manejo ambiental	Baja	Local	No aplica	(+)	1
Nutrientes	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Dinámica hidrológica	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Dinámica hidrológica	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Dinámica hidrológica	Operación turística	Baja	Puntual	Alta	(-)	1
Dinámica hidrológica	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Dinámica hidrológica	Manejo ambiental	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Dinámica hidrológica	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Conectividad acuífera	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Conectividad acuífera	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0

Factor	Actividad	Magnitud	Extensión	Reversibilidad	Signo	Resultado
Conectividad acuífera	Operación turística	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Conectividad acuífera	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Conectividad acuífera	Manejo ambiental	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Conectividad acuífera	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Zonas de surgencia	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Zonas de surgencia	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Zonas de surgencia	Operación turística	Baja	Local	Alta	(-)	1
Zonas de surgencia	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Zonas de surgencia	Manejo ambiental	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Zonas de surgencia	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0

Suelo

Tabla V-3. Evaluación de interacciones – Componente suelo

Factor	Actividad	Magnitud	Extensión	Reversibilidad	Signo	Resultado
Estructura del suelo	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Estructura del suelo	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Estructura del suelo	Operación turística	Baja	Local	Alta	(-)	1
Estructura del suelo	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Estructura del suelo	Manejo ambiental	Baja	Local	Alta	(+)	1
Estructura del suelo	Mantenimiento	Baja	Puntual	Alta	(-)	1
Permeabilidad	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Permeabilidad	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Permeabilidad	Operación turística	Baja	Local	Alta	(-)	1

Factor	Actividad	Magnitud	Extensión	Reversibilidad	Signo	Resultado
Permeabilidad	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Permeabilidad	Manejo ambiental	Baja	Local	Alta	(+)	1
Permeabilidad	Mantenimiento	Baja	Puntual	Alta	(-)	1
Estabilidad superficial	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Estabilidad superficial	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Estabilidad superficial	Operación turística	Baja	Local	Alta	(-)	1
Estabilidad superficial	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Estabilidad superficial	Manejo ambiental	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Estabilidad superficial	Mantenimiento	Baja	Puntual	Alta	(-)	1
Retención de sedimentos	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Retención de sedimentos	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Retención de sedimentos	Operación turística	Baja	Local	Alta	(-)	1
Retención de sedimentos	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Retención de sedimentos	Manejo ambiental	Baja	Local	Alta	(+)	1
Retención de sedimentos	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0

Biótico

Tabla V-4. Evaluación de interacciones – Componente biótico

Factor	Actividad	Magnitud	Extensión	Reversibilidad	Signo	Resultado
Cobertura vegetal	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Cobertura vegetal	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Cobertura vegetal	Operación turística	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Cobertura vegetal	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Cobertura vegetal	Manejo ambiental	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Cobertura vegetal	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Fauna terrestre	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Fauna terrestre	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Fauna terrestre	Operación turística	Baja	Local	Alta	(-)	1
Fauna terrestre	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0

Factor	Actividad	Magnitud	Extensión	Reversibilidad	Signo	Resultado
Fauna terrestre	Manejo ambiental	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Fauna terrestre	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Fauna acuática	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Fauna acuática	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Fauna acuática	Operación turística	Baja	Local	Alta	(-)	1
Fauna acuática	Operación infraestructura	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Fauna acuática	Manejo ambiental	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Fauna acuática	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0

Microbialitos

Tabla V-5. Evaluación de interacciones – Componente microbialitos

Factor	Actividad	Magnitud	Extensión	Reversibilidad	Signo	Resultado
Integridad microbialitos	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Integridad microbialitos	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Integridad microbialitos	Operación turística	Media	Local	Media–baja	(-)	2
Integridad microbialitos	Operación infraestructura	Baja	Puntual	Alta	(-)	1
Integridad microbialitos	Manejo ambiental	Baja	Local	Alta	(+)	1
Integridad microbialitos	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Estado microbialitos	Planeación	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Estado microbialitos	Construcción	Nula	No aplica	No aplica	0	0
Estado microbialitos	Operación turística	Media	Local	Media–baja	(-)	2
Estado microbialitos	Operación infraestructura	Baja	Puntual	Alta	(-)	1
Estado microbialitos	Manejo ambiental	Baja	Local	Alta	(+)	1
Estado microbialitos	Mantenimiento	Nula	No aplica	No aplica	0	0

El estado trófico y los procesos biogeoquímicos se consideran dentro del análisis de calidad del agua, con base en los parámetros y antecedentes descritos en la caracterización ambiental.

Los microbialitos son el componente de mayor sensibilidad considerado en la matriz. La interacción de magnitud media asignada a la operación turística refleja la importancia ecológica de estas formaciones y la necesidad de mantener medidas específicas de protección. La valoración se interpreta junto con las condiciones actuales de manejo: tránsito ordenado, vigilancia, ausencia de pisoteo y corredor elevado en la periferia de las zonas sensibles.

Análisis integrado

La matriz muestra que predominan las interacciones de baja magnitud. La valoración media de los microbialitos reconoce su relevancia ecológica y la necesidad de mantener medidas de conservación; no debe interpretarse como evidencia de deterioro causado por la operación. La evaluación considera la delimitación del uso, la vigilancia y el corredor elevado como medidas que ordenan el tránsito y previenen el contacto directo con las formaciones.

En el medio abiótico, las interacciones se relacionan principalmente con la calidad del agua, la transparencia, los nutrientes y las condiciones superficiales del suelo. En el medio biótico, la evaluación reconoce la importancia de conservar los microbialitos y considera las acciones de manejo implementadas para mantener las formaciones fuera de las áreas de tránsito de visitantes.

En el componente socioeconómico, predominan las interacciones positivas, asociadas a la generación de empleo y la dinámica económica local.

La identificación de impactos ambientales se realiza mediante el análisis de las interacciones entre los componentes del proyecto y los factores ambientales previamente definidos. Este ejercicio permite establecer relaciones causa–efecto que explican cómo las acciones del proyecto pueden generar modificaciones en el ambiente.

Las interacciones de mayor atención se relacionan con la operación recreativa en el entorno lagunar y con la sensibilidad de los microbialitos. En las condiciones actuales, el ordenamiento del tránsito, la vigilancia y el corredor elevado contribuyen a prevenir el pisoteo y el contacto directo con las formaciones. Por ello, la evaluación diferencia la sensibilidad intrínseca del componente de la condición operativa observada y de las medidas de conservación existentes.

En el componente agua, las interacciones potenciales se relacionan con el uso recreativo, la generación de residuos y el manejo de aguas residuales. La evaluación considera los sistemas de tratamiento, el manejo de residuos y las prácticas de operación descritas en el Capítulo II como medidas orientadas a prevenir y reducir aportes al sistema lagunar.

Las actividades de mantenimiento y operación de infraestructura pueden generar interacciones localizadas con el suelo, principalmente por el tránsito y el uso de áreas específicas. Su valoración considera la superficie involucrada, la intensidad de uso y las medidas de delimitación y conservación.

En el ámbito biótico, la presencia humana puede generar respuestas conductuales de la fauna. La matriz incorpora esta interacción como baja y localizada, diferenciándola de afectaciones de mayor alcance sobre el hábitat.

Desde el punto de vista perceptual, la infraestructura existente se analiza en función de su integración visual con el entorno y de su contribución a la organización del uso del espacio.

En el ámbito socioeconómico, las interacciones positivas se relacionan con el empleo y la demanda de bienes y servicios vinculados con la operación turística, en el contexto de la dinámica económica local.

En conjunto, la matriz identifica las interacciones que requieren caracterización y evaluación, con especial atención a los componentes sensibles y a las medidas de manejo que modifican las rutas de generación de impactos.

Tabla V-6. Matriz de interaccionesFactores ambientales / Actividades predio Los Rápidos

Actividad → / Factor ambiental ↓	Planeación*	Construcción*	Operación turística	Operación infraestructura	Manejo ambiental	Mantenimiento	Numero de interacciones
Calidad del agua	0	0	1 (-)	1 (-)	1 (+)	0	3
Transparencia del agua	0	0	1 (-)	0	0	0	1
Concentración de nutrientes	0	0	1 (-)	1 (-)	1 (+)	0	3
Dinámica hidrológica	0	0	1 (-)	0	0	0	1
Conectividad acuífera	0	0	0	0	0	0	0
Zonas de surgencia	0	0	1 (-)	0	0	0	1
Estructura del suelo kárstico	0	0	1 (-)	0	1 (+)	1 (-)	3
Permeabilidad e infiltración	0	0	1 (-)	0	1 (+)	1 (-)	3
Estabilidad superficial	0	0	1 (-)	0	0	1 (-)	2
Retención de sedimentos	0	0	1 (-)	0	1 (+)	0	2
Geomorfología	0	0	0	0	0	0	0
Vegetación	0	0	0	0	0	0	0
Fauna terrestre	0	0	1 (-)	0	0	0	1
Fauna acuática	0	0	1 (-)	0	0	0	1
Microbialitos (integridad)	0	0	2 (-)	1 (-)	1 (+)	0	4
Microbialitos (estado de conservación)	0	0	2 (-)	1 (-)	1 (+)	0	4
Ecosistema lagunar	0	0	1 (-)	1 (-)	1 (+)	0	3
Paisaje (calidad e integridad)	0	0	0	0	0	0	0
Dinámica económica	0	0	2 (+)	2 (+)	1 (+)	1 (+)	6
Empleo	0	0	2 (+)	2 (+)	1 (+)	1 (+)	6
Uso del territorio	0	0	1 (0)	1 (0)	0	0	2
Tejido social	0	0	1 (+)	1 (+)	0	0	2
Vulnerabilidad social	0	0	1 (0)	0	0	0	1

Las etapas de planeación y construcción se muestran con fines de organización metodológica y como referencia a los antecedentes del proyecto. Los valores cero asignados en esas columnas significan que dichas etapas no corresponden a actividades vigentes en el escenario operativo evaluado; no constituyen, por sí mismos, una valoración de los efectos históricos de cada obra. Las interacciones actuales se evalúan en las columnas de operación, manejo ambiental y mantenimiento.

Las etapas históricas se incorporan como antecedentes de la configuración actual del sitio. La evaluación se centra en las interacciones que permanecen durante la operación y el mantenimiento, sin perder de vista la relación entre dichas actividades, las condiciones existentes y las medidas de manejo ambiental.

Análisis mediante redes de relación causa–efecto

Con el fin de complementar la identificación de interacciones, se desarrollaron redes de relación causa–efecto que permiten representar las cadenas de interacción entre las actividades del proyecto y los componentes del sistema ambiental. Estas redes facilitan la comprensión de los

efectos directos, indirectos y acumulativos, así como la interconexión entre distintos componentes del sistema.

En el análisis de redes causa–efecto se incorporaron las medidas operativas y de manejo ambiental descritas en el Capítulo II, con el fin de identificar los puntos en los que las cadenas de impacto son interrumpidas, reducidas o controladas.

Esta integración permite:

- Evaluar el efecto real del proyecto bajo condiciones de operación
- Identificar impactos residuales en lugar de impactos potenciales sin control
- Relacionar la respuesta del sistema ambiental (Capítulo IV) con las medidas implementadas

Criterios para la selección de actividades en el análisis de redes causa–efecto

La selección de las actividades consideradas en el análisis mediante redes de relación causa–efecto se realizó de manera sistemática a partir de los resultados obtenidos en la matriz de interacción tipo Leopold modificada. En este sentido, las redes no representan la totalidad de las interacciones identificadas, sino aquellas que, por sus características, permiten explicar de manera más clara la dinámica de propagación de efectos dentro del sistema ambiental.

Selección basada en la matriz de interacciones
Las actividades incluidas en las redes fueron aquellas que presentaron:

- Interacciones con valores 1 (baja) o 2 (media) en la matriz
- Relación directa con componentes ambientales sensibles
- Capacidad de generar cadenas de efectos (directos e indirectos)

¿Por qué usar estos criterios?

Interacciones con valores 1 (baja) o 2 (media) en la matriz
Este criterio se basa en que la matriz de interacción constituye el instrumento primario de identificación de impactos, en el cual se establecen las relaciones causa - efecto entre las actividades del proyecto y los factores ambientales.

Las interacciones con valores 1 y 2 representan la existencia comprobada de un mecanismo de interacción, la posibilidad de generar modificaciones, aunque sean de baja o media magnitud y la base para el desarrollo de efectos secundarios o encadenados.

Por el contrario, las interacciones con valor 0 corresponden a la ausencia de relación causal, por lo que no generan procesos susceptibles de representarse en una red.

Justificación técnica

Las redes causa -efecto requieren un punto de partida real; por lo tanto, solo pueden construirse a partir de interacciones identificadas como existentes en la matriz.

Relación directa con componentes ambientales sensibles
Este criterio responde al principio de relevancia ambiental, ampliamente utilizado en la evaluación de impacto ambiental, el cual establece que el análisis debe priorizar aquellos componentes que:

- Presentan mayor fragilidad ecológica
- Tienen menor capacidad de recuperación
- Cumplen funciones clave dentro del sistema

En el caso del sistema en estudio, destacan:

- Microbialitos
- Calidad del agua
- Ecosistema lagunar

Justificación técnica:
Una interacción de baja magnitud puede adquirir mayor relevancia si el receptor es altamente sensible; por ello, es necesario analizar en detalle las cadenas de impacto asociadas a estos componentes.

Capacidad de generar cadenas de efectos (directos e indirectos)

No todas las interacciones ambientales tienen la capacidad de propagarse dentro del sistema. Este criterio se basa en la identificación de procesos que presentan:

- Secuencialidad causal (un efecto conduce a otro)
- Interconexión entre componentes ambientales
- Potencial de generar efectos secundarios o acumulativos

Por ejemplo: El tránsito de visitantes → sedimentos → microbialitos → función ecológica

Justificación técnica:
Las redes causa–efecto están diseñadas precisamente para representar este tipo de procesos encadenados; por lo tanto, su aplicación se limita a aquellas interacciones que presentan esta característica.

Integración de los criterios

Los tres criterios utilizados no son independientes, sino complementarios, y permiten asegurar que las redes desarrolladas parten de interacciones reales (matriz), se enfocan en componentes relevantes (sensibilidad) y representan procesos dinámicos del sistema (encadenamiento)

La aplicación conjunta de estos criterios permite garantizar que las redes causa . efecto se construyan sobre bases técnicas sólidas, enfocándose en aquellas interacciones que presentan relevancia ambiental y capacidad de propagación dentro del sistema, evitando la inclusión de relaciones irrelevantes o no significativas. Particularmente, se priorizaron aquellas interacciones asociadas a Operación turística, operación de infraestructura y manejo ambiental, dado que estas concentran la mayor parte de las interacciones identificadas.

Selección por relevancia ambiental del receptor

Se incorporaron en las redes aquellas actividades que interactúan con componentes de alta sensibilidad ecológica, tales como:

- Microbialitos
- Sistema lagunar
- Calidad del agua

Esto permite analizar con mayor profundidad los posibles efectos sobre los elementos más vulnerables del sistema.

Selección por capacidad de generar efectos encadenados

No todas las interacciones identificadas en la matriz generan cadenas de impacto. Por ello, se seleccionaron aquellas en las que existe:

- Un mecanismo claro de propagación
- La posibilidad de efectos secundarios

- Interacción entre múltiples componentes ambientales

Ejemplo: Tránsito de visitantes → sedimentos → microbialitos → función ecológica

Inclusión de procesos de control (medidas)

Adicionalmente, se seleccionaron actividades en las que es posible evidenciar la intervención de medidas de manejo, con el fin de analizar cómo estas interrumpen o modifican las cadenas de impacto. Esto incluye:

- Tratamiento de aguas residuales
- Manejo de residuos sólidos
- Control de acceso y visitantes

Consideración de procesos acumulativos

Se incluyó una red específica para analizar los efectos acumulativos a escala regional, permitiendo diferenciar entre Impactos atribuibles directamente al proyecto, procesos derivados del desarrollo turístico regional. La selección de actividades para el desarrollo de las redes causa–efecto se realizó con base en criterios técnicos derivados de la matriz de interacción, priorizando aquellas con mayor relevancia ambiental y capacidad de generar efectos encadenados, lo que permite una representación más precisa de la dinámica de impactos del proyecto.

Las redes causa–efecto representan las principales rutas de interacción identificadas y permiten diferenciar los efectos potenciales de los efectos residuales, considerando la función de las medidas de manejo y el alcance espacial de cada proceso.

El análisis evidencia que:

- Las interacciones se originan principalmente en la operación turística
- Los efectos se propagan de manera limitada y localizada
- Las redes causa–efecto representan las rutas de interacción identificadas y permiten diferenciar los efectos locales de los procesos de escala regional.
- Existen procesos de control que interrumpen o mitigan dichas cadenas

Los efectos de mayor relevancia se relacionan con la sensibilidad de los microbialitos frente al contacto físico y a la resuspensión de sedimentos. Su evaluación considera el alcance espacial de las interacciones y las medidas de ordenamiento del tránsito, incluida la presencia del corredor elevado en la periferia de las zonas sensibles.

El análisis de redes causa–efecto permite caracterizar las interacciones identificadas, distinguir su alcance espacial y valorar la función de las medidas de manejo en la prevención y reducción de efectos durante la operación.

Tipología de redes causa–efecto identificadas

Con base en el análisis de las interacciones derivadas de la matriz tipo Leopold y su representación mediante redes causa–efecto, se identificaron distintos tipos de redes, clasificadas en función de la naturaleza de los procesos involucrados, el tipo de componente ambiental afectado y la dinámica de propagación de los efectos.

La denominación de cada tipo de red no responde a una categoría predefinida en la normatividad, sino a una clasificación analítica construida a partir de las características observadas en las cadenas de interacción del sistema ambiental.

Red crítica
Corresponde a aquellas redes en las que se identifican interacciones con componentes ambientales altamente sensibles o de relevancia ecológica significativa, en las cuales la perturbación, aun siendo localizada, puede tener implicaciones importantes debido a la fragilidad del receptor.

Estas redes se caracterizan por involucrar elementos de alta sensibilidad ecológica, presentar interacciones directas y tener menor capacidad de recuperación relativa.

Criterio de denominación:Se denomina “crítica” no por la magnitud del impacto, sino por la sensibilidad del componente afectado.

Red hidrológica
Incluye aquellas redes en las que los efectos se propagan a través de procesos físicos relacionados con el agua, tales como flujo, infiltración, transporte de sedimentos o dispersión de sustancias.

Se caracterizan por estar mediadas por procesos hidrológicos, involucrar componentes abióticos (agua, suelo) y presentar mecanismos de atenuación natural (dilución, dispersión, infiltración)

Criterio de denominación: Se asigna el término “hidrológica” cuando el agua actúa como medio de transmisión del impacto.

Red positiva
Corresponde a redes en las que la secuencia de efectos genera resultados favorables para el sistema ambiental, generalmente asociados a la implementación de medidas de manejo o control. Se caracterizan por reducir o prevenir impactos, interrumpir cadenas de efectos negativos y contribuir a la conservación del sistema

Criterio de denominación: Se denomina “positiva” cuando el resultado final de la cadena implica una mejora o protección del sistema ambiental.

Red socioeconómica (positiva)
Agrupa aquellas redes en las que los efectos se manifiestan en el ámbito social y económico, generando beneficios como empleo, derrama económica o fortalecimiento de actividades locales.

Se caracterizan por estar asociadas a la dinámica turística, generar efectos positivos directos e indirectos y tener alcance local o regional

Criterio de denominación: Se clasifica como socioeconómica cuando el impacto recae en el sistema social o económico, y positiva cuando genera beneficios.

Red acumulativa
Corresponde a aquellas redes en las que los efectos no se generan exclusivamente por el proyecto, sino por la interacción de múltiples actividades o presiones a escala regional. Se caracterizan por involucrar procesos de acumulación de impactos, tener origen multifactorial y escalar más allá del ámbito local

Criterio de denominación: Se denomina “acumulativa” cuando la cadena de efectos refleja la suma de múltiples contribuciones, y no un impacto atribuible de manera directa a una sola actividad.

La clasificación de las redes causa–efecto en tipologías permite estructurar el análisis desde una perspectiva funcional, diferenciando entre procesos críticos, hidrológicos, positivos, socioeconómicos y acumulativos, lo cual facilita la interpretación de la dinámica de impactos y su relevancia dentro del sistema ambiental.

Análisis

Red de conservación y manejo: uso turístico ordenado → protección de microbialitos

Operación turística

→ Uso recreativo en áreas delimitadas, con tránsito ordenado y vigilancia

Medida estructural
Corredor elevado y delimitación de zonas sensibles
→ Canalización del tránsito de visitantes por las áreas habilitadas
→ Prevención del pisoteo y reducción del contacto directo con las formaciones
→ Contribución a la protección del sustrato y a la reducción de presiones físicas

Condición de conservación

→ Se mantiene el tránsito fuera de las formaciones; la vigilancia refuerza el cumplimiento de las áreas de uso

Respuesta del sistema
→ Dispersión y estabilidad del sistema lagunar

Resultado
Resultado: medida de conservación activa, con uso ordenado y protección localizada de los microbialitos

Descripción técnica de la medida
Corredor elevado de protección de microbialitos

Como parte de las acciones de manejo implementadas en el proyecto, se cuenta con un corredor elevado ubicado en la periferia de las zonas con presencia de microbialitos. Esta estructura canaliza el tránsito de visitantes por un recorrido definido y ayuda a mantenerlos fuera de las formaciones. De acuerdo con las condiciones operativas descritas, no hay pisoteo de los microbialitos y se mantiene vigilancia para regular el uso de las áreas sensibles. Estas acciones forman parte del manejo orientado a conservar las formaciones y evitar su deterioro físico.

Función ambiental

El corredor cumple una función de protección al:

- Canalizar el tránsito por el recorrido habilitado y mantener a los visitantes fuera de las zonas con microbialitos
- Prevenir el pisoteo y reducir la posibilidad de contacto físico con las formaciones
- Contribuir a conservar la integridad superficial y limitar presiones físicas asociadas al uso recreativo

Mecanismo de mitigación

La medida actúa sobre la organización espacial del uso recreativo: define por dónde circulan los visitantes, evita su paso sobre las formaciones y facilita la vigilancia de las áreas sensibles.

- Mantener la circulación por el corredor y las áreas habilitadas
- Evitar el tránsito sobre los atolones microbianos
- Favorecer el ordenamiento del uso y la conservación de las formaciones

Efecto sobre la red de impacto
La presencia del corredor, junto con la delimitación y vigilancia, ordena la circulación, previene el pisoteo y contribuye a conservar las formaciones microbianas. Su función se interpreta como una medida activa de manejo y prevención, no como evidencia de que exista un daño residual.

La incorporación del corredor elevado modifica favorablemente la relación entre el uso turístico y las zonas con microbialitos: canaliza la circulación, mantiene a los visitantes fuera de las formaciones y facilita la supervisión del uso. Estas medidas contribuyen a prevenir el contacto físico y a conservar la integridad de los atolones microbianos.

La medida actúa de forma preventiva sobre la ruta potencial de interacción, evitando que el tránsito de visitantes se desplace hacia las formaciones y reduciendo la posibilidad de presiones físicas asociadas al uso recreativo.

Lectura técnica

- Interacción potencial identificada por la sensibilidad del componente: Media
- Condición operativa con medidas de conservación: tránsito ordenado, sin pisoteo y con vigilancia
- Alcance de la medida: zonas delimitadas en torno a las formaciones
- Función: prevención y conservación de la integridad física
- Tipo: interacción gestionada mediante infraestructura y vigilancia

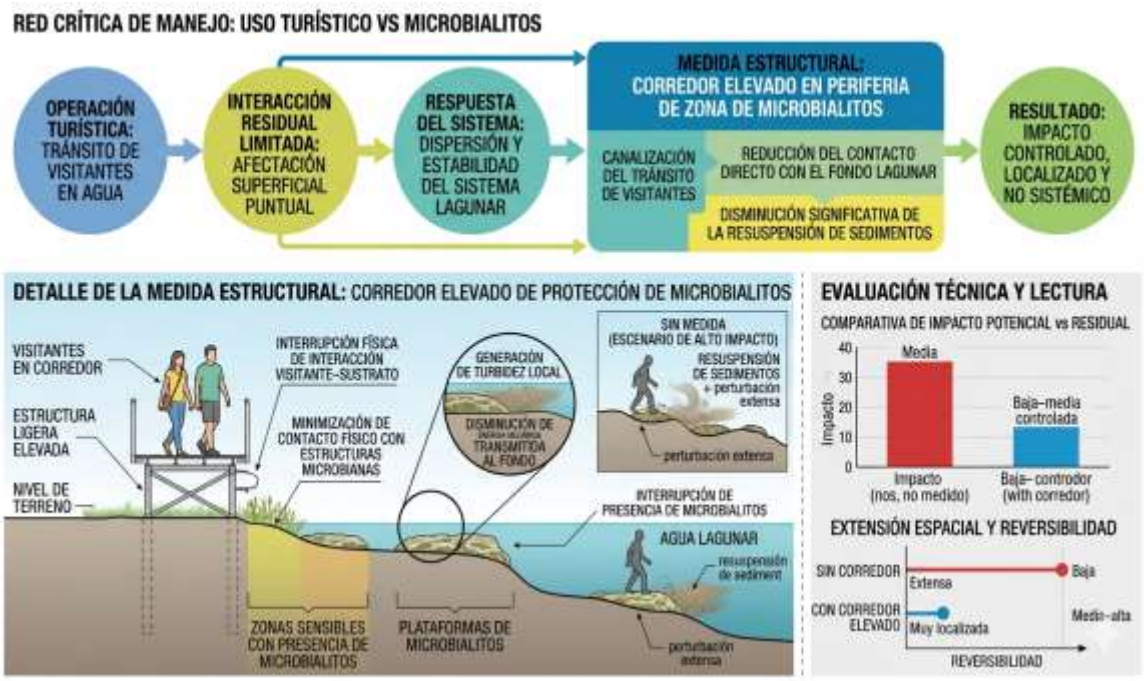


Ilustración V-1. Red crítica de manejo: uso turístico y microbialitos. Elaboración propia a partir del análisis de redes causa–efecto del presente capítulo.

El corredor elevado constituye una medida de conservación y manejo físico que ordena el tránsito en la periferia de las zonas sensibles. En combinación con la delimitación de áreas y la vigilancia, mantiene a los visitantes fuera de las formaciones, previene el pisoteo y favorece la conservación de los microbialitos. La evaluación reconoce esta función positiva en la condición actual de operación.

Red hidrológica–calidad de agua (con control y autorregulación)

Operación turística
→ Presencia de visitantes en el sistema lagunar
→ Aporte difuso de materia orgánica (contacto corporal, remoción de sedimentos)
→ Incremento puntual de nutrientes

Alteración potencial

Disminución local de transparencia

→ Modificación temporal de condiciones fisicoquímicas

Nodos de control

- Sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR)
- Manejo integral de residuos sólidos
- Prohibición / control de descargas directas
- Regulación de visitantes
- Uso de infraestructura (corredores, zonas delimitadas)

→ Reducción de aportes externos de nutrientes
→ Control de fuentes puntuales de contaminación

Procesos de autorregulación

- Flujo continuo del canal (dinámica hidrológica)
- Dilución y dispersión de sustancias
- Sedimentación natural de partículas
- Interacción acuífero–laguna

→ Atenuación del efecto inicial

Impacto residual

Alteración fisicoquímica leve, temporal y localizada

Resultado final

Recuperación natural del sistema
→ Control de aportes potenciales al sistema lagunar

Análisis técnico integrado

La red hidrológica asociada a la calidad del agua representa las rutas potenciales de interacción entre la presencia de visitantes, el uso recreativo, la materia orgánica y la resuspensión de sedimentos finos.

En determinadas condiciones, estas interacciones pueden asociarse con variaciones localizadas de transparencia y de parámetros fisicoquímicos. Por ello, la matriz considera la calidad del agua, la transparencia y la concentración de nutrientes como factores receptores diferenciados.

Las condiciones operativas descritas en el Capítulo II incluyen el tratamiento de aguas residuales, el manejo de residuos y el control de las actividades de uso. Estas medidas están orientadas a prevenir descargas inadecuadas y reducir las fuentes potenciales de aporte al sistema lagunar.

La dinámica hidrológica del canal forma parte del contexto ambiental descrito en el Capítulo IV y se considera al interpretar la posible distribución espacial de las interacciones. No se utiliza de manera aislada como sustituto de las medidas preventivas del proyecto.

La evaluación integra las medidas operativas con la dinámica del sistema, para caracterizar las interacciones residuales en función de su naturaleza, alcance espacial, duración y reversibilidad.

En conjunto, la red identifica un impacto potencial indirecto sobre la calidad del agua y establece la relación entre las actividades, las medidas de manejo y el alcance espacial esperado de la interacción residual.

Lectura técnica

- Tipo de impacto: Indirecto (fisicoquímico)
- Origen: Difuso
- Magnitud potencial: Baja
- Magnitud residual: Baja controlada
- Extensión: Local
- Reversibilidad: Alta
- Duración: Temporal
- Carácter: Negativo no significativo
- Escalabilidad: No acumulativo por sí mismo

La interacción entre la operación turística y la calidad del agua se analiza considerando las medidas de manejo de aguas residuales y residuos, así como los parámetros de calidad del agua descritos en el Capítulo IV. La conclusión sobre el estado trófico debe sustentarse en los resultados específicos de la caracterización y no únicamente en la existencia de medidas de control.

Red positiva: manejo ambiental

Estructura de la red
Manejo ambiental (Cap. II)
→ Tratamiento de aguas residuales (PTAR)
→ Manejo integral de residuos sólidos
→ Control de descargas y almacenamiento de insumos
Reducción de fuentes de contaminación
→ Disminución de carga orgánica y de nutrientes
→ Prevención de aportes directos al sistema lagunar
Interacción con el sistema

- Flujo hidrodinámico del canal
- Dilución y dispersión natural
- Sedimentación de partículas

Efecto ambiental
→ Mantenimiento de la calidad del agua
→ Prevención de aportes contaminantes al sistema lagunar
Resultado final
→ Protección del ecosistema lagunar
→ Refuerzo de la resiliencia del sistema
Análisis técnico integrado
La red positiva asociada al manejo ambiental describe una cadena de efectos en la que las acciones operativas del proyecto actúan directamente sobre las fuentes potenciales de contaminación.

El tratamiento de aguas residuales y el manejo de residuos sólidos constituyen medidas de prevención y control de fuentes potenciales de contaminación. Su función en la evaluación consiste

en reducir la probabilidad de aportes inadecuados al sistema lagunar y debe interpretarse junto con las condiciones operativas descritas en el Capítulo II.

La dinámica hidrológica del sistema se incorpora como parte del contexto ambiental, mientras que la prevención y el control de fuentes potenciales se atribuyen a las medidas operativas del proyecto.

La red representa el efecto preventivo del manejo ambiental al ordenar la operación y reducir las vías potenciales de interacción con el sistema lagunar.

Lectura técnica

- Tipo de impacto: Preventivo / positivo
- Origen: Operativo (medidas de manejo)
- Magnitud: Baja–media positiva (por eficacia en control)
- Extensión: Local con efecto funcional en el sistema
- Reversibilidad: No aplica (acción continua de control)
- Duración: Permanente durante la operación
- Carácter: Positivo
- Función: Interrupción de cadenas de impacto

Las acciones de manejo ambiental implementadas en el proyecto funcionan como mecanismos de prevención y control: ordenan el tránsito, mantienen las áreas sensibles fuera de las rutas de paso, refuerzan la vigilancia y gestionan las aguas residuales y los residuos. En conjunto, estas medidas contribuyen a reducir presiones evitables sobre el entorno y a conservar las condiciones ambientales del sitio.

Red: Suelo – hidrología

Estructura de la red (integrada)

Operación turística

→ Tránsito en zonas de ribera
→ Compactación superficial del suelo

Alteración potencial

→ Modificación puntual de la infiltración
→ Alteración local del escurrimiento superficial

Nodos de control

- Uso de senderos definidos
- Corredores elevados en zonas sensibles
- Delimitación de áreas de acceso
- Regulación del tránsito de visitantes

→ Restricción espacial del disturbio

→ Reducción de la presión sobre el suelo

Procesos del sistema

• Alta permeabilidad del sustrato kárstico
• Infiltración vertical dominante
• Reacomodo natural de partículas

Impacto residual

→ Compactación superficial localizada y temporal

Resultado final
→ Recuperación de condiciones de infiltración
→ No afectación del sistema hidrológico profundo

Análisis técnico integrado
La red suelo–hidrología identifica las vías potenciales de interacción física asociadas al tránsito en zonas ribereñas. En la operación actual, el uso de senderos definidos, la delimitación de accesos, los corredores elevados y la regulación del tránsito ordenan espacialmente las actividades y limitan la presión sobre las superficies sensibles. La valoración considera estas medidas y no supone que toda interacción potencial se traduzca en una alteración efectiva del suelo.

Las características del sistema kárstico descritas en el Capítulo IV se consideran como parte del contexto hidrológico. La valoración del componente suelo se apoya principalmente en el ordenamiento del tránsito y en la localización de las áreas de uso, sin atribuir a la permeabilidad por sí sola un efecto protector.

En conjunto, las medidas operativas permiten mantener las interacciones del tránsito dentro de áreas definidas y prevenir su extensión a zonas sensibles. La valoración residual se refiere a las áreas de uso y a las vías potenciales identificadas, sin extrapolarlas a todo el sistema kárstico.

Lectura técnica

- Tipo de impacto: Directo (físico superficial)
- Magnitud potencial: Baja
- Magnitud residual: Baja controlada
- Extensión: Puntual
- Reversibilidad: Alta
- Duración: Temporal
- Carácter: Negativo no significativo
- Escalabilidad: No afecta sistema kárstico profundo

Las interacciones identificadas en el componente suelo se relacionan principalmente con procesos superficiales de compactación en áreas de tránsito. Su valoración considera la delimitación del uso, la superficie involucrada y la relación con la infiltración propia del sistema kárstico, sin asumir que la permeabilidad por sí misma elimina la posibilidad de transferencia de sustancias.

Red socioeconómica (positiva)

Estructura de la red (integrada)

Operación turística

→ Llegada de visitantes
→ Demanda de bienes y servicios locales

Mecanismos operativos

- Contratación de personal local
- Vinculación con proveedores y servicios de la región
- Organización de servicios turísticos (acceso, guiado, consumo)

→ Canalización del gasto hacia la economía local

Efectos directos

→ Generación de empleo directo (operación del sitio)
→ Generación de empleo indirecto (servicios asociados)

Efectos secundarios

→ Incremento en ingresos locales
→ Dinamización de actividades económicas complementarias

Contexto territorial

• Sistema regional con vocación turística consolidada
• Integración con la oferta turística de la zona

Resultado final

→ Dinamización económica local
→ Fortalecimiento de actividades productivas vinculadas al turismo

Análisis técnico integrado
La red socioeconómica asociada a la operación turística describe una cadena de efectos positivos derivados de la afluencia de visitantes al sitio.

El proceso inicia con la llegada de usuarios, lo que genera una demanda directa de bienes y servicios. A partir de la organización operativa del proyecto (Cap. II), esta demanda se canaliza mediante la contratación de personal y la utilización de servicios locales, favoreciendo la distribución de beneficios económicos en la zona.

Como consecuencia, se generan empleos directos asociados a la operación del proyecto, así como empleos indirectos vinculados a actividades complementarias, lo que contribuye al incremento de ingresos y a la dinamización económica local.

El análisis del contexto territorial (Cap. IV) indica que estas dinámicas se insertan en un sistema regional con vocación turística consolidada, por lo que los efectos positivos no implican una transformación estructural del territorio, sino la continuidad y fortalecimiento de procesos económicos ya existentes.

La red socioeconómica identifica efectos positivos directos e indirectos asociados al empleo y a la demanda de bienes y servicios locales. Estos beneficios se analizan en el contexto de la actividad turística regional y se distinguen de los efectos físicos sobre los componentes naturales.

Lectura técnica

- Tipo de impacto: Directo e indirecto (económico–social)
- Magnitud: Media positiva
- Extensión: Local–regional
- Reversibilidad: No aplica (beneficio mientras opera el proyecto)
- Duración: Continua durante la operación
- Carácter: Positivo
- Escalabilidad: Compatible con la dinámica regional existente

La operación turística genera efectos positivos en el ámbito socioeconómico al sostener empleo y demanda de bienes y servicios. Estos efectos se desarrollan en una dinámica regional preexistente y se evalúan por separado de las interacciones físicas con el sistema ambiental.

Red acumulativa

Estructura de la red
Desarrollo turístico regional (múltiples proyectos)
→ Incremento sostenido de visitantes
→ Aumento de la presión sobre el sistema lagunar

Procesos acumulativos potenciales

→ Aportes difusos de materia orgánica y nutrientes
→ Incremento de turbidez y cambios fisicoquímicos

Riesgo regional

→ Tendencia a enriquecimiento trófico
→ Posible transición hacia condiciones mesotróficas

Nodo de diferenciación: proyecto evaluado

(Operación turística bajo control)

Medidas y condiciones operativas

- Control de capacidad de carga (número de visitantes)
- Corredores elevados y delimitación de zonas sensibles
- Sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR)
- Manejo integral de residuos sólidos
- Vigilancia y regulación del uso

→ Reducción de aportes y de contacto directo

→ Interrupción de rutas críticas de impacto

Procesos del sistema

- Flujo hidrodinámico del canal (dispersión/dilución)
- Sedimentación natural de partículas
- Conectividad acuífero–laguna
- Heterogeneidad espacial (zonas de uso vs. conservación)

→ Atenuación de efectos y recuperación

Impacto residual del proyecto
→ Contribución del proyecto evaluada en función de sus actividades y medidas de manejo
→ Efectos locales valorados por separado de los procesos acumulativos regionales
→ Sin capacidad de detonar cambios tróficos
Resultado final
→ Los procesos acumulativos identificados son de origen regional
→ El proyecto no es el detonante ni genera el proceso por sí mismo

→ La evaluación distingue las interacciones locales del proyecto de los procesos acumulativos de escala regional.

Análisis técnico integrado
La red acumulativa describe procesos potenciales asociados a la interacción de diversas actividades turísticas y presiones regionales, entre ellas aportes de materia orgánica y nutrientes y posibles variaciones en la transparencia y en los parámetros fisicoquímicos del agua.

La evaluación diferencia los procesos regionales de la contribución específica del proyecto. Las medidas de manejo descritas en el Capítulo II —tratamiento de aguas residuales, gestión de residuos, ordenamiento del tránsito y control del uso— se consideran en la valoración de las vías potenciales de interacción atribuibles a la operación del sitio.

La dinámica hidrológica descrita en el Capítulo IV constituye un factor del contexto ambiental que puede influir en el transporte y distribución de sustancias. La evaluación no la utiliza como única base para descartar procesos de acumulación, sino como parte de la interpretación de las interacciones potenciales.

En consecuencia, el análisis distingue entre los procesos acumulativos de escala regional y las interacciones directamente asociadas a la operación del proyecto, atendiendo a sus mecanismos, alcance y medidas de manejo.

Los microbialitos se mantienen como componente prioritario de conservación por su sensibilidad ecológica. La operación incorpora medidas de manejo espacial —corredor elevado, delimitación y vigilancia— que ordenan el tránsito y mantienen a los visitantes fuera de las formaciones. En las condiciones descritas no hay pisoteo; estas acciones se consideran parte central de la conservación de los atolones microbianos.

Lectura técnica

- Tipo de impacto: Indirecto, acumulativo (escala regional)
- Atribución: Multicausal (no atribuible a un solo proyecto)
- Contribución del proyecto: Marginal
- Magnitud potencial regional: Media
- Magnitud atribuible al proyecto: Baja controlada
- Extensión: Regional (proceso) / Local (proyecto)
- Reversibilidad: Media–alta (por dinámica del sistema)
- Carácter: Negativo regional / No significativo a nivel de proyecto
- Escalabilidad: El proyecto no escala el proceso

Los procesos acumulativos asociados al desarrollo turístico regional son de naturaleza multicausal. La contribución atribuible al proyecto se analiza en función de sus actividades y medidas operativas, que incluyen el ordenamiento del tránsito, la vigilancia, el tratamiento de aguas residuales y el manejo de residuos. Esta diferenciación permite valorar el proyecto por sus condiciones y acciones específicas, sin atribuirle automáticamente procesos regionales.

El análisis integrado de las redes causa–efecto permite caracterizar las interacciones actuales y reconocer tanto las medidas preventivas como las acciones de conservación implementadas. La evaluación distingue las presiones potenciales de las condiciones operativas observadas y considera el papel del manejo ambiental en la prevención de impactos y en la conservación de los componentes sensibles.

Conclusiones

Con base en la identificación, caracterización y análisis de interacciones causa–efecto desarrollados en los apartados anteriores, se presenta la siguiente discusión técnica orientada a determinar la relevancia de los impactos del proyecto y su compatibilidad con la integridad funcional del sistema ambiental.

Identificación de impactos relevantes o significativos
La matriz y las redes causa–efecto muestran que predominan interacciones de baja magnitud y alcance localizado. La valoración media asignada a los microbialitos responde a la sensibilidad ecológica del componente y a la prioridad de conservarlo; no equivale a afirmar que la operación esté destruyendo las formaciones. La lectura integrada incorpora las medidas de protección y las condiciones actuales de uso ordenado.

- Impactos de baja magnitud
- Alcance local o puntual
- Alta reversibilidad
- Sin capacidad de propagación sistémica

No obstante, se identifica un componente ambiental con mayor nivel de sensibilidad:

Microbialitos

Microbialitos. Estas formaciones constituyen un componente prioritario de conservación por su función ecológica y sensibilidad física. La operación contempla medidas específicas para mantener a los visitantes fuera de las formaciones, entre ellas el corredor elevado, la delimitación de áreas y la vigilancia del uso. En las condiciones operativas descritas no hay pisoteo de los microbialitos.

- Su relevancia ecológica y función dentro del sistema lagunar
- La importancia de conservar su integridad física
- Su papel en la estabilización de sedimentos y en la dinámica ecológica del sistema

Las vías potenciales que requieren prevención y manejo incluyen:

- El ordenamiento del tránsito de visitantes en zonas someras
- La prevención del pisoteo y del contacto físico con las formaciones
- La vigilancia de las áreas delimitadas y el mantenimiento de las medidas de protección

La valoración media identifica la sensibilidad del receptor y la prioridad de conservarlo. En la condición actual, el corredor elevado, la delimitación y la vigilancia ordenan el uso y previenen el pisoteo. La evaluación distingue esta interacción potencial de la condición operativa descrita, en la que las formaciones se mantienen fuera del tránsito de visitantes.

Calidad del agua

Las interacciones potenciales con la calidad del agua se relacionan con el uso recreativo, la materia orgánica, la resuspensión de sedimentos y el manejo de aguas residuales y residuos sólidos. Su valoración se integra con los parámetros de calidad del agua descritos en el Capítulo IV y con las medidas operativas del Capítulo II.

No obstante:

- El manejo de las aguas residuales se analiza en función del sistema de tratamiento descrito en el Capítulo II y de las condiciones operativas del proyecto.

- La evaluación distingue las interacciones asociadas a la operación del proyecto de los procesos acumulativos que pueden presentarse a escala regional.
- El análisis del estado trófico se interpreta dentro del contexto del sistema lagunar y de los procesos regionales que influyen en su dinámica.

La clasificación de estas interacciones se establece a partir de su mecanismo, extensión y duración, y de las medidas de manejo aplicables.

Suelo y procesos hidrológicos superficiales

Las interacciones identificadas en suelo y procesos hidrológicos superficiales se relacionan con la compactación y la infiltración en áreas de uso. Su valoración se limita a los procesos y superficies vinculados con las actividades descritas, considerando las características del sustrato kárstico.

Fauna

La interacción con la fauna se valora principalmente en relación con la presencia de visitantes y el uso recreativo del sitio. La matriz la caracteriza como una interacción de baja magnitud y alcance localizado, dentro de las condiciones actuales de operación.

Impactos acumulativos

A escala regional, los procesos acumulativos asociados al desarrollo turístico son multicausales. El análisis del proyecto distingue las presiones regionales de las interacciones atribuibles a sus actividades y considera las medidas operativas que actúan sobre las fuentes potenciales de presión.

Justificación de la aceptabilidad de los impactos

La aceptabilidad de los impactos identificados se sustenta en la integración de tres elementos fundamentales:

a) Implementación de medidas de manejo (Capítulo II): El proyecto incorpora medidas que actúan directamente sobre los mecanismos de generación del impacto, entre las que destacan:

- Corredor elevado y delimitación de zonas sensibles para conservar los microbialitos
- Ordenamiento de accesos y tránsito de visitantes
- Regulación del uso y vigilancia de las áreas sensibles
- Sistema de tratamiento de aguas residuales
- Manejo integral de residuos sólidos

Estas medidas contribuyen a:

- Prevenir las rutas potenciales de interacción
- Mantener el tránsito fuera de las formaciones y áreas sensibles
- Reducir presiones operativas y favorecer la conservación del entorno

b) Contexto y funcionamiento del sistema ambiental (Capítulo IV): la dinámica hidrológica, la conectividad entre aguas superficiales y subterráneas, la heterogeneidad espacial y los procesos de transporte de sedimentos forman parte de las condiciones que se consideran al interpretar las

interacciones. La alta permeabilidad kárstica se reconoce tanto por su papel hidrológico como por la susceptibilidad del sistema a la infiltración de sustancias.

- Dinámica hidrológica activa (flujo, dilución y dispersión)
- Conectividad del sistema kárstico, considerada como característica hidrológica y como vía potencial de transporte de sustancias.
- Procesos naturales de sedimentación
- Heterogeneidad espacial

Estas condiciones se consideran en la interpretación de las rutas de interacción y de su alcance espacial; no sustituyen las medidas preventivas y de control implementadas por el proyecto.

c) Naturaleza de los impactos residuales: El análisis mediante redes causa–efecto permitió diferenciar entre:

- Impactos potenciales
- Impactos residuales (bajo condiciones reales de operación)

La valoración de los impactos residuales considera la magnitud, extensión, duración y reversibilidad de las interacciones después de incorporar las medidas de manejo aplicables.

- Magnitud baja o media controlada
- Alcance local
- La reversibilidad se asigna de acuerdo con el mecanismo de afectación y el componente receptor, sin generalizarla a todas las interacciones.
- Ausencia de acumulación directa

Comparación de la ocupación del predio con los parámetros del POEL (UGAs 29 y 30)

Como complemento al análisis de interacciones, se presenta una comparación entre la ocupación física del predio y los parámetros de uso del suelo citados para las UGA 29 (Corredor Turístico Xul-Há–Bacalar) y 30 (Occidente Xul-Há) del Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Othón P. Blanco. Esta comparación es territorial y normativa; los porcentajes de ocupación y densidades no se interpretan por sí solos como una determinación de capacidad de carga ecológica ni como autorización automática para desarrollar los máximos teóricos.

Los parámetros de las UGA deben leerse en conjunto con la política ambiental, los criterios y lineamientos aplicables, la ubicación específica del predio y las autorizaciones que correspondan.

Fuente de referencia: Ayuntamiento de Othón P. Blanco, Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo (2015), fichas de las UGA 29, 30 y 31. La aplicación de cada parámetro debe atender al criterio específico correspondiente.

1. Umbrales normativos de ocupación y desarrollo

UGA 29 – Corredor Turístico Xul-Ha–Bacalar

Los parámetros de ocupación, desmonte y densidad aplicables a esta unidad se presentan en la tabla comparativa a partir del texto oficial del POEL y deben conservarse con su denominación y unidad de medida originales.

- El desarrollo turístico y suburbano puede ocupar hasta el 30% de la UGA
- El desmonte máximo permitido es del 30% del predio

Se permite un máximo de:

3,000 cuartos hoteleros

1,200 viviendas suburbanas

Densidad máxima: 15 cuartos hoteleros/ha o 8 viviendas/ha

UGA 30 – Occidente Xul-Ha

Los parámetros de ocupación, desmonte y desarrollo suburbano aplicables a esta unidad se presentan en la tabla comparativa a partir del texto oficial del POEL y deben interpretarse en función de la superficie que efectivamente se ubica dentro de la UGA.

- El desarrollo puede ocupar hasta el 40% de la UGA
- El desmonte máximo permitido es del 40% del predio

Umbral máximo:

7,400 viviendas suburbanas

Además, se reconoce que esta unidad tiene 81.58% de superficie con importancia para recarga de acuíferos y un alto potencial para desarrollo turístico y de servicios

2. Comparación con las condiciones reales del predio

La huella de infraestructura cuantificada en el inventario del proyecto es de 6,575 m² (0.6575 ha), equivalente aproximadamente al 0.37% de la superficie predial total de 179.41 ha. Esta cifra corresponde a la huella física de infraestructura y se distingue de la superficie de intervención total, que puede incluir caminos y áreas de tránsito. El análisis de ocupación debe utilizar una sola definición de superficie por cálculo y mantener explícito su denominador.

- No existe desarrollo inmobiliario intensivo
- No se alcanza ninguna densidad cercana a los máximos permitidos
- Las actividades están concentradas y delimitadas
- No se presenta desmonte significativo reciente asociado al proyecto

3. Interpretación técnica

La comparación territorial permite dimensionar la ocupación física actual frente a los parámetros normativos aplicables. La interpretación se limita a esa comparación y no sustituye la evaluación de impactos, la revisión de los criterios específicos del POEL ni los permisos que resulten aplicables.

Esto implica que:

- La huella física cuantificada representa una proporción reducida de la superficie total del predio.
- La comparación debe distinguir entre ocupación física, superficie desmontada, superficie de intervención y densidad de uso.
- La lectura territorial se integra con los resultados de la matriz y de las redes causa–efecto, sin equiparar automáticamente el margen normativo con capacidad ecológica disponible.

4. Relación con la capacidad de carga ambiental

Los umbrales del POEL son parámetros de ordenamiento territorial. Por sí solos no demuestran la capacidad de carga ecológica del sistema ni sustituyen el análisis de los componentes sensibles, la conectividad hidrológica y las medidas de manejo ambiental.

La interpretación de estos parámetros se realiza en conjunto con los criterios de conservación y protección del agua y del acuífero establecidos en el instrumento.

- Conservación de procesos ecológicos
- Protección de cuerpos de agua y acuífero
- Control de impactos ambientales

Estas orientaciones son consistentes con las medidas de manejo descritas para el proyecto y con la necesidad de valorar de manera diferenciada la ocupación territorial y las interacciones ambientales.

5. Consideración regional (UGA 31 – sistema lagunar)

El sistema lagunar de Bacalar se identifica en el POEL dentro de la UGA 31, con política de protección y objetivos relacionados con la continuidad de los servicios ambientales y la funcionalidad del sistema geohidrológico. Esta condición aporta el contexto regional para interpretar las interacciones indirectas del proyecto.

La comparación entre la ocupación física del predio y los parámetros territoriales de las UGA 29 y 30 muestra la escala relativa de la infraestructura existente. La conclusión ambiental se integra con la matriz, las redes causa–efecto y las medidas de manejo, y no se deriva únicamente de la proporción de superficie ocupada.

A escala regional, los procesos acumulativos deben interpretarse como resultado de múltiples presiones. El análisis distingue ese contexto de las interacciones específicas atribuibles a la operación del proyecto.

Tabla V-7. Tabla comparativa: POEL vs condiciones reales del predio

Variable	UGA 29 (POEL)	UGA 30 (POEL)	Condición real del predio	Evaluación
Ocupación de la UGA	Hasta 30% (parámetro citado)	Hasta 40% (parámetro citado)	Huella de infraestructura: 0.6575 ha de 179.41 ha	Comparación territorial; no determina por sí sola la capacidad de carga
% de desmonte	30% (parámetro citado)	40% (parámetro citado)	Superficie desmontada diferenciada de la huella construida	Indicador distinto de ocupación
Densidad hotelera	15 cuartos/ha (parámetro citado)	No se consigna en esta comparación	Sin desarrollo hotelero intensivo descrito	La densidad se interpreta con los límites específicos aplicables

Densidad habitacional	8 viviendas/ha (parámetro citado)	Conforme al criterio específico aplicable	No se describe desarrollo habitacional	No equivale a capacidad ecológica
Capacidad turística / suburbana	Conforme a los criterios de UGA 29	Conforme a los criterios de UGA 30	Operación recreativa y servicios existentes	El umbral normativo no equivale a capacidad ecológica
Uso de suelo permitido	Según política, criterios y lineamientos del POEL	Según política, criterios y lineamientos del POEL	Uso turístico existente descrito en el proyecto	La compatibilidad requiere lectura integral del instrumento
Sensibilidad del acuífero	Sistema kárstico y recarga	Sistema kárstico y recarga	PTAR y manejo de residuos descritos en Cap. II	Medidas de prevención y control consideradas en la evaluación

Lectura comparativa de parámetros normativos y superficies

Datos de referencia del predio

Superficie total del predio considerada en este capítulo: 179.41 ha.

Superficie ubicada en UGA 29: 170 ha, conforme a la delimitación considerada en la cartografía del proyecto.

Superficie ubicada en UGA 30: 9.41 ha, conforme a la delimitación considerada en la cartografía del proyecto.

UGA 31: sistema lagunar regional, considerada como contexto ambiental y no como superficie de ocupación predial.

Parámetros de referencia – UGA 29

- El parámetro de densidad hotelera citado para UGA 29 es de 15 cuartos/ha; su aplicación se sujeta a los criterios y condiciones del instrumento.
- La densidad por hectárea no se interpreta de forma aislada ni como autorización automática para alcanzar una cifra teórica de cuartos.
- El parámetro de densidad habitacional citado es de 8 viviendas/ha, sujeto a las condiciones y límites específicos aplicables.
- La densidad por hectárea debe interpretarse en conjunto con los límites totales y demás criterios aplicables a la UGA.
- La comparación normativa se limita a los parámetros aplicables y no convierte sus máximos teóricos en una estimación de capacidad de carga ambiental.

- Parámetro de desmonte consignado para UGA 29
- 30%, conforme al parámetro citado para esta comparación.
- El porcentaje de desmonte se interpreta conforme a la superficie y a las condiciones de aplicación que establece el instrumento.

Parámetros de referencia – UGA 30

- Parámetro de desmonte consignado para UGA 30
- 40%, conforme al parámetro citado para esta comparación.
- El porcentaje de desmonte se interpreta conforme a la superficie y a las condiciones de aplicación que establece el instrumento.
- Densidad o límite de desarrollo suburbano
- La densidad o el límite total de desarrollo suburbano se interpreta de acuerdo con el criterio específico del POEL; no se prorratea por superficie para inferir viviendas autorizables en el predio.

Proporción de superficie predial

- La superficie de 9.41 ha representa aproximadamente el 0.51% de la superficie de UGA 30 (1,848 ha), conforme a las cifras consideradas en este capítulo.
- Esta proporción expresa únicamente una relación de superficies y no se utiliza para estimar el número de viviendas autorizables.

Comparación de superficies

Tabla V-8. Comparación de parámetros normativos y condiciones actuales del predio

Variable	Parámetro normativo de referencia permitido	Condición real
Cuartos hoteleros	Parámetro de densidad citado: 15 cuartos/ha; sujeto a los límites y criterios del POEL	No hay desarrollo hotelero intensivo
Viviendas (UGA 29)	Parámetro de densidad citado: 8 viviendas/ha; sujeto a los límites y criterios del POEL	No hay desarrollo habitacional
Viviendas (UGA 30)	Aplicación conforme al criterio específico del POEL; no se prorratea por superficie	No hay desarrollo habitacional
Superficie desmontable	Porcentajes de referencia por UGA, interpretados conforme al instrumento	Superficie de desmonte y huella construida se reportan por separado
Ocupación física	Parámetros de ocupación diferenciados por UGA	Huella de infraestructura: 0.6575 ha (0.37% de 179.41 ha)

Comparación de huella física y parámetros de ocupación

Uso del suelo

- Los porcentajes de ocupación y desmonte citados en la tabla corresponden a parámetros normativos diferenciados por UGA; no se suman como si fueran una única superficie autorizada.
- Huella de infraestructura cuantificada: 0.6575 ha. La superficie total de intervención, incluidos caminos y áreas de tránsito, constituye un indicador distinto.
- La huella de infraestructura equivale aproximadamente al 0.37% de la superficie predial de 179.41 ha. Este porcentaje utiliza como denominador la superficie total del predio y no debe confundirse con la superficie de intervención total.

Intensidad de desarrollo

- Los parámetros de densidad y ocupación se consideran referencias de ordenamiento territorial, no equivalentes a la capacidad ecológica del predio.
- La operación descrita en este estudio corresponde a un establecimiento turístico recreativo y de servicios, sin desarrollo habitacional ni hotelero de alta densidad.
- La intensidad de uso se interpreta a partir de las actividades y la infraestructura existentes, además de su relación con los parámetros normativos.

Interpretación técnica

La huella de infraestructura cuantificada es de 0.6575 ha, equivalente aproximadamente al 0.37% de la superficie predial de 179.41 ha. La comparación con los parámetros del POEL dimensiona la ocupación física del proyecto y complementa, sin sustituir, la evaluación de las interacciones ambientales.

Los parámetros de densidad y desarrollo se interpretan de acuerdo con los límites, criterios y condiciones del POEL aplicables a cada UGA y al predio; no constituyen por sí mismos derechos de desarrollo ni una autorización para alcanzar sus máximos teóricos.

La superficie de infraestructura, la superficie total intervenida —incluidos caminos y áreas de tránsito— y la superficie desmontada son conceptos distintos. Los porcentajes correspondientes se calculan por separado y con denominadores explícitos.

En consecuencia, la comparación territorial se integra como elemento complementario de la matriz de interacciones, las redes causa–efecto y las medidas de manejo descritas en los capítulos correspondientes.

Integridad funcional y capacidad de carga

La evaluación integrada considera los procesos ecológicos, la conectividad hidrológica, la calidad del agua, los microbialitos, el suelo, la fauna y las medidas de manejo implementadas.

- La conectividad hidrológica y la dinámica del acuífero se consideran componentes sensibles del sistema kárstico y se analizan a partir de las características ambientales descritas en el Capítulo IV.
- La interpretación del estado trófico del sistema lagunar se vincula con los parámetros y resultados de calidad del agua presentados en la caracterización ambiental.
- Las interacciones identificadas se valoran por su mecanismo, alcance espacial, duración, reversibilidad y relación con las medidas de manejo.
- La evaluación distingue las interacciones locales del proyecto de los procesos ambientales de escala regional.

En conjunto, la evaluación caracteriza las interacciones asociadas a la operación y el mantenimiento de Los Rápidos Lagoon Club, con especial atención a los componentes sensibles y a las medidas implementadas para conservarlos. En particular, el corredor elevado, la delimitación de áreas y la vigilancia del uso ordenan el tránsito y previenen el pisoteo de los microbialitos. De acuerdo con las condiciones operativas descritas, la erosión de los atolones microbianos que motivó las acciones de manejo se ha detenido, y las medidas actuales se orientan a mantener esa condición de conservación. La valoración integrada distingue la sensibilidad ecológica de estos componentes de la existencia de daño atribuible a la operación, y reconoce el papel positivo de las acciones de prevención, vigilancia y manejo ambiental.

VI. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN O CORRECTIVAS POR COMPONENTE AMBIENTAL

Las medidas que se presentan en este capítulo se relacionan con las interacciones identificadas y evaluadas en el capítulo V, y con las acciones de manejo descritas en la propia Manifestación de Impacto Ambiental. Debido a que Los Rápidos Lagoon Club es un proyecto en operación, se distingue entre las medidas que forman parte de la operación actual y la continuidad de esas prácticas. La descripción de obras, instalaciones y actividades se conserva en el capítulo II; la caracterización del sistema ambiental, en el capítulo IV.

Las medidas se exponen por componente ambiental, de acuerdo con el enfoque de la Guía para la presentación de la Manifestación de Impacto Ambiental del sector turístico, modalidad particular (SEMARNAT, primera edición, agosto de 2002). Su inclusión no constituye por sí misma una afirmación de que se haya producido daño; expresa su función preventiva, de control o de mitigación frente a las interacciones consideradas en la evaluación.

Sistema lagunar, calidad del agua y prevención de contaminación

En el capítulo V se identifican interacciones de baja magnitud relacionadas con la operación turística y la calidad y transparencia del agua, así como con el manejo de aguas residuales y residuos. La evaluación señala que no se identifican descargas directas ni evidencia de cambio en el estado trófico atribuible al proyecto. Las medidas de este apartado se dirigen a mantener el control operativo y prevenir aportes contaminantes.

- Mantener delimitadas las áreas habilitadas para uso recreativo y acceso al agua, y evitar que las actividades se dispersen fuera de las zonas de uso público establecidas.
- Mantener la prohibición de verter residuos, sustancias químicas, combustibles u otros materiales contaminantes al canal o a la laguna.
- Mantener en operación y en condiciones funcionales el sistema de tratamiento de aguas residuales descrito en el capítulo II.
- Dar continuidad al mantenimiento preventivo de las instalaciones hidráulicas y sanitarias y corregir las fugas o fallas operativas que se detecten.
- Mantener los procedimientos de almacenamiento temporal y manejo de residuos sólidos aplicados en la operación.
- Mantener las bitácoras de operación y mantenimiento de la infraestructura sanitaria que forman parte de los registros operativos.
- Promover entre visitantes el uso responsable de productos de higiene personal antes de ingresar al agua.

Tapetes microbianos y estructuras microbialíticas

El capítulo V reconoce a los microbialitos como un componente de alta sensibilidad y analiza la interacción potencial entre el uso turístico, el tránsito en zonas someras y el contacto físico con el sustrato. La evaluación también considera las medidas de control existentes, en particular el corredor elevado, la delimitación de áreas y la vigilancia del tránsito. Por ello, las medidas se orientan a mantener la circulación ordenada y evitar el contacto directo con las formaciones.

- Mantener en condiciones funcionales el corredor elevado y las superficies habilitadas para circulación, descritos en el capítulo II, para canalizar el tránsito de visitantes.
- Mantener delimitadas y señalizadas las áreas con presencia de tapetes microbianos y estructuras microbialíticas expuestas, evitando el acceso a los sectores donde pueda producirse contacto directo.
- Mantener la prohibición de extraer, remover, pisar o alterar las estructuras microbialíticas y los tapetes microbianos.
- Mantener la vigilancia operativa en las áreas de interacción entre visitantes y zonas sensibles, orientando a los usuarios hacia las rutas habilitadas.
- Dar continuidad a la capacitación del personal para reconocer y proteger las comunidades microbianas y las estructuras microbialíticas.
- Mantener las actividades de educación ambiental dirigidas a visitantes y la inspección visual de las áreas de uso para reconocer oportunamente posibles incidencias.

En el capítulo V se consigna que, bajo las condiciones operativas descritas, el corredor elevado, la delimitación y la vigilancia ordenan el tránsito y previenen el pisoteo directo de los microbialitos; asimismo, se reporta que la erosión de los atolones microbianos que motivó las acciones de manejo se ha detenido. Este antecedente se conserva como resultado reportado en la documentación del proyecto, sin atribuirle una cuantificación ni afirmar una recuperación ecológica no demostrada por mediciones.

Fauna silvestre

Las medidas para fauna responden a la necesidad de evitar perturbaciones asociadas a la circulación y presencia de visitantes, manteniendo las áreas de refugio, alimentación y desplazamiento identificadas en los estudios ambientales.

- Mantener la señalización preventiva para fauna silvestre en caminos y accesos internos.
- Mantener los límites de velocidad para vehículos dentro del predio.
- Mantener la prohibición de capturar, manipular, alimentar o perturbar deliberadamente a la fauna silvestre.
- Mantener bajo conservación las áreas de refugio, alimentación y desplazamiento identificadas en los estudios ambientales.
- Registrar observaciones relevantes de fauna como parte de las actividades de manejo ambiental y capacitar al personal en el manejo responsable de fauna silvestre.

Vegetación, humedales y áreas en regeneración

Las medidas de este componente tienen como finalidad evitar la expansión innecesaria de las áreas intervenidas y mantener la cobertura vegetal natural, la vegetación secundaria, los acahuales, los humedales y las superficies en regeneración descritas en el capítulo IV.

- Evitar desmontes adicionales fuera de las áreas previamente intervenidas descritas en la MIA.
- Mantener bajo conservación las áreas de vegetación secundaria, acahuales y humedales.
- Restringir el tránsito de visitantes a senderos y áreas habilitadas.
- Favorecer la regeneración natural como estrategia de conservación y evitar la introducción de especies vegetales exóticas con potencial invasor.

- Continuar las inspecciones de las áreas de uso para identificar posibles procesos de degradación o perturbación.

Residuos sólidos, limpieza y vigilancia ambiental

El manejo de residuos y las actividades de limpieza y vigilancia constituyen prácticas operativas preventivas para evitar la dispersión de residuos y su llegada al suelo o al sistema lagunar.

- Mantener los procedimientos de manejo y almacenamiento temporal de residuos sólidos utilizados en la operación.
- Dar continuidad a las actividades de limpieza y vigilancia ambiental en las áreas operativas y de uso público.
- Mantener la prohibición de disponer residuos en el canal, la laguna, los humedales o las áreas de vegetación.
- Conservar los registros de manejo de residuos que correspondan específicamente a la operación de Los Rápidos, sin integrar bitácoras de otros establecimientos o unidades operativas.

Prevención de incendios

Las medidas de prevención de incendios se relacionan con la posibilidad de que los acahuales y las zonas con vegetación presenten mayor susceptibilidad durante periodos prolongados de sequía.

- Mantener la prohibición de fogatas fuera de áreas expresamente autorizadas.
- Mantener vigilancia reforzada durante la temporada de estiaje.
- Dar continuidad a la capacitación del personal en prevención y atención inicial de incendios.
- Mantener disponibles las herramientas y el equipo básico previstos para el control inicial de conatos.
- Notificar a las autoridades competentes en caso de detectar incendios forestales y promover información preventiva dirigida a visitantes.

Síntesis de correspondencia entre impactos y medidas

La siguiente tabla resume la relación entre las interacciones relevantes del capítulo V y las medidas descritas en este capítulo. No sustituye la matriz de evaluación ni modifica la magnitud asignada a los impactos.

Interacción o componente evaluado en el capítulo V	**Medidas de manejo relacionadas**	**Función**
Calidad y transparencia del agua; operación turística y manejo de aguas residuales	Operación y mantenimiento del sistema de tratamiento; mantenimiento sanitario; prevención de vertimientos; manejo de residuos	Prevenir aportes contaminantes y mantener el control operativo
Operación turística y microbialitos	Andador elevado; circulación ordenada; delimitación; señalización; vigilancia y capacitación	Evitar el contacto directo y reducir la posibilidad de pisoteo y perturbación física
Operación turística y fauna silvestre	Señalización; límites de velocidad; prohibición de captura, alimentación o perturbación; conservación de áreas de refugio	Reducir perturbaciones asociadas a la presencia y circulación de personas
Operación y mantenimiento; suelo y vegetación	Uso de áreas habilitadas; evitar desmontes adicionales; conservación de humedales y áreas en regeneración	Evitar expansión de la huella de uso y perturbaciones innecesarias

Generación y manejo de residuos	Almacenamiento temporal; limpieza; vigilancia; prohibición de disposición en el sistema lagunar	Evitar dispersión y llegada de residuos al suelo o al agua
Riesgo de incendio en áreas con vegetación	Prevención de fogatas; vigilancia estacional; capacitación y aviso a autoridades	Prevenir igniciones y facilitar la atención inicial

Impactos residuales

Los impactos residuales se interpretan a partir de la evaluación desarrollada en el capítulo V, considerando las medidas de manejo aplicables y las condiciones de operación descritas en la MIA. Este apartado no modifica las valoraciones de la matriz ni introduce impactos distintos de los identificados en dicho capítulo.

Para el componente microbialítico, el capítulo V identifica una interacción de especial sensibilidad por el uso turístico, pero distingue la condición potencial de la interacción de su expresión bajo las condiciones operativas descritas. La existencia del corredor elevado, la delimitación y la vigilancia se consideran medidas que ordenan el tránsito y previenen el pisoteo directo. El capítulo V también reporta que la erosión de los atolones microbianos que motivó las acciones de manejo se ha detenido. Por tanto, el análisis residual debe mantener esa distinción y no presentar la sensibilidad del componente, por sí sola, como prueba de daño actual.

Para la calidad del agua, el capítulo V caracteriza las interacciones identificadas como bajas, localizadas y reversibles, y señala que no se identifican descargas directas ni evidencia de cambio en el estado trófico atribuible al proyecto. Las medidas de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, las instalaciones sanitarias y el manejo de residuos se orientan a mantener esas condiciones de control.

En los demás componentes, la condición residual deberá leerse conforme a la magnitud, extensión, duración y reversibilidad asignadas en el capítulo V. No se afirma la eliminación total de impactos ni se incorpora una conclusión de recuperación ambiental que no esté sustentada en la información presentada.

VII. PRONÓSTICO AMBIENTAL Y ALTERNATIVAS

El presente capítulo integra la caracterización del sistema ambiental expuesta en el capítulo IV, la descripción de la operación e infraestructura existente contenida en el capítulo II, la evaluación de interacciones e impactos del capítulo V y las medidas preventivas y de mitigación del capítulo VI. El pronóstico compara la evolución ambiental previsible bajo distintos escenarios y valora alternativas pertinentes para un establecimiento preexistente. En esta evaluación también se considera la trayectoria de conservación privada mantenida por los propietarios durante más de 34 años, así como la posibilidad de una transmisión futura del predio ante las presiones externas y los costos económicos y administrativos que inciden en la viabilidad de mantener la gestión actual. La referencia a esas circunstancias no modifica la evaluación de impactos ni implica reconocer efectos que no estén identificados en la MIA.

El pronóstico se realiza en tres escalas que deben leerse de manera complementaria: (i) el Sistema Ambiental (SA), definido en la MIA a partir de las UGA 29, 30 y 31 del Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Othón P. Blanco; (ii) el Área de Influencia Directa (AID), que incorpora las relaciones ecológicas e hidrológicas que pueden extenderse más allá de la superficie ocupada; y (iii) el predio y los polígonos del proyecto sujetos a evaluación. Estas escalas no son equivalentes: los procesos regionales no pueden atribuirse automáticamente al establecimiento, y la superficie total del predio no debe confundirse con la huella física de las instalaciones.

El predio tiene una superficie de 179.41 ha. Los polígonos del proyecto que se identifican en la MIA suman 6,575 m² (0.6575 ha): 2,960 m² en la sección asociada al Canal de Xul-Ha y 3,615 m² en la sección asociada a la Laguna de Bacalar. Esta huella representa aproximadamente 0.37 % de la superficie predial. El porcentaje es una referencia de dimensión espacial y no constituye, por sí solo, una medida de significancia ambiental ni un indicador de capacidad de carga.

De manera complementaria, la MIA señala que aproximadamente el 96 % del predio corresponde a la meseta al poniente y a humedales de la planicie sedimentaria que se encuentran bajo regeneración natural o conservación. Este dato expresa la condición territorial de conservación descrita en la caracterización y debe leerse por separado de la huella de infraestructura del 0.37 %, porque ambos indicadores describen aspectos distintos y no deben sumarse ni tratarse como equivalentes. Durante más de 34 años, el predio ha funcionado en la práctica como un espacio privado de conservación y manejo del territorio; aquí la expresión “reserva privada” se utiliza en sentido descriptivo y no como referencia a una declaratoria oficial de Área Natural Protegida.

Los escenarios se formulan de manera cualitativa y condicionada a la información descrita en la MIA. No se presentan como predicciones deterministas ni sustituyen las autorizaciones, concesiones o verificaciones que correspondan a los componentes específicos del proyecto.

7.1. Pronóstico con el proyecto

Este escenario considera la continuidad de la operación turística existente en las condiciones descritas en la MIA, sin plantear ampliaciones de superficie, nuevas obras ni intensificación del uso del suelo. El pronóstico se apoya en la continuidad de las prácticas de manejo documentadas: control y ordenamiento de accesos y circulación, corredor elevado y delimitación de zonas sensibles, sistema de tratamiento y manejo de aguas residuales, procedimientos para residuos, mantenimiento de instalaciones, limpieza y vigilancia, y conservación de la cobertura vegetal y de las áreas en regeneración.

7.1.1. Sistema Ambiental (SA)

A escala del SA, la evolución ambiental seguirá condicionada por la dinámica del sistema kárstico-lagunar, la conectividad entre aguas superficiales y subterráneas, la precipitación y los eventos hidrometeorológicos, la cobertura vegetal, la regeneración de los ecosistemas terrestres y las transformaciones territoriales que tengan lugar en la región. Las UGA 29 y 30 aportan el marco terrestre y de transición, con vegetación secundaria, áreas en regeneración y zonas vinculadas con la recarga; la UGA 31 corresponde al sistema lagunar funcionalmente relacionado con dichos ambientes.

De acuerdo con la evaluación del capítulo V, las interacciones directamente relacionadas con la operación del establecimiento se concentran principalmente en el ámbito local y predominan las valoradas como de baja magnitud y alcance localizado. Los procesos acumulativos regionales asociados con el desarrollo turístico, la transformación de la cobertura vegetal, la extracción de materiales y otras presiones territoriales son multicausales. Por ello, su evolución no puede atribuirse exclusivamente a Los Rápidos.

Bajo la continuidad de la operación existente, sin ampliación de la huella y con mantenimiento de las medidas de manejo descritas, no se proyecta que el establecimiento, por sí solo, transforme la estructura regional del SA. Este pronóstico está condicionado a mantener las actividades dentro de las áreas habilitadas, prevenir vertimientos y derrames, conservar las superficies vegetadas y dar mantenimiento a los sistemas de manejo ambiental. La conectividad hidrológica obliga a sostener el enfoque preventivo, pues una incidencia sobre el agua o el subsuelo podría tener un alcance mayor que el punto en que se origine.

7.1.2. Área de Influencia Directa (AID)

En el AID, el pronóstico considera el entorno de Los Rápidos, el sector sur de la Laguna de Bacalar, la continuidad de humedales y ecosistemas terrestres y acuáticos, así como las relaciones hidrológicas superficiales y subterráneas descritas en el capítulo IV. Los mecanismos que merecen atención son aquellos que podrían extenderse a través del agua o del subsuelo, modificar localmente el transporte de sedimentos o relacionarse con presiones externas identificadas en el territorio.

La inclusión de presiones externas dentro de la caracterización del AID permite contextualizar la vulnerabilidad territorial, pero no demuestra por sí misma una relación causal con una alteración concreta en el predio o en la laguna. Con las medidas de control descritas en operación, se espera que las interacciones propias del establecimiento permanezcan principalmente en una escala local. El tratamiento de aguas residuales, la prevención de vertimientos, el manejo diferenciado de residuos y la vigilancia son relevantes para reducir la posibilidad de que una incidencia originada en el sitio se propague hacia receptores conectados.

7.1.3. Predio y área del proyecto

A escala predial, el pronóstico distingue los dos polígonos donde se concentran las instalaciones turísticas del resto del inmueble, en el que coexisten superficies previamente intervenidas, caminos internos, cobertura vegetal, humedales y áreas en regeneración. La superficie total del predio, 179.41 ha, no se considera íntegramente ocupada por las instalaciones. La huella física cuantificada para los polígonos del proyecto es de 0.6575 ha, conforme al inventario descrito en la MIA.

En las áreas operativas, el control de accesos, la circulación por zonas habilitadas, el mantenimiento de infraestructura y las rutinas de limpieza y manejo de residuos contribuyen a mantener las interacciones acotadas. En las superficies que conservan vegetación, la no expansión de la huella y la continuidad de la regeneración favorecen el mantenimiento de funciones de infiltración,

retención de sedimentos, hábitat y conectividad terrestre. En este escenario no se prevé una transformación del conjunto del predio derivada únicamente de la continuidad de la huella existente, siempre que no se amplíen las superficies intervenidas ni se intensifique el uso respecto de las condiciones evaluadas.

7.1.4. Pronóstico de los componentes ambientales prioritarios

Agua, sistema lagunar y conectividad kárstica

La elevada conectividad del sistema kárstico hace especialmente importante prevenir descargas y derrames, mantener las instalaciones hidráulicas y sanitarias en condiciones funcionales y conservar los registros de operación y mantenimiento. La MIA describe el tratamiento de aguas residuales y el retiro del efluente tratado mediante pipas hacia sitios de disposición fuera del predio. Cualquier modalidad distinta de manejo o destino deberá valorarse y realizarse únicamente conforme a las autorizaciones y verificaciones aplicables. Las variaciones de calidad del agua deben interpretarse considerando los parámetros presentados en el capítulo IV y la dinámica hidrológica regional, sin atribución causal automática.

Microbialitos y tapetes microbianos

Los microbialitos son el componente de mayor sensibilidad señalado por el capítulo V. El pronóstico incorpora como medidas existentes el corredor elevado, la delimitación de las zonas sensibles y la vigilancia del uso, que canalizan la circulación y previenen el pisoteo directo bajo las condiciones operativas descritas. La MIA reporta que la erosión de los atolones microbianos que motivó las acciones de manejo se ha detenido. La continuidad de esta condición depende del mantenimiento de las medidas de protección y del ordenamiento del tránsito; esta afirmación se presenta como antecedente operativo reportado, no como cuantificación de recuperación ecológica.

Vegetación, humedales, suelo y fauna

La conservación de las superficies vegetadas y en regeneración, el tránsito por senderos y áreas habilitadas, la prevención de incendios y las reglas de comportamiento de visitantes favorecen la continuidad de hábitats y limitan perturbaciones innecesarias. En el suelo, las interacciones potenciales se relacionan con el uso y tránsito en superficies concretas; por ello, el pronóstico se basa en mantener la intervención concentrada y evitar la ampliación de la huella. La interacción con la fauna se relaciona principalmente con la presencia de personas y vehículos y fue valorada en el capítulo V como de baja magnitud y alcance localizado bajo las condiciones evaluadas.

Residuos, emisiones y entorno socioeconómico

La separación, el registro, el almacenamiento temporal y el traslado controlado de residuos contribuyen a prevenir su dispersión. La valorización de los materiales separados también depende de la disponibilidad de prestadores externos, limitación regional descrita en el capítulo II. Las emisiones y el ruido asociados a la operación cotidiana, los vehículos y los equipos menores se describen en la MIA como fuentes de alcance local y magnitud baja. En el componente socioeconómico, la continuidad de la actividad mantiene empleo y demanda local de bienes y servicios relacionados con la operación turística.

7.1.5. Trayectoria de conservación y continuidad del manejo

La trayectoria histórica descrita en la MIA refleja que el predio ha pasado de un uso agropecuario familiar a una operación recreativa localizada, manteniendo la mayor parte del territorio bajo cobertura vegetal, regeneración natural o conservación. Según la información incluida en el estudio, alrededor del 96 % del predio se mantiene bajo regeneración o conservación. Este antecedente es

relevante para el pronóstico: la operación turística y la gestión de conservación se han desarrollado conjuntamente en una superficie predial amplia, con infraestructura identificada en polígonos concretos. La continuidad del escenario ambientalmente favorable depende de mantener esa relación espacial, no extender la huella y sostener las medidas de protección y manejo descritas en los capítulos II y VI.

Al mismo tiempo, la permanencia de estas acciones depende de que exista capacidad material para sostener la gestión del sitio. Los costos de mantenimiento, atención administrativa y manejo ambiental forman parte de la viabilidad futura de la conservación privada. Por ello, además del escenario de continuidad, la MIA considera la posibilidad de transmitir el predio en el futuro como una alternativa patrimonial, cuyo resultado ambiental dependerá del uso que se mantenga o proponga después de la transmisión.

7.2. Pronóstico sin el proyecto

El escenario sin proyecto es hipotético, pues el establecimiento y sus instalaciones son preexistentes. Para fines de comparación, se entiende como la ausencia de la operación turística en los sectores sujetos a evaluación. No se supone que el cese de actividades equivalga automáticamente al retiro de todas las instalaciones ni a la restauración inmediata de la totalidad del predio. El cese de la operación, el abandono de las instalaciones y el cierre acompañado de restauración son escenarios diferentes.

7.2.1. Sistema Ambiental (SA)

En ausencia de la operación de Los Rápidos continuarían los procesos regionales que determinan el comportamiento del SA: la dinámica hidrológica y climática, la conectividad del acuífero kárstico con la laguna, la sucesión de la vegetación y los cambios de uso del suelo en el territorio. La suspensión del establecimiento no detendría por sí misma las presiones acumulativas de origen regional ni permitiría anticipar una mejora medible de la calidad del agua o del estado ecológico de toda la laguna.

7.2.2. Área de Influencia Directa (AID)

El cese de la operación reduciría las interacciones inmediatas que dependen de la presencia de visitantes, el tránsito asociado al servicio y la generación de residuos y aguas residuales propias del establecimiento. La magnitud y el alcance de los cambios dependerían del destino de la infraestructura, de la gestión de los residuos remanentes y de las acciones que acompañaran el eventual cierre. Las presiones externas descritas para el AID continuarían con independencia de que el establecimiento mantuviera o suspendiera sus actividades.

7.2.3. Predio y área del proyecto

En el predio, el cese de la actividad reduciría el tránsito de visitantes y la generación operativa de residuos y aguas residuales. La vegetación de las áreas sin uso podría continuar su dinámica sucesional, aunque el ritmo y alcance de esa evolución dependerían de las condiciones locales y del manejo posterior. No es técnicamente apropiado afirmar que la sola ausencia de operación produciría restauración integral: podrían permanecer estructuras, caminos, superficies compactadas, residuos o necesidades de manejo y seguridad.

Si el escenario incluyera, además del cese de actividades, un programa ordenado de retiro selectivo de instalaciones y restauración, el resultado sería distinto del simple abandono. El capítulo II, apartado II.2.5, ya contempla un plan tentativo de abandono y restauración con horizonte de tres años: preparación y retiro inicial durante los meses 1–12; desmontaje de infraestructura principal durante los meses 13–24; y restauración ambiental y cierre administrativo durante los meses 25–36. Las actividades descritas incluyen retiro y manejo de materiales, cierre de instalaciones

sanitarias, restauración de vegetación y seguimiento. Su ejecución tendría que ajustarse a las condiciones reales del sitio y a los requerimientos de las autoridades competentes. Este plan corresponde a un eventual cierre de actividades; no se activa automáticamente por la sola transmisión de la propiedad.

7.2.4. Comparación sintética de escenarios

Escala	Con la operación existente	Sin la operación	Interpretación
Sistema Ambiental (SA)	Las interacciones propias del establecimiento se valoran principalmente como locales; continúan los procesos regionales multicausales.	Persisten la dinámica hidrológica, climática y las transformaciones regionales.	El estado regional no depende exclusivamente del establecimiento.
Área de Influencia Directa (AID)	Las medidas operativas buscan prevenir la propagación de incidencias por agua, subsuelo, humedales y hábitats conectados.	Disminuyen las interacciones vinculadas directamente con visitantes y servicios, pero siguen las presiones externas.	El alcance del cambio depende de la gestión de las instalaciones y del contexto externo.
Predio y área del proyecto	La operación permanece concentrada en los polígonos descritos, con medidas de ordenamiento y manejo.	Disminuyen el tránsito y los flujos operativos; las instalaciones y áreas intervenidas no desaparecen automáticamente.	El cese no equivale por sí mismo a restauración.

7.3. Evaluación de alternativas

La evaluación de alternativas se adapta al carácter preexistente y de regularización ambiental del proyecto. La MIA no plantea un desarrollo nuevo ni una expansión de la huella. Se comparan la continuidad de la operación existente, una ampliación hipotética —que no forma parte del proyecto evaluado—, la suspensión con cierre y restauración, la venta futura del predio y las alternativas operativas de manejo. La consideración de la venta responde también a la necesidad de valorar la viabilidad patrimonial y económica de mantener la conservación y la operación frente a presiones externas de carácter social, mediático y administrativo, así como al desgaste que esas circunstancias pueden representar. Se expresa como un escenario futuro posible, no como una decisión tomada, una renuncia a la conservación o una forma de eludir obligaciones.

7.3.1. Alternativa A. Continuidad de la operación existente con las medidas de manejo

Esta alternativa consiste en mantener la operación en los sectores actualmente descritos, sin aumentar la huella física ni incorporar nuevas obras, y dar continuidad a las medidas de manejo identificadas en el capítulo VI. Entre ellas se encuentran el control de accesos y circulación, el uso del corredor elevado y la delimitación de las áreas sensibles, la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, la prevención de vertimientos, el manejo y registro de residuos, la vigilancia y la conservación de la cobertura vegetal.

Ventaja ambiental comparativa: permite aprovechar la infraestructura existente y conservar concentrada la huella identificada, evitando introducir una nueva localización o una fase adicional de construcción. También permite mantener las medidas estructurales y operativas orientadas a evitar el contacto directo con los microbialitos y prevenir aportes contaminantes. Su desempeño depende de la continuidad efectiva del manejo, del mantenimiento de los equipos y del cumplimiento de las autorizaciones aplicables.

7.3.2. Alternativa B. Ampliación de la huella o intensificación del uso

La ampliación de las instalaciones, la apertura de nuevas áreas o el aumento de la intensidad del uso no forman parte del proyecto evaluado en esta MIA. Como alternativa comparativa, implicarían una huella adicional y nuevas interacciones potenciales sobre suelo, vegetación, humedales, circulación de visitantes y demanda de agua y servicios. En un sistema kárstico-lagunar, un aumento

de las superficies intervenidas o de las cargas operativas requeriría una evaluación propia de su ubicación, diseño, magnitud y compatibilidad normativa.

Frente a la alternativa de continuidad dentro de la huella descrita, esta opción no ofrece una ventaja ambiental demostrada para el objeto de regularización y podría incrementar las presiones potenciales. Por ello, no se selecciona como parte del escenario evaluado ni se propone como acción del promovente.

7.3.3. Alternativa C. Suspensión de operación con retiro y restauración

Esta alternativa representa un escenario de cierre, no el objeto inmediato de la MIA. La suspensión reduciría las interacciones relacionadas con visitantes y servicios; no obstante, los beneficios ambientales de un eventual retiro dependerían del diseño y ejecución de las acciones posteriores. El retiro de estructuras puede generar perturbación temporal, residuos de desmontaje y tránsito, por lo que tendría que planearse para proteger el sustrato kárstico, los humedales y las estructuras microbialíticas. La restauración, de proponerse, necesitaría objetivos, métodos y alcance definidos con base en las condiciones reales del sitio.

Esta alternativa no se considera automáticamente superior a la continuidad con medidas de manejo, ya que el cese aislado no garantiza restauración ni elimina las presiones regionales. Su pertinencia dependería de una decisión específica de cierre y de la evaluación de los efectos de desmontaje y restauración.

7.3.4. Alternativa D. Venta del predio

La venta futura del predio se incorpora como un escenario patrimonial y de gestión ambiental, distinto de la ampliación del proyecto o de su cierre. Durante más de 34 años, los propietarios han mantenido el territorio mayoritariamente en conservación o regeneración natural y han sostenido las labores de manejo asociadas a la operación existente. Sin embargo, las presiones externas de carácter social, mediático y administrativo, junto con los costos continuos de operación, mantenimiento, defensa y regularización, pueden generar un desgaste humano y económico significativo. Por ello, la venta se contempla como una posibilidad futura para preservar la viabilidad patrimonial, no como una decisión ya adoptada ni como un abandono inmediato del sitio.

Desde el punto de vista ambiental, la línea base de comparación sigue siendo la descrita en la MIA: un predio de 179.41 ha, con aproximadamente 96 % del territorio señalado como bajo conservación o regeneración natural, y dos polígonos del proyecto que concentran la infraestructura inventariada, con una huella de 6,575 m² (0.6575 ha). El dato de conservación del 96 % y el de huella construida del 0.37 % son indicadores diferentes. La transmisión de la propiedad no determina, por sí misma, la continuidad del uso actual, el cese de la actividad ni el desarrollo de nuevas obras; dichos resultados dependerán de las decisiones del adquirente y de la situación administrativa del inmueble.

Para el pronóstico se distinguen los siguientes posibles desenlaces posteriores a la venta:

- Continuidad de la operación existente. Si el adquirente decide conservar el uso actual, el pronóstico sería comparable al escenario 7.1, siempre que se mantengan el ordenamiento de accesos, la protección de los microbialitos, la operación y mantenimiento de los sistemas de aguas residuales, el control de residuos y la conservación de las áreas vegetadas, con las autorizaciones y condiciones aplicables.
- Cese de la operación. Si el adquirente o quien resulte responsable decide suspender las actividades, la evolución se aproximaría al escenario 7.2. El cese reduciría las interacciones ligadas a visitantes y servicios, pero no significaría por sí mismo el retiro de las instalaciones ni la restauración inmediata de las áreas intervenidas. Si se determina un cierre definitivo, deberá

atenderse el plan de abandono y restauración previsto en el capítulo II, apartado II.2.5, y las condiciones que establezca la autoridad.

- Cambio de uso, ampliación o nuevas obras. Si el adquirente pretende desarrollar un proyecto distinto, ampliar la infraestructura o intensificar las actividades, se trataría de una propuesta nueva o modificada, diferente de la operación evaluada aquí. La persona física o moral que promueva esas obras deberá determinar y tramitar previamente las autorizaciones, permisos, concesiones y evaluaciones ambientales aplicables. Esta MIA no otorga autorización anticipada para nuevos usos ni para ampliar la huella actual.

La venta no tiene un resultado ambiental predeterminado: su efecto dependerá del uso posterior del predio y de la forma en que se mantenga la conservación o se gestione cualquier cambio de actividad. En este caso, la venta se evalúa como una alternativa patrimonial realista frente al desgaste económico y administrativo que implica mantener por tiempo indefinido la operación y la gestión de conservación bajo las condiciones actuales. El historial de conservación del territorio durante más de 34 años debe formar parte de la lectura del escenario, sin suponer por ello que el adquirente vaya a mantenerlo en iguales condiciones: la continuidad de las medidas y el uso futuro tendrán que quedar definidos en la transacción y en los instrumentos jurídicos y administrativos que correspondan.

La transmisión de la propiedad y la transmisión de una autorización ambiental vigente no son necesariamente el mismo acto. Si a la fecha de la operación existiera una autorización cuyos derechos y obligaciones se pretendan transferir, el cambio de titularidad deberá formalizarse ante la autoridad conforme al procedimiento vigente; el artículo 49 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental prevé dar aviso a la Secretaría del cambio de titularidad. La situación de expedientes, condicionantes y obligaciones ambientales existentes deberá revisarse expresamente antes de la transmisión, sin presumir que se extinguen o se transfieren automáticamente por la compraventa.

7.3.5. Alternativas tecnológicas y operativas dentro del proyecto

Ordenamiento de circulación y protección de microbialitos

El uso de un corredor elevado, junto con la delimitación de las áreas sensibles y la vigilancia del tránsito, es la opción de manejo descrita para canalizar la circulación y prevenir el pisoteo directo. Frente a una alternativa basada únicamente en indicaciones verbales o señalización, la medida física de canalización reduce la dependencia exclusiva del comportamiento individual de cada visitante. El pronóstico contempla el mantenimiento de la infraestructura existente, no la construcción de un corredor nuevo.

Manejo de aguas residuales

La alternativa operativa descrita en el capítulo II consiste en tratar las aguas residuales en la PTAR y retirar el efluente tratado mediante pipas hacia sitios de disposición fuera del predio. Su continuidad requiere operación, mantenimiento y conservación de registros. Las pruebas o modalidades alternativas de manejo —incluida la posible utilización de agua tratada en una jardinera de evapotranspiración— no se presentan como un sistema en operación autorizado: la MIA señala que esa opción se encuentra en fase de prueba y evaluación y que el uso para riego no está implementado. Su eventual adopción dependerá de la evaluación técnica y de los permisos o autorizaciones que correspondan.

Abastecimiento de agua

La MIA describe alternativas históricas de abastecimiento mediante acarreo desde otros predios y mediante pozo, así como el uso de agua superficial de la laguna y el trámite de regularización correspondiente. El acarreo recurrente implica traslados y consumo de combustible; la extracción subterránea debe valorarse en función de las condiciones del acuífero kárstico y de las autorizaciones aplicables. La selección y continuidad de cualquier fuente de abastecimiento deberá estar condicionada a la resolución de la autoridad competente y al uso legalmente permitido; la comparación ambiental no sustituye una concesión ni anticipa su otorgamiento.

Manejo de residuos

La separación en origen, el registro diferenciado, el almacenamiento temporal y la salida controlada de los residuos son medidas operativas que permiten mejorar la trazabilidad. La valorización de materiales depende además de la disponibilidad efectiva de prestadores externos y de sitios receptores adecuados, limitación regional descrita en el capítulo II. Por tanto, la evaluación distingue entre las prácticas internas de control y las opciones externas de reciclaje o disposición.

7.3.6. Resultado de la evaluación de alternativas

Considerando el objeto de regularización de esta MIA, la continuidad de la operación existente sin ampliación de la huella física, acompañada por el mantenimiento efectivo de las medidas preventivas y de manejo, es el escenario de referencia más congruente para valorar el proyecto en sus condiciones actuales. No obstante, la evaluación de alternativas también reconoce que la venta futura del predio puede ser una opción patrimonial legítima y relevante ante los costos y las presiones externas que afectan la continuidad de la gestión actual. La venta no puede calificarse como ambientalmente mejor o peor por sí misma; su resultado dependerá de la continuidad de la conservación, del uso que se adopte y del cumplimiento de los procedimientos aplicables.

Esta conclusión no significa que el proyecto carezca de interacciones ambientales ni que la proporción de huella predial determine por sí sola su aceptabilidad. Tampoco supone que los propietarios deban mantener indefinidamente la operación con independencia de su viabilidad económica. Significa que, mientras continúe el proyecto evaluado, la opción más congruente con el análisis es mantenerlo dentro de la configuración existente y sostener las medidas aplicables; si se opta por la venta, el destino ambiental dependerá del uso posterior y de las obligaciones y autorizaciones que deban atenderse. Si se decide un cierre definitivo antes o con independencia de la venta, deberá instrumentarse el plan de abandono y restauración previsto en el capítulo II y ajustarlo a las determinaciones de la autoridad competente.

Integración con los demás capítulos

El presente capítulo utiliza la delimitación y caracterización territorial del capítulo IV, la distribución de infraestructura, los procesos operativos y los sistemas de manejo descritos en el capítulo II, y los resultados de la matriz de interacciones y de las redes causa-efecto del capítulo V. Las medidas cuya continuidad se considera en el pronóstico se describen en el capítulo VI.

El escenario de venta se incorpora por su relevancia patrimonial y por la necesidad de anticipar distintos destinos posibles del predio, sin presentarlo como decisión tomada ni como mecanismo para excluir procedimientos ambientales.

Cualquier cambio futuro en la huella, la intensidad de uso, el tratamiento de aguas residuales, el abastecimiento hídrico o el destino del efluente deberá analizarse conforme a su naturaleza y a las autorizaciones aplicables. La referencia al cambio de titularidad de una autorización se sustenta en

el artículo 49 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental y en el trámite SEMARNAT-04-009, cuando resulte aplicable a una autorización vigente.

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

Presentación de la información

La presente Manifestación de Impacto Ambiental para la regularización de obras y actividades de Los Rápidos Lagoon Club se sustenta en la información descriptiva, cartográfica, gráfica y técnica incorporada en sus capítulos y anexos. Los materiales que se presentan a continuación permiten identificar la ubicación y distribución de las obras, describir el entorno ambiental del proyecto y documentar los elementos considerados en la evaluación de impactos.

Cartografía y planos

La MIA incorpora planos de ubicación y de conjunto, imágenes satelitales y cartografía temática para representar el predio, las instalaciones y el contexto ambiental y territorial del proyecto.

Entre los materiales cartográficos incluidos se encuentran el polígono del predio Los Rápidos referido al título de propiedad; la microlocalización de Los Rápidos Lagoon Club; los planos de conjunto de Los Rápidos y La Laguna; y la cartografía relacionada con las Unidades de Gestión Ambiental del Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Othón P. Blanco.

Asimismo, la MIA incluye imágenes y representaciones del contexto regional, las superficies transformadas y zonas de humedal, la cartografía hidrogeológica regional, los antecedentes del trazo de la autopista Chetumal–Bacalar, las unidades geológicas, el sistema de fallas, perfiles de elevación, batimetría y morfología del canal de Los Rápidos, así como representaciones de microbialitos y cuerpos de agua del entorno.

Los planos arquitectónicos y de instalaciones se encuentran relacionados en los anexos. Los archivos identificados corresponden a los siguientes grupos:

- La Laguna: arquitectura de baños y departamento; arquitectura e instalaciones de baños y departamento; arquitectura e instalaciones de muelle y palapa; instalaciones de baños y departamento; e instalaciones sanitarias e hidráulicas.
- Los Rápidos: planos de baños y departamentos; restaurante y exteriores del restaurante; recepción, oficinas y cocina; departamento; plano de conjunto; conjunto sanitario e hidráulico; corredor litoral; e instalaciones sanitarias e hidráulicas.

La MIA también contiene representaciones gráficas de la infraestructura y de elementos ambientales descritos en los capítulos correspondientes. Para su consulta, se remite a los planos, imágenes y pies de figura incorporados en el cuerpo del estudio y a los planos incluidos en los anexos.

Fotografías e imágenes

La MIA incluye fotografías e imágenes que acompañan la descripción del proyecto, su infraestructura y los componentes ambientales del sitio. Entre ellas se encuentran fotografías del andador elevado en la zona del canal, de elementos de infraestructura y de la planta de tratamiento

de aguas residuales, además de imágenes de apoyo sobre la estructura del canal y la distribución de los microbialitos.

Las imágenes satelitales, fotografías de dron, fotografías de infraestructura, planos e ilustraciones se presentan en las secciones donde se describen los elementos correspondientes. Se conservan sus títulos y pies de imagen tal como aparecen en la MIA.

Como material complementario, los anexos incluyen infografías y materiales gráficos de capacitación ambiental sobre flora y fauna, Los Rápidos, historia geológica, espuma natural y microbialitos, así como materiales operativos y evidencias de comunicación y capacitación.

Instrumentos metodológicos para la evaluación de impactos

La identificación y evaluación de impactos ambientales se desarrolla en el Capítulo V de la MIA mediante una matriz de interacción causa–efecto descrita como una adaptación del método de matrices tipo Leopold. La matriz relaciona las actividades del proyecto con los factores del sistema ambiental.

Las actividades consideradas se agrupan en operación turística, operación de infraestructura, manejo ambiental y mantenimiento. El análisis considera factores ambientales abióticos, bióticos, perceptuales y socioeconómicos, así como elementos integradores del ecosistema lagunar.

La valoración cualitativa–semicuantitativa de las interacciones se basa en tres criterios: magnitud, extensión y reversibilidad. El Capítulo V presenta los criterios de valoración y la interpretación de los valores asignados. La matriz y su explicación se consultan en ese capítulo, por lo que aquí se identifican como parte de los instrumentos metodológicos que sustentan los resultados de la evaluación.

Estudios e informes técnicos y anexos

La documentación complementaria organizada en los anexos incluye estudios técnicos e informes, manuales de operación, documentación relativa al sistema de tratamiento de aguas residuales, materiales de capacitación ambiental, documentos del trámite de extracción de agua ante CONAGUA, antecedentes relacionados con la autopista abandonada y documentos legales del predio.

Entre los archivos identificados se encuentran “Datos técnicos JEVT.pdf”, el documento relativo al relleno anterior al balneario, manuales de mantenimiento y operación, “PTAR REACTOR LOS RAPIDOS.pdf”, documentación del trámite de extracción de agua, documentos del antecedente de la autopista y documentación legal. Estos materiales se consultan en los anexos de la MIA según el tema que corresponda.

Los documentos complementarios se consideran junto con la descripción del proyecto, el diagnóstico ambiental y la evaluación de impactos desarrollados en los capítulos respectivos.

Literatura de referencia

Aranda-Cirerol, N., Herrera-Silveira, J. A., Comin, F. A., Troccoli, L., & Capurro, L. (2011). Nutrient water quality in a tropical coastal zone with groundwater discharge, northwest Yucatán, Mexico. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 68(3–4), 445–454.Enlace

Barrera-Rojas, M. A. (2022). Turismo y desarrollo: franjas de pobreza en Bacalar, Quintana Roo. ResearchGate.

Barrera-Rojas, M. A. (2024). Expansión urbana y presión sobre los recursos hídricos en Bacalar.

Burne, R. V., & Moore, L. S. (1987). Microbialites: Organosedimentary deposits of benthic microbial communities. Palaios, 2(3), 241–254.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1917). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (texto vigente). EnlaceCámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (última reforma). Enlace

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1992). Ley de Aguas Nacionales (texto vigente). Enlace

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2004). Ley General de Bienes Nacionales (texto vigente). Enlace

Carrillo, L., Yescas, M., Nieto-Oropeza, M. O., Elías-Gutiérrez, M., Alcérreca-Huerta, J. C., Palacios-Hernández, E., & Reyes-Mendoza, O. F. (2024). Investigating the morphometry and hydrometeorological variability of a fragile tropical karstic lake of the Yucatán Peninsula: Bacalar Lagoon. Hydrology, 11(5), 68.Enlace

Castro-Contreras, S. I., Gingras, M. K., Pecoits, E., Aubet, N. R., Petrash, D., Dick, G., Planavsky, N., & Konhauser, K. O. (2014). Textural and geochemical features of freshwater microbialites from Laguna Bacalar, Quintana Roo, Mexico. Palaios, 29(5), 192–209.

Comisión Nacional del Agua. (2018). Estadísticas del agua en México 2018. México: CONAGUA. Enlace

Cedeño-Vázquez, J. R., Rodríguez-Canseco, J. M., & Pozo, C. (2006). *Actualización del listado herpetofaunístico de Campeche, México*. Universidad Autónoma de Campeche. https://www.researchgate.net/publication/258394707

CONABIO. (2020). *Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB): Registros de colecta y observación de fauna silvestre para Quintana Roo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.snib.mx

Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2020). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2020. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2023). Medición de la pobreza municipal 2020–2022. https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza_municipal.aspx

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2022). Informe de pobreza y evaluación en el estado de Quintana Roo. https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/QuintanaRoo/Paginas/principal.aspx

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020). Biodiversidad de México

Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. (2025). *Appendices I, II and III*. CITES Secretariat. https://cites.org/eng/app/appendices.php

Cornell Lab of Ornithology. (2024). *eBird: Base de datos de registros de aves observadas*. Cornell University. https://ebird.org/region/MX-ROO

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2000). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental (última reforma). Enlace

Centeno, C. M., Legendre, P., Beltrán, Y., Alcántara-Hernández, R. J., Lindström, U. E., Ashby, M. N., & Falcón, L. I. (2012). Microbialite genetic diversity and composition relate to environmental variables. FEMS Microbiology Ecology, 82(3), 724–735.

Depka, A., Ratcliffe, A., Garcia Escobar, M., McFadden, J., Grundl, T., Klump, J., & Hernández, H. (2025). Hydrology and Groundwater Movement of Laguna Bacalar and the Cenote Negro, Yucatan Peninsula, Mexico.

Dupraz, C., Visscher, P. T., Baumgartner, L. K., & Reid, R. P. (2009). Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. Earth-Science Reviews, 96(3–4), 141–162.

Escalona-Segura, G., Vargas-Contreras, J. A., Interián-Sosa, L., Aranda-Coello, J. M., & Cicero, C. (2009). Especies de aves y mamíferos con categoría de riesgo en el área de influencia de la Laguna de Términos y la Reserva de la Biosfera Calakmul. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 80*(1), 241–254. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532009000100023

Espinosa-Pérez, H., Gaspar-Dillanes, M. T., & Fuentes-Mata, P. (1993). *Listados faunísticos de México III: Los peces dulceacuícolas mexicanos*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/listados/listados3.pdf

Fogret, L., Sansjofre, P., & Lalonde, S. V. (2024). Geochemistry of carbonate microbialites through time and space: Insights from the microbialite collection of the Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), France. Chemical Geology, 662, 122239., L., et al. (2024). Geochemistry of carbonate microbialites through time and environments. Chemical Geology.

Ford, D., & Williams, P. (2007). Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons.

Gallois, A. R. N. A. U. D., Bosence, D., & Burgess, P. (2018). Brackish to hypersaline facies in lacustrine carbonates: Purbeck Limestone Group, Upper Jurassic-Lower Cretaceous, Wessex Basin, Dorset, UK. FACIES, 64(2).

García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (5.ª ed.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Enlace

Gischler, E., M. A. Gibson y W. Oschmann. (2008). Giant Holocene freshwater microbialites, Laguna Bacalar, Quintana Roo, Mexico. Sedimentology 55:1293-1309.Enlace

Gischler, E., Golubic, S., Gibson, M. A., Oschmann, W., & Hudson, J. H. (2011). Microbial mats and microbialites in the freshwater Laguna Bacalar, Yucatan Peninsula, Mexico. In Advances in stromatolite geobiology (pp. 187-205). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Enlace

Gobierno Municipal de Bacalar. (2022). Plan Municipal de Desarrollo.

Gobierno Municipal de Othón P. Blanco. (2016). Programa de Desarrollo Urbano.

Gómez Pech, E. H. (2018). Paisaje litoral de la Laguna de Bacalar. Investigaciones Geográficas.

Gondwe, B. R. N., Lerer, S., Stisen, S., Marín, L., Rebolledo-Vieyra, M., Merediz-Alonso, G., & Bauer-Gottwein, P. (2010). Hydrogeology of the south-eastern Yucatan Peninsula. Journal of Hydrology.

Gössling, S. (2002). Global environmental consequences of tourism. Global Environmental Change, 12(4), 283–302. https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00044-4

Graniel, C. E., Morris, L. B., & Carrillo-Rivera, J. (1999). Effects of urbanization on groundwater resources of Mérida, Yucatán, Mexico. Environmental Geology, 37(4), 303–312. Enlace

Grey, K., & Awramik, S. M. (2020). Handbook for the study and description of microbialites. Geological Survey of Western Australia.

Hernández-Martínez, J. L., Perera-Burgos, J. A., Acosta-González, G., Alvarado-Flores, J., Li, Y., & Leal-Bautista, R. M. (2023). Assessment of physicochemical parameters by remote sensing of Bacalar Lagoon, Yucatán Peninsula, Mexico. Water, 16(1), 159. Enlace

Hernández-Terrones, L. M., et al. (2024). Hydrodynamic and physicochemical variability of Bacalar Lagoon under meteorological forcing. Hydrology, 11(5), 68. Enlace

Howell, S. N. G., & Webb, S. (1995). *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. Oxford University Press. https://global.oup.com/academic/product/a-guide-to-the-birds-of-mexico-and-northern-central-america-9780198540120

INE -SEMARNAT (2005). Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. 508pp

INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE). https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo. https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/

Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI). (2020). Atlas de los pueblos indígenas de México. https://atlas.inpi.gob.mx

IPCC. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press.

Johnson, D. B., Beddows, P. A., Flynn, T. M., & Osburn, M. R. (2018). Microbial diversity and biomarker analysis of modern freshwater microbialites from Laguna Bacalar, Mexico. Geobiology, 16(3), 319–337.

LaBuhn, S., Burrows, C., Groff, C., Neureuther, N., Schaal, S., Volk, J., ... & Poot, M. M. (2012). Chemistry and preliminary coliform microbial communities in Laguna Bacalar, Yucatan Peninsula, Mexico. In International Stromatolite Symposium Proceedings. Enlace

Lee, J. C. (1996). *The amphibians and reptiles of the Yucatán Peninsula*. Cornell University Press. https://www.cornellpress.cornell.edu/book/9780801431937/the-amphibians-and-reptiles-of-the-yucat-n-peninsula/

Matzuk, R. M. (2020). Water Chemistry and Lake Dynamics of Laguna Bacalar, Quintana Roo, Mexico (Master's thesis, The University of Wisconsin-Milwaukee).Enlace

Mercado-Silva, N., Lyons, J., Escalera-Gallardo, C., Gutiérrez-Hernández, A., & Navarro-Pérez, C. (2006). Prey fish community response to the introduction of tilapia (*Oreochromis* spp.) in Lake Zirahuen, Michoacan, Mexico. *North American Journal of Fisheries Management, 26*(4), 1002–1012. https://doi.org/10.1577/M05-025.1

Morales-Vela, B., Suárez-Morales, E., Padilla-Saldívar, J., & Olivera-Gómez, L. D. (2003). El manatí (*Trichechus manatus*), indicador del estado de salud de los sistemas acuáticos del sur del Caribe mexicano. *Biodiversitas, 49*, 1–7. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Biodiversitas49.pdf

Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Townsend Peterson, A., Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 85*(Supl.), S476–S495. https://doi.org/10.7550/rmb.41882

Organización Internacional del Trabajo (OIT). (1989). Convenio 169 sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes. https://www.ilo.org

Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. Science, 325(5939), 419–422. https://doi.org/10.1126/science.1172133

Pacheco, J., & Cabrera, A. (1997). Groundwater contamination by nitrates in the Yucatan Peninsula, Mexico. Hydrogeology Journal, 5, 47–53. Enlace

Palafox-Juárez, Betzabeth; Herrera-Silveira, Jorge; TeutliHernández, Claudia; Callejas-Jiménez, Mariana; Torrescano-Valle, Nuria (2022), “Mangroves and Wetlands of Bacalar, Quintana Roo, Mexico, dataset”, Mendeley Data, V3,Enlace

Platt, S. G., Thorbjarnarson, J. B., Rainwater, T. R., & Martin, D. R. (2010). Diet of the American crocodile (*Crocodylus acutus*) in marine and estuarine habitats of Belize: evidence from stomach contents and stable isotopes. *Journal of Herpetology, 44*(1), 104–112. https://doi.org/10.1670/08-250.1

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente; Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Enlace

Riding, R., 1991. Classification of microbial carbonates. In Riding, R. (ed.), Calcareous Algae and Stromatolites. Berlin: Springer, pp. 21–51.Enlace

Riding, R. (2000). Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial–algal mats and biofilms. Sedimentology, 47, 179-214. Enlace

Rishworth, G. M., Perissinotto, R., Bird, M. S., Strydom, N. A., Peer, N., Miranda, N. A., & Raw, J. L. (2017). Non-reliance of metazoans on stromatolite-forming microbial mats as a food resource. Scientific Reports, 7(1), 42614.

Rodiles-Hernández, R., Hendrickson, D. A., Lundberg, J. G., & Humphries, J. M. (1999). *Lacantunia enigmatica* (Teleostei: Siluriformes), a new and phylogenetically puzzling freshwater fish from Mesoamerica. *Zootaxa, 1951*, 1–24. https://doi.org/10.11646/zootaxa.1951.1.1

Rodríguez-Velázquez,CMartínez-Rivera, N., Baker, G., Hiripitiyage, Y., Sturm, B., Roberts, J. (2026). Documenting the occurrence of microbial carbonate deposits in Puerto Rico. Scientific Reports.

Sánchez-Sánchez, J. A., Álvarez-Legorreta, T., Pacheco-Ávila, J. G., González-Herrera, R. A., & Carrillo-Bribiezca, L. (2015). Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México. Revista mexicana de ciencias geológicas, 32(1), 62-76. Enlace

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2021). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Límites permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en cuerpos receptores. https://paot.org.mx/centro/normas_a/2022/2022_03_11_MAT_semarnat.pdf

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). (1998). NOM-002-SEMARNAT-1996, Límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales a sistemas de alcantarillado. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3295/1/nom-002-semarnat-1996.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1997). NOM-003-SEMARNAT-1997, Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas y bienes nacionales. (Enlace PDF colectivo de normas). https://agua.org.mx/biblioteca/normas-oficiales-mexicanas-nom-001-semarnat-1996-nom-002-semarnat-1996-nom-003-semarnat-1997/

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2005). NOM-052-SEMARNAT-2005, NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010

SEMARNAT & CONABIO. (2020). *Estrategia para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad: fichas de especies prioritarias - Quintana Roo*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.biodiversidad.gob.mx/region/areasprot/tomasphp/quintanaroo.html

Secretaría de Bienestar. (2023). Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social. Gobierno de México. https://www.gob.mx/bienestar

Servicio Geológico Mexicano. (s. f.). GeoInfoMex: Banco de datos geocientíficos. Gobierno de México. Recuperado el 9 de enero de 2026. Enlace

Servicio Meteorológico Nacional. (2025). *Normales climatológicas por estado: Quintana Roo*. Comisión Nacional del Agua. Enlace

Stone, L., & Weisburd, R. S. (1992). Positive feedback in aquatic ecosystems. Trends in ecology & evolution, 7(8), 263-267.

Tobon Velazquez, N. I., Rebolledo Vieyra, M., Paytan, A., Broach, K. H., & Hernandez Terrones, L. M. (2019). Hydrochemistry and carbonate sediment characterisation of Bacalar Lagoon, Mexican Caribbean. Marine and Freshwater Research, 70(3), 382-394.

Villarreal-Sonora, M (2025). Los microbialitos de Bacalar. Preguntas respondidas desde el conocimiento local y la ciencia. Territorios vivos. 244 pp

Villarreal Sonora, M. L. (2025.). Informe Técnico Preliminar: Análisis de Capacidad de la Jardinera de Evapotranspiración “Los Rápidos”.10 pp.

Yanez-Montalvo, A., Águila, B., de León-Lorenzana, A. S., Bayona, A., Torrescano-Valle, N., Popoca, P., & Falcón, L. I. (2025). Karst-environments of the southeastern Yucatan Peninsula: Hotspots for modern freshwater microbialites. PLoS One, 20(5)

Yang, L. H., & Gratton, C. (2014). Insects as drivers of ecosystem processes. Current Opinion in Insect Science, 2, 26–32.