



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE HONDURAS

“NUESTRA SEÑORA REINA DE LA PAZ”

Dirección de Postgrado e Investigación

“EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y PROPUESTA DE
PLAN DE MEJORA AMBIENTAL DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE
MARCALA EN EL DEPARTAMENTO DE LA PAZ”

POR

Alice Eunice Galeas Calderón

Director Técnico

Dra. Carla Rivera

Asesor Metodológico

Dr. Francisco Castro

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TITULO DE:
MÁSTER EN GESTIÓN DE PROYECTOS

Mayo de 2025

Tegucigalpa M.D.C., Honduras

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante en cada paso de este camino. Gracias por darme la fuerza en los momentos de debilidad, la luz en medio de la incertidumbre y la sabiduría necesaria para culminar este proceso. Sin su gracia y misericordia, este logro no habría sido posible.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por ser mi fuente inagotable de fortaleza, sabiduría y esperanza. Por iluminar mi camino en los momentos de duda, sostenerme en las dificultades y permitirme alcanzar esta meta con humildad y gratitud.

A mi familia

Por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por ser mi refugio y mi impulso constante. Gracias por sus oraciones, su paciencia y su apoyo en cada etapa de este proceso.

A mis amigos

Por acompañarme en los momentos de cansancio y celebración, por las palabras de ánimo, los consejos sinceros y las risas que aligeraron las jornadas más difíciles. Cada uno ha sido parte esencial de este logro.

A mis catedráticos y tutores

Por compartir su conocimiento, su tiempo y su vocación. Gracias por guiarme con compromiso y exigencia, y por motivarme a crecer tanto académica como personalmente. Su enseñanza ha dejado huella en mi formación.

A todos los que, de alguna forma, me brindaron su apoyo en este camino, mi más sincero agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	17
ABSTRACT	19
INTRODUCCIÓN	21
CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.1. Situación problemática	23
1.1.1. Antecedentes del problema de investigación.....	23
1.2. Objetivos	30
1.2.1. General.....	30
1.2.2. Específicos.....	30
1.3. Pregunta (s) de investigación	31
1.3.1. Preguntas de investigación especificas.....	31
1.4. Justificación	31
1.4.1. Criterio de conveniencia	32
1.4.2. Criterio de relevancia social	32
1.4.3. Criterio de implicaciones prácticas.....	34
1.4.4. Criterio de utilidad metodológica	34
1.4.5. Viabilidad	35
CAPITULO 2. MARCO CONTEXTUAL	36

2.1. Antecedentes del tratamiento de aguas residuales y el ambiente.....	37
2.1.1. Tratamiento de Aguas Residuales a Nivel Mundial	38
2.1.2. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica y América Central	39
2.1.3. Tratamiento de Aguas Residuales en Honduras	40
2.1.4. Tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala, departamento de La Paz	42
CAPITULO 3. MARCO CONCEPTUAL	50
3.1. Marco Legislativo aplicado al tratamiento de aguas residuales y el ambiente en Honduras.....	51
3.2. Estructuras organizativas en la Gestión de Aguas Residuales	58
3.2.1. Estructuras organizativas en la gestión de aguas residuales a nivel nacional	58
3.2.2. Estructuras organizativas en la gestión de aguas residuales de Marcala, La Paz	64
3.3. Conceptos Básicos.....	67
3.3.1. Impacto Ambiental (IA)	67
3.3.2. Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)	68
3.3.3. Aguas residuales	68
3.3.4. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	69
3.3.5. Plan de Mejora Ambiental.....	70
3.3.6. Calidad Ambiental.....	70

3.4. Importancia de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)	
71	
3.4.1. Tipos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales	71
3.4.2. Tipos de tratamiento de aguas residuales	73
3.5. Ciclo de vida en la gestión de proyectos	76
3.5.1. Inicio (Initiation)	76
3.5.2. Planificación (Planning)	76
3.5.3. Ejecución (Execution)	77
3.5.4. Monitoreo y control (Monitoring & Controlling)	77
3.5.5. Cierre (Closure)	77
CAPITULO 4. MÉTODO	79
4.1. Enfoque, alcance y diseño de la investigación	80
4.1.1. Enfoque.....	80
4.1.2. Alcance	81
4.1.3. Diseño de la investigación.....	82
4.2. Diseño metodológico de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).....	83
4.2.1. Categorización	84
4.2.2. Términos de Referencia (TDR)	85
4.2.3. Identificación y Evaluación de impactos y mitigación.....	91
4.2.4. Propuesta de medidas de manejo ambiental	104
4.2.5. Elaboración de informe de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)..	106

4.3. Técnicas y herramientas de recolección de datos	106
4.3.1. Muestreo y análisis laboratorial en la calidad de agua y efluente	107
4.3.2. Revisión documental	108
4.3.3. Grupo focal con expertos.....	108
4.3.4. Aplicación de la Metodología de evaluación de impacto ambiental	110
4.4. Procedimiento	110
4.4.1. Procedimiento del muestreo de agua	111
4.4.2. Análisis laboratorial.....	113
4.4.3. Procedimiento seguido para el desarrollo de grupo focal con expertos	113
4.4.4. Procedimiento seguido para la Evaluación de Impacto Ambiental.....	114
4.5. Criterios de análisis y evaluación del estándar	123
4.6. Validación de la información.....	124
CAPITULO 5. RESULTADOS	125
5.1. Prueba de validez del instrumento de investigación.....	126
5.2. Resultados de Grupo focal	127
5.3. Resultados del muestreo laboratorial	129
5.4. Evaluación de Impacto Ambiental Evaluación de Impacto Ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala en el departamento de La Paz	131
5.4.1. Actividad y Categorización del Proyecto con base a la Tabla de categorización según Normativa ambiental	131
5.4.2. Descripción del Proyecto.....	132

5.4.3.	Línea base ambiental	157
5.4.4.	Línea base social.....	169
5.4.5.	Identificación y Evaluación de impactos ambientales.....	172
CAPITULO 6. DISCUSIÓN.....		232
6.1.	Cumplimiento de objetivos	233
6.1.1.	Evaluación técnica-operativa del estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales	233
6.1.2.	Determinación de la conformidad de los efluentes con la normativa nacional de calidad del agua.....	236
6.1.3.	Evaluación del impacto ambiental de los efluentes sobre cuerpos receptores conforme a lineamientos de la EIA.....	239
6.1.4.	Aplicación de herramientas de gestión de proyectos en la mejora operativa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el municipio de Marcala 242	
CAPITULO 7. PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA AMBIENTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE MARCALA EN EL DEPARTAMENTO DE LA PAZ		245
7.1.	Introducción.....	246
7.1.1.	Descripción del proyecto y su localización	247
7.1.2.	Objetivos del Plan de Mejoramiento Ambiental	249
7.1.3.	Identificación, caracterización y valoración de los principales impactos identificados	250

7.1.4.	Metodología utilizada para la valoración de impactos	250
7.1.5.	Medidas de mitigación propuestas y duración en la implementación..	251
7.1.6.	Cronograma de ejecución de las acciones de los Planes propuestos y responsable de ejecutarlas.	252
7.2.	Descripción del proyecto	252
7.3.	Identificación, caracterización y valoración de impactos ambientales..	253
7.4.	Evaluación de impactos y síntesis	253
7.5.	Propuesta de Plan de Mejora Ambiental	257
7.6.	Planes de manejo específicos	267
7.6.1.	Plan de Manejo de Desechos Sólidos Ordinarios	267
7.6.2.	Plan de Manejo de Desechos Sólidos tóxicos y peligrosos	268
7.6.3.	Plan de Manejo de Desechos Líquidos.....	269
7.6.4.	Plan de emergencia y contingencia	269
7.6.5.	Monitoreo y evaluación interna de implementación de la propuesta de plan de mejora ambiental y de los planes de manejo	270
7.6.6.	Análisis Costo-Beneficio	273
CAPITULO 8. CONCLUSIONES		275
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		279
ANEXOS		298
ANEXO A. Formato de instrumentos de recolección de información.....		299
ANEXO B. Constancias de revisión de instrumentos de recolección de información por expertos.....		310

ANEXO C. Consentimientos informados firmados.....	314
ANEXO D. Matriz de Causa- Efecto/ Proyecto - Ambiente.....	318
ANEXO E. Matriz de Evaluación de Impacto Ambiental – Fase de Operación	321
ANEXO F. Matriz de Evaluación de Impacto Ambiental – Fase de Cierre/ Abandono	322
ANEXO G. Matriz de análisis de interesados.....	323
ANEXO H. Matriz de análisis de Costo- beneficio del Plan de mejora ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala	325

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de elementos de componen la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Marcala, la paz.....	45
Tabla 2 Compilación del Marco Legislativo aplicado al tratamiento de aguas residuales y el ambiente en Honduras	51
Tabla 3 Marco Institucional en Agua Potable y Saneamiento (APS) de Honduras.	58
Tabla 4 Modelo de gestión de los servicios de saneamiento a nivel municipal	63
Tabla 5 Tecnología de tratamiento de aguas residuales en base a contaminante presente.	71
Tabla 6 Agentes potencialmente infecciosos presentes en aguas residuales domésticas no tratadas.....	75
Tabla 7 Criterios Por Evaluar en el Proceso de Valoración de Impactos Ambientales..	96
Tabla 8 Clasificación de los Impactos según su Magnitud.	103
Tabla 9 Resultados de laboratorio: DBO, DQO y SST	129
Tabla 10 Resultados de laboratorio: DBO, DQO y SST	133
Tabla 11 Coordenadas geográficas en el sistema WGS64	134
Tabla 12 Principales actividades operativas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala	148
Tabla 13 Materiales y equipo utilizado en la operación del sistema de tratamiento de aguas residuales	150
Tabla 14 Maquinaria y equipo que utilizar en la etapa de cierre del proyecto.....	151
Tabla 15 Personal administrativo - técnico de Aguas de Marcala	152
Tabla 16 Parámetros de calidad de agua residual de la planta de tratamiento	156
Tabla 17 Iconografía cultural de Marcala, departamento de La Paz.	172
Tabla 18 Cuadro Síntesis de Impactos Ambientales - PTAR Marcala.....	173

Tabla 19 Impacto de Alteración a la calidad del aire durante las Fase de Operación y cierre del Proyecto.	180
Tabla 20 Impacto de aumento de las emisiones de ruido durante las Fase de Operación y Cierre del Proyecto.	184
Tabla 21 Impacto ocasionado por desechos sólidos durante la Fase de Operación- y Cierre del Proyecto.	189
Tabla 22 Impacto ocasionado por procesos erosivos y sedimentación durante la Fase de Operación y cierre del Proyecto.	192
Tabla 23 Impacto ocasionado por contaminación del suelo durante la Fase de Operación del Proyecto	196
Tabla 24 Impacto ocasionado por alteración en la calidad de agua durante la Fase de Operación y Cierre del Proyecto	200
Tabla 25 Impacto ocasionado por el deterioro del recurso natural con valor económico durante la Fase de Operación del Proyecto	203
Tabla 26 Impacto ocasionado por la perturbación en la biota acuática durante la Fase de Operación y cierre del Proyecto	207
Tabla 27 Impacto ocasionado por alteración o recuperación de la cobertura vegetal durante la Fase de Operación y cierre del Proyecto	210
Tabla 28 Impacto ocasionado por la afectación a las poblaciones de fauna terrestre durante la Fase de Operación del Proyecto	213
Tabla 29 Impacto ocasionado por la afectación a las poblaciones de aves y murciélagos durante la Fase de Operación y cierre del Proyecto	216
Tabla 30 Impacto ocasionado por la afectación a las poblaciones durante la Fase de Operación y cierre del Proyecto	219

Tabla 31 Impacto ocasionado por la afectación a las poblaciones por malos olores durante la Fase de Operación del Proyecto	222
Tabla 32 Impacto ocasionado por la oportunidad de empleo de mano de obra local durante la Fase de Operación del Proyecto	225
Tabla 33 Impacto ocasionado por la Estimulación de la economía local en la Fase de Operación del Proyecto	228
Tabla 34 Impacto ocasionado por la alteración o recuperación del paisaje en la Fase de Operación y cierre del Proyecto	231
Tabla 35 Simbología de Plan de Mejora Ambiental para la etapa de operación y cierre del proyecto.	258
Tabla 36 Programa de medidas de control ambiental en la etapa de operación.....	259
Tabla 37 Programa de medidas de control ambiental en la etapa de cierre.....	263
Tabla 38 Indicadores de monitoreo del plan de mejora ambiental propuesto	271
Tabla 39 Matriz de causa - efecto de impactos	318
Tabla 40 Matriz de evaluación de impacto ambiental -Fase de Operación.....	321
Tabla 41 Matriz de evaluación de impacto ambiental - Fase de Cierre/ Abandono.....	322
Tabla 42 Matriz de análisis de interesados	323

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Estructura organizativa a nivel nacional.....	65
Ilustración 2 Sección de la Tabla de Categorización Ambiental Sector 11. Saneamiento; Subsector B. Gestión de Aguas Residuales	85
Ilustración 3 Esquema de las áreas del proyecto e influencia.	88
Ilustración 4 Elementos principales del proceso de línea base ambiental y social.....	91
Ilustración 5 Pasos clave en el desarrollo de un Plan de Manejo Ambiental.	105
Ilustración 6 Sitios de muestreo de agua	112
Ilustración 7 Proceso de elaboración de la propuesta de Plan de Mejora Ambiental... ..	122
Ilustración 8 Mapa de Ubicación del Proyecto (Hoja Cartográfica)	133
Ilustración 9 Mapa de Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ..	134
Ilustración 10 Área de influencia directa del proyecto.....	136
Ilustración 11 Perspectiva de Planta de Tratamiento.....	138
Ilustración 12 Estación de Bombeo y Caja distribuidora	138
Ilustración 13 (Pretratamiento) Desarenador.....	140
Ilustración 14 Reactor de Flujo Ascendente (RAFA)	141
Ilustración 15 Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA).....	141
Ilustración 16 Vista de Filtro Percolador (FP)	143
Ilustración 17 Tratamiento Terciario: Vista de Sedimentador Secundario	144
Ilustración 18 Plano General de la Planta de Tratamiento	146
Ilustración 19 Mapa de suelos de Marcala, La Paz	159
Ilustración 20 Mapa de Redes Hídricas de Marcala, La Paz.	161
Ilustración 21 Mapa de Áreas protegidas de Marcala, La Paz.	163
Ilustración 22 Mapa de Riesgos a Inundaciones en Marcala, La Paz.....	164
Ilustración 23 Mapa de Riesgos a Sismos en Marcala, La Paz.	165

Ilustración 24 Mapa de Riesgos de Deslizamientos en Marcala, La Paz	166
Ilustración 25 Mapa de Riesgos a Sequía en Marcala, La Paz.	167
Ilustración 26 Mapa de Riesgos de Incendios Forestales en Marcala, La Paz.	168
Ilustración 27 matriz resumen de impactos para la fase de operación del proyecto. ...	255
Ilustración 28 matriz resumen de impactos para la fase de cierre del proyecto	256
Ilustración 29 Estructura de desglose de trabajo en la implementación del plan de manejo de desechos sólidos ordinarios.....	267
Ilustración 30 Estructura de desglose de trabajo para la implementación del plan de manejo de desechos sólidos tóxicos y peligrosos.....	268
Ilustración 31 Estructura de desglose de trabajo para el plan de manejo de desechos líquidos en la planta de tratamiento de aguas residuales	269
Ilustración 32 Estructura de desglose de trabajo para el plan de emergencia y contingencia.....	270

SIGLAS Y ABREVIATURAS

APS: Agua Potable y Saneamiento

CONASA: Consejo Nacional de Agua Potable y Saneamiento

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental

ERSAPS: Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento

JAAS: Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento

MAMCEPAZ: Mancomunidad de los Municipios del Centro y Sur de La Paz

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

RAFA: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

SANAA: Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados

SINEIA: Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental

TDR: Términos de Referencia

UMA: Unidad Municipal Ambiental

UNICEF: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

UTM: Universal Transverse Mercator

WHO: World Health Organization

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo evaluar el impacto ambiental generado por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Marcala, departamento de La Paz, durante el primer trimestre del 2025, y proponer un plan de mejora ambiental orientado a optimizar su funcionamiento y sostenibilidad. Para alcanzar este propósito, se integraron herramientas de gestión de proyectos como el análisis de interesados, la elaboración de estructuras desagregadas de trabajo (EDT) y la aplicación de matrices para la identificación de riesgos e impactos ambientales.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, utilizando métodos cualitativos y cuantitativos. Se realizaron muestreos de agua y análisis laboratoriales, revisión documental, aplicación de metodologías de evaluación de impacto ambiental, y consultas a expertos a través de grupos focales. Asimismo, se evaluó el estado actual de la planta, la calidad de los efluentes descargados y su efecto en el cuerpo receptor, conforme a la normativa ambiental hondureña.

Como parte de los resultados del análisis de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), se identificaron y jerarquizaron los impactos ambientales asociados a la operación de la PTAR, destacando aquellos de mayor significancia en función de su magnitud, extensión, duración y probabilidad de ocurrencia. Estos hallazgos permitieron priorizar las acciones correctivas y preventivas más relevantes para mitigar los efectos negativos sobre el entorno.

Los resultados revelaron deficiencias operativas significativas en el sistema de tratamiento, cumplimiento de parámetros legales de descarga y riesgos ambientales asociados en su etapa de operación. Se concluye que la implementación de un plan de mejora ambiental, apoyado en principios de gestión de proyectos, puede contribuir a

optimizar el desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el municipio de Marcala, reducir sus impactos negativos y fortalecer la sostenibilidad del saneamiento en el municipio.

ABSTRACT

This thesis aims to evaluate the environmental impact generated by the wastewater treatment plant (WWTP) of the municipality of Marcala, in the department of La Paz, during the first quarter of 2025, and to propose an environmental improvement plan focused on optimizing its performance and sustainability. To achieve this objective, project management tools were integrated, including stakeholder analysis, the development of work breakdown structures (WBS), and the application of matrices for identifying risks and environmental impacts.

The study was conducted using a mixed-methods approach, combining both qualitative and quantitative methods. Water sampling and laboratory analyses were conducted, along with documentary reviews, application of environmental impact assessment methodologies, and expert consultations through focus group discussions. In addition, the current condition of the plant, the quality of the discharged effluents, and their effect on the receiving body of water were evaluated in accordance with Honduran environmental regulations.

As part of the EIA analysis results, the environmental impacts associated with the WWTP's operation were identified and prioritized, highlighting those of greatest significance based on their magnitude, extent, duration, and likelihood of occurrence. These findings made it possible to prioritize the most relevant corrective and preventive actions to mitigate the negative effects on the environment.

The results revealed significant operational deficiencies in the treatment system, noncompliance with legal discharge parameters, and environmental risks associated with its operational phase. It is concluded that the implementation of an environmental improvement plan, supported by project management principles, can contribute to

optimizing the performance of the wastewater treatment plant in the municipality of Marcala, reducing its negative impacts, and strengthening the sustainability of sanitation services in the area.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento adecuado de las aguas residuales constituye un desafío urgente para los municipios de Honduras, donde las limitaciones técnicas y financieras impiden alcanzar una gestión eficiente y sostenible. La ciudad de Marcala, en el departamento de La Paz, no se aleja de esta realidad, su planta de tratamiento de aguas residuales opera con deficiencias técnicas que comprometen tanto la calidad del agua vertida como la salud de los ecosistemas y comunidades cercanas.

En este contexto, la presente investigación se enfoca en la evaluación del impacto ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala y en la formulación de un plan de mejora ambiental que permita optimizar su funcionamiento. Este estudio se distingue por la integración de herramientas de gestión de proyectos al proceso de evaluación ambiental, lo que brinda un enfoque estructurado para identificar deficiencias, planificar mejoras y gestionar los recursos de manera más efectiva.

El documento se estructura en siete capítulos: comienza con el planteamiento del problema, los antecedentes y la justificación; continúa con el marco contextual y conceptual, seguido por la metodología empleada, la presentación y análisis de resultados, la propuesta de plan de mejora ambiental, y finaliza con una discusión orientada al cumplimiento de los objetivos planteados. Esta tesis aspira a ser un aporte técnico y metodológico replicable en otros municipios del país que enfrentan desafíos similares en materia de saneamiento.

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presentará el planteamiento del problema de investigación. Se describirán los elementos: objetivos de la investigación, las preguntas que guían el estudio, la justificación de la investigación, la viabilidad y las deficiencias en el conocimiento actual del tema de investigación.

1.1. Situación problemática

La gestión del tratamiento de aguas residuales y la adecuada disposición de sus subproductos se ha convertido en un componente esencial en las estrategias globales para la protección del medio ambiente y la promoción de la salud pública. En muchas regiones del mundo, el crecimiento urbano acelerado, la industrialización y el aumento de la demanda de servicios básicos han generado una presión significativa sobre los sistemas de saneamiento existentes, evidenciando la necesidad urgente de implementar soluciones eficaces y sostenibles. El tratamiento adecuado de las aguas residuales no solo permite reducir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, sino que también previene la proliferación de enfermedades, protege los ecosistemas acuáticos y contribuye a la seguridad hídrica. En este contexto, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) juegan un papel fundamental, ya que constituyen la infraestructura clave para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales y sanitarias, así como para avanzar hacia modelos de desarrollo más resilientes y sostenibles.

1.1.1. Antecedentes del problema de investigación

A continuación, se presentan los diferentes antecedentes del problema de investigación, comenzando con los antecedentes a nivel global.

1.1.1.1. Antecedentes a nivel global

Según la ONU (2018) a nivel mundial se estima que el 80% del total de las aguas residuales industriales y municipales se liberan al medio ambiente sin ningún tratamiento previo, lo que resulta en un deterioro creciente de la calidad general del agua con impactos perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas. La OMS (2022), estimó que más de 505,000 muertes anuales en el mundo se deben a enfermedades diarreicas causadas por el consumo de agua contaminada. En América Latina, estas enfermedades provocan más de 77,600 muertes anuales en menores de cinco años (Pan American Health Organization (PAHO), 2022). Estos datos evidencian una correlación directa entre el acceso deficiente al agua de calidad para consumo humano y la alta prevalencia de enfermedades.

Según el informe Avances en el tratamiento de aguas residuales 2024 Update de UN-Water (2024), se estimó que el 42 % de las aguas residuales domésticas a nivel mundial se liberaron sin un tratamiento seguro, lo que equivale a unos 113,000 millones m³ de aguas residuales contaminantes. Estos datos reflejan una mejora con respecto a estimaciones anteriores, pero aún indican que casi la mitad de los efluentes domésticos se vierte directamente al ambiente sin el nivel adecuado de tratamiento.

El Programa de ONU Medio Ambiente (UNEP) respalda estas cifras, señalando que diariamente casi el 80 % del total de aguas residuales se devuelve al entorno sin tratamiento, lo que tiene consecuencias negativas graves para la salud humana, la biodiversidad y la seguridad del agua (Filipenco, 2025).

Se considera que la causa inmediata del aumento de la contaminación del agua es el crecimiento de las cargas de aguas residuales a los ríos y lagos (UNEP, 2016) . A

esto se le atribuyen condiciones de crecimiento poblacional, actividades intensivas agrícolas y sistemas de alcantarillado con niveles bajos o nulos de tratamiento de efluentes. Esta alarmante situación provoca un deterioro de la calidad de las fuentes de agua, cuya contaminación alta en patógenos, nutrientes y sustancias tóxicas, trasciende más allá de afectar la disponibilidad de agua potable, sino que también repercute en el deterioro de la biodiversidad acuática y compromete la seguridad alimentaria.

1.1.1.2. Antecedentes a nivel regional

Según el Banco Mundial (2020), en América Latina y El Caribe, solo alrededor del 60 por ciento de la población está conectada a un sistema de alcantarillado sanitario y un estimado del 30 por ciento de las aguas residuales de la región son tratadas. A pesar del nivel de urbanización y altos niveles de ingreso económico en la región, siempre existen repercusiones en la salud pública, la sostenibilidad ambiental y la equidad social.

La inadecuada gestión de las aguas residuales en la región no solo intensifica los problemas de salud pública, al facilitar la propagación de enfermedades de origen hídrico, sino que también perpetúa un ciclo de degradación ambiental con efectos acumulativos. Las proporciones de nutrientes provenientes de las aguas residuales de fuentes puntuales, como industrias y plantas de tratamiento, en contraste con otras fuentes, como la agricultura y el crecimiento poblacional urbano, son variables según la región. El vertido de aguas residuales sin tratamiento adecuado contamina el ambiente y genera una cadena de impactos negativos que afecta directamente el bienestar de las comunidades. Esta problemática compromete seriamente la sostenibilidad de los

recursos hídricos y obstaculiza los esfuerzos para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el agua, la salud y el medio ambiente.

1.1.1.3. Antecedentes a nivel de Honduras

Desde 1992 Honduras ha experimentado una duplicación de su población (World Population Review, 2024). Años de inestabilidad política, gobernanza inadecuada, la mala gestión del capital humano y los recursos naturales han dado lugar a importantes desafíos en el país. En la actualidad, Honduras enfrenta dificultades para satisfacer las necesidades esenciales en infraestructura crítica de agua y saneamiento. Es importante darles prioridad a estos desafíos para abordar el rápido crecimiento demográfico y alcanzar los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible comprometidos por el país para el 2030.

Para el año 2013, en las zonas rurales de Honduras, solo el 79 % de la población tenía acceso a fuentes mejoradas de agua, situación que se reflejó en una elevada incidencia de enfermedades diarreicas, con 18.6 episodios por niño por año, indicadores que evidencian una relación directa entre la calidad del agua, condiciones de saneamiento y salud pública (Halder, Bearman, Sanogo, & Stevens).

A partir del año 2024, Honduras ocupa el lugar 124 de 163 países en progreso hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Sachs, Lafortune, & Grayson, 2024), siendo los indicadores de salud pública y protección del medio ambiente particularmente difíciles de cumplir, que dependen en gran medida de una cadena de servicios de saneamiento que funcione correctamente. Una cadena de servicios del saneamiento se refiere a todo el proceso involucrado en la gestión de los excrementos humanos, las aguas residuales y los desechos sólidos para garantizar

prácticas seguras y sostenibles. Abarca todos los pasos, desde el punto de generación hasta el tratamiento final y la eliminación o reutilización. La cadena de servicios del saneamiento es crucial para salvaguardar la salud pública, proteger el medio ambiente y promover prácticas sostenibles en la gestión de residuos y los servicios de saneamiento. La gestión adecuada de la cadena de servicios del saneamiento es esencial para alcanzar varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en específico el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 relacionado con el agua limpia y el saneamiento, la salud y la sostenibilidad ambiental.

En Honduras el tratamiento adecuado y seguro de las aguas residuales es esencial para preservar los recursos hídricos y prevenir la contaminación de ecosistemas acuáticos. Sin embargo, la evaluación sistémica y rigurosa de los impactos ambientales de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el país aún presenta desafíos significativos.

1.1.1.4. Antecedentes a nivel de Marcala, departamento de La Paz

El municipio de Marcala, situado en el Departamento de La Paz, ha experimentado cambios significativos en el sector de saneamiento a nivel del casco urbano a lo largo del tiempo. De acuerdo con el CONASA (2014) en el Diagnóstico del Sector de Agua y Saneamiento del Municipio de Marcala, La Paz, detalla que, en 1960, se construyó el primer sistema de alcantarillado sanitario en el casco urbano de Marcala, la cobertura se limitó a los barrios de Concepción y San Miguel. En 1980, el sistema de alcantarillado sanitario amplió su cobertura a incluir los barrios San Miguel, La Pedrera y Brisas del Perea, incorporando redes de tuberías de 6 pulgadas de diámetro y un tanque Imhoff como tratamiento primario de aguas residuales. En el 2015 se mejoró el

sistema de alcantarillado y sistema de tratamiento de aguas residuales, mejorando la disposición de las aguas residuales que no contaban con un tratamiento adecuado.

A pesar de los esfuerzos por mejorar la calidad de agua residual tratada, Marcala enfrenta desafíos de cobertura total de los servicios de saneamiento. El servicio de alcantarillado sanitario se presta de manera parcial en el casco urbano, dejando a barrios completos sin servicio de alcantarillado, optando por soluciones individuales de saneamiento para la disposición de excretas segura. Esto último entra en duda debido a reportes que se han realizado a la Unidad Municipal Ambiental (UMA) de Marcala, donde se reportan casos de viviendas con soluciones individuales conectadas directamente a los ríos y quebradas. El municipio de Marcala continúa enfrentando retos para garantizar una cobertura y sostenibilidad completas en sus servicios de saneamiento.

En 2024 el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillado (SANAA) (Herrera & Peralta, 2024) realizó un diagnóstico de la situación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala. En este diagnóstico se resumen las fallas en el equipo de bombeo de la línea baja del sistema de alcantarillado, dando lugar al vertido de agua residual sin tratamiento proveniente de esta línea directamente en el Río Chusmuy. Al no poder aforar el caudal por las condiciones físicas de inestabilidad del suelo en el perímetro de la planta de tratamiento de aguas residuales, el diagnóstico se efectuó en base a un caudal histórico de 21.69 L/s, esto implica que, al no haber realizado un aforo real, existe la incertidumbre estadística sobre cual flujo realmente ingresa a la PTAR, lo que podría ocasionar incertidumbre en las predicciones del diagnóstico, las posibles variaciones del caudal podrían afectar el desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en términos de su capacidad de tratamiento

y calidad del efluente aumentando el riesgo de generar un impacto ambiental significativo por la contaminación de los recursos hídricos. Además, se identificó que, en la línea alta del sistema de alcantarillado, que desemboca en la planta de tratamiento, hay una pérdida de eficiencia en el proceso de depuración de residuos sólidos. Esto puede resultar en descargas de efluentes con una calidad inferior a los estándares ambientales y aquellos establecidos en la Norma Técnica de Descarga de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores.

En este contexto, el siguiente documento aborda a las plantas de tratamiento de aguas residuales como un campo de investigación para la gestión ambiental y el saneamiento. En particular, se centra en el análisis y evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de Marcala, en el departamento de La Paz. Por medio de este enfoque, se busca identificar los desafíos operativos, la eficiencia del tratamiento y el cumplimiento de los estándares ambientales, con el propósito de proponer mejoras y optimizar su funcionamiento en beneficio de la comunidad y los ecosistemas receptores.

Con base en lo anterior, se plantea el problema de investigación a través de la siguiente pregunta, que orienta el análisis y la evaluación de la posibilidad de implementar un proyecto de mejora:

¿Qué impacto ambiental genera la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala hasta el primer trimestre de 2025, y cómo puede evaluarse utilizando un enfoque basado en la gestión de proyectos?

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Evaluar el impacto ambiental de la planta de tratamiento de las aguas residuales en el municipio de Marcala, departamento de La Paz, al primer trimestre del 2025, dando cumplimiento a lo establecido en la normativa ambiental aplicable.

1.2.2. Específicos

- ❖ Describir el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala del departamento de La Paz en términos de funcionamiento y mantenimiento.
- ❖ Identificar qué parámetros químicos, biológicos y físicos muestran los efluentes descargados de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala departamento de La Paz y como cumplen con los estándares legales.
- ❖ Analizar a través de la evaluación de impacto ambiental (EIA) cómo afectan los efluentes descargados por la planta de tratamiento de aguas residuales, en el municipio de Marcala, departamento de La Paz, a la calidad del agua en el cuerpo receptor cercano.
- ❖ Determinar si la integración de herramientas de gestión de proyectos puede mejorar la planificación, optimización e implementación de medidas para el funcionamiento eficiente de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala, departamento de la Paz.
- ❖ Elaborar propuesta específica para mejorar la sostenibilidad ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales en Marcala, departamento de La Paz.

1.3. Pregunta (s) de investigación

A continuación, se detallan las preguntas de investigación:

1.3.1. Preguntas de investigación específicas

- ❖ ¿Cuál es el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala en términos de funcionamiento y mantenimiento?
- ❖ ¿Qué parámetros químicos, biológicos y físicos muestran los efluentes descargados de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala, departamento de La Paz y su cumplimiento de la Norma de calidad de aguas residuales?
- ❖ ¿Cómo afectan los efluentes descargados por la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala departamento de La Paz a la calidad del agua en un cuerpo receptor cercanos?
- ❖ ¿Cómo puede la integración de herramientas de gestión de proyectos mejorar la planificación, optimización e implementación de medidas de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala departamento de La Paz?
- ❖ ¿Qué propuesta específica pueden desarrollarse en un plan de gestión ambiental para mejorar la sostenibilidad ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala departamento de La Paz?

1.4. Justificación

Las aguas residuales tratadas a través de un sistema adecuado son un factor clave para garantizar la protección ambiental y la salud pública, especialmente en municipios como Marcala, donde la infraestructura enfrenta actualmente desafíos operativos y de

mantenimiento. La descarga directa de efluentes sin un tratamiento previo puede generar contaminación en el suelo, ríos, arroyos y depósitos de agua naturales, afectando a la biodiversidad y la calidad de vida de las personas que viven a sus alrededores. En este contexto, la presente investigación aborda un tema de interés ante una problemática ambiental en un municipio de Honduras, además, proporcionará un análisis detallado utilizando herramientas lógicas de gestión de proyectos que permitirá identificar las deficiencias en los procesos actuales y propondrá soluciones prácticas de mitigación y corrección, lo que resultará esencial para mejorar la gestión de la planta de tratamiento y, como resultado el bienestar de las comunidades locales.

1.4.1. Criterio de conveniencia

La investigación es conveniente debido a que, al evaluar el estado actual de la planta de tratamiento y su cumplimiento con los estándares de calidad del agua, se podrán identificar áreas de mejora que permitan optimizar su desempeño. Además, el estudio proporcionará información relevante para las autoridades municipales, el prestador de servicio de saneamiento competente y otras instituciones interesadas en mejorar las condiciones de saneamiento en el municipio. El uso de herramientas de gestión de proyectos permitirá establecer un enfoque más estructurado y eficiente en la administración del sistema, asegurando que las mejoras propuestas sean sostenibles a largo plazo.

1.4.2. Criterio de relevancia social

Desde la década de los 60s, ha aumentado la conciencia sobre el deterioro ambiental en el mundo, se ha impulsado el proceso de cambio en el pensamiento global

y las formas de interacción de la sociedad y la naturaleza, fundamentado en el conocimiento y el estudio interdisciplinario de la compleja problemática socioambiental (Perevochtchikova, 2013). La presente investigación adquiere una alta relevancia social al abordar una problemática estrechamente vinculada con los principios del desarrollo sostenible, tal como fueron definidos en el Informe Nuestro Futuro Común (World Commission on Environment and Development, 1987). Este informe destaca que el desarrollo debe satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas, integrando el crecimiento económico, la equidad social y la protección ambiental.

Esta es la base, por lo que el tratamiento adecuado de las aguas residuales se ha convertido en una prioridad para mitigar la contaminación del agua y proteger la salud pública. La adecuada gestión de las aguas residuales no solo representa una acción técnica, sino también una necesidad ética y social que incide en la salud pública, el bienestar de las comunidades y la conservación de los recursos hídricos.

Además, la realización de esta investigación es de relevancia social en su capacidad para mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas circundantes a la planta de tratamiento de aguas residuales al garantizar que los efluentes tratados no afecten negativamente la salud pública ni el medio ambiente. Además, al integrar herramientas de gestión de proyectos en la planificación y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, se fomentará una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico en el municipio.

1.4.3. Criterio de implicaciones prácticas

La realización de esta investigación ayudará a resolver un problema real al proporcionar información técnica y estratégica de la planta de tratamiento de aguas residuales municipal en Marcala. La integración de herramientas de gestión de proyectos permitirá desarrollar estrategias de para mejorar la efectividad de la planificación, la implementación y monitoreo de mejoras en el tratamiento de aguas residuales. Esto tendrá un impacto directo en la reducción de la contaminación de los cuerpos de agua receptores, beneficiando tanto al ecosistema como a la comunidad.

1.4.4. Criterio de utilidad metodológica

La investigación contribuirá al desarrollo de nuevos enfoques para la evaluación y gestión de plantas de tratamiento de aguas residuales. La integración de herramientas de gestión de proyectos no solamente permitirá diagnosticar problemas, sino también proponer soluciones basadas en una realidad y que estas puedan ser viables para ser implementadas de manera estructurada por la alcaldía municipal, el prestador de servicio de tratamiento de aguas residuales y por otras instituciones interesadas en mejorar el saneamiento de la región. Además, esto ayudará a mejorar la capacidad de monitoreo y control en futuras evaluaciones.

La investigación no solo aportará conocimiento sobre la situación actual del tratamiento de aguas residuales en Marcala. Sino que también ofrecerá un marco metodológico que podría ser utilizado en estudios similares a nivel nacional.

1.4.5. Viabilidad

La viabilidad de la tesis se puede fundamentar en lo siguiente:

- a) Viabilidad técnica respaldada por la existencia de metodologías y herramientas para la evaluación del impacto ambiental de plantas de tratamiento de aguas residuales. Así como la existencia de parámetros químicos, físicos y biológicos en el marco de la Ley ambiental vigente en Honduras para evaluar la calidad de los efluentes.
- b) El uso de diversas fuentes primarias y secundarias de información, como ser entrevistas a los operadores de la planta de tratamiento, internet, libros digitales, revistas científicas, entre otros; lo cual proporcionará información de calidad para la elaboración de esta tesis.
- c) La viabilidad económica de la tesis es sólida dado que se ajustará a un presupuesto razonable y se aprovecharán recursos existentes. La eficiencia en la utilización de recursos permitirá la realización del estudio dentro de los límites económicos.
- d) La viabilidad organizativa está asegurada por la disponibilidad de los recursos necesarios y el apoyo institucional. La colaboración con las autoridades locales y los operadores de las plantas de tratamiento facilitará el acceso a datos relevantes y contribuirá al desarrollo de propuestas aplicables.

CAPITULO 2. MARCO CONTEXTUAL

En el siguiente capítulo, se presenta un análisis detallado del contexto que rodea esta investigación. Se abordan los antecedentes del tratamiento de aguas residuales, comenzando con una perspectiva global, seguida por un enfoque regional y, finalmente centrándose en Honduras y, en particular, en la ciudad de Marcala, departamento de La Paz. Además, se denota la relevancia ambiental de este tema, resaltando su impacto en la sostenibilidad y la salud pública.

2.1. Antecedentes del tratamiento de aguas residuales y el ambiente

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales se remontan a las antiguas civilizaciones. Las primeras civilizaciones de Roma, Grecia e India desarrollaron estrategias para recolectar, transportar y eliminar los desechos generados por la población. (Instituto del Agua, 2024). Siendo estas las primeras civilizaciones en desarrollar sistemas de alcantarillado sanitario y baños públicos.

Para la década de 1850 con la llegada de la Revolución Industrial y el crecimiento de las ciudades, comenzó a surgir el proceso que se asemeja más a lo que en la actualidad se considera tratamiento de aguas residuales. Ciudades contaban con sistemas de alcantarillado, pero no había avanzado a ninguna forma de tratamiento más allá de la dilución, por lo que se evidenció un aumento en la contaminación de los cuerpos hídricos.

En respuesta a condiciones de salud pública precarias por enfermedades de origen hídrico como ser el cólera y la tifoidea, en el siglo XX se sentaron las bases para el tratamiento moderno de aguas residuales. En 1912, se introdujo el concepto de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y luego, en 1932, se implementó la aireación (Gardner, 2021). En algunas regiones del mundo aún se emplean tecnologías basadas en

la dispersión y dilución de aguas residuales, mientras que los países desarrollados han aprovechado siglos de avances en el tratamiento de aguas residuales para salvaguardar la salud pública y contribuir a la mejora de la calidad ambiental produciendo efluentes tratados.

2.1.1. Tratamiento de Aguas Residuales a Nivel Mundial

La gestión de aguas residuales representa un desafío a nivel mundial, con un impacto importante en la salud pública y el medio ambiente. Del 2015 al 2022, la cobertura de saneamiento gestionado de manera segura aumentó del 49% al 57%, pasando del 36% al 46% en las zonas rurales y del 60% al 65% en las zonas urbanas (United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO), 2023)

Según datos de las Naciones Unidas (2023), para el año 2022, el 58% de la población mundial utilizaba un servicio de saneamiento gestionado de manera segura. De esta población, el 33% utilizaba instalaciones privadas de saneamiento conectadas al alcantarillado, desde donde las aguas residuales eran tratadas; el 21% utilizaba retretes o letrinas en los que las excretas eran eliminadas de manera segura en el mismo sitio de contención; y el 88% tenía acceso al menos un servicio básico de saneamiento.

A partir de ese mismo año, más personas utilizaban sistemas de saneamiento in situ a nivel global que conexiones a alcantarillado. No obstante, UNICEF y la OMS (2023) señalan que la mayoría del saneamiento gestionado de forma segura proviene de hogares conectados a una red de alcantarillado (33%) y no de los sistemas de saneamiento in situ (21%).

En cuanto al tratamiento de aguas residuales, en 2022, un total de 73 países, que en conjunto representan el 42 % de la población mundial, presentaron informes sobre la generación y el tratamiento de aguas residuales. Según estos datos, el 76 % del volumen total de aguas residuales generadas (103.000 millones de m³ de un total de 136.000 millones de m³) recibió algún tipo de tratamiento (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS), 2024).

Asimismo, al analizar la calidad del tratamiento reportado por 42 países, que representan el 12 % de la población mundial, se determinó que el 60 % de las aguas residuales fueron tratadas de manera adecuada, es decir, con al menos un tratamiento secundario. En términos de volumen, esto equivale a 36.000 millones de m³ de los 59.300 millones de m³ de aguas residuales generadas en estos países (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS), 2024).

2.1.2. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica y América Central

Steward M. Oakley (2011) recopiló o data que de los 52,000,000 m³/día (metros cúbicos al día) de aguas residuales que se recolectan en América Latina, se estima que solamente 3,100,000 m³/día (metros cúbicos al día), o 6 por ciento, reciben tratamiento adecuado antes de ser dispuestas en cuerpos de agua.

Según datos del Banco Mundial (2020) en América Latina aproximadamente el 87 por ciento de la población de la región tiene acceso a algún tipo de saneamiento

básico, pero solo el 31 por ciento cuenta con servicios de saneamiento gestionados de manera segura. Además, el Banco Mundial estima que el 66 por ciento de la población está conectada a un sistema de alcantarillado, con aproximadamente solo el 40 por ciento de las aguas residuales tratadas.

Estas cifras resultan bajas en comparación con los niveles de ingreso y urbanización de la región, lo que genera impactos negativos en la salud pública y la equidad social. En contraste, en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE por sus siglas en inglés), el 81 por ciento de la población cuenta con conexión a un sistema de alcantarillado y el 77 por ciento de las aguas residuales es tratado adecuadamente (Rodríguez, Serrano, Delgado, & Nolasco, 2020).

Los datos anteriores demuestran que el crecimiento poblacional de la región de América Latina es un desafío importante para asegurar la calidad de vida de las personas y reducir la contaminación ambiental. Además, es esencial que las autoridades gubernamentales y organismos internacionales implementen estrategias para garantizar servicios eficientes y seguros para el manejo de aguas residuales.

2.1.3. Tratamiento de Aguas Residuales en Honduras

Según los datos proporcionados por el Programa Conjunto de Monitoreo (JMP por sus siglas en inglés), en el 2020 Honduras logró alcanzar una cobertura nacional del 50% en términos de saneamiento gestionado de manera segura, distribuyéndose en un 35% en zonas urbanas y un 71% en áreas rurales. Para el año 2022, Honduras experimentó una mejora en las cifras, alcanzando un 40.5% de cobertura en áreas urbanas y un 70% en zonas rurales en cuanto a saneamiento gestionado de manera segura (JMP, 2022). A través de estas cifras, se encontró que la mayoría de los pueblos

y ciudades carecen por completo de sistemas de alcantarillado y, en aquellas ciudades y pueblos donde existe infraestructura de alcantarillado, generalmente se limita a distritos centrales, áreas de altos ingresos y áreas comerciales. Los hogares urbanos y rurales que no están conectados al sistema de alcantarillado sanitario recurren al uso de soluciones de saneamiento in situ y dependen principalmente de empresas privadas para dar servicios a sus fosas sépticas y pozos cuando alcanzan su plena capacidad.

Los procedimientos de mantenimiento y operación inadecuados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales pueden provocar problemas significativos en su funcionamiento. Como consecuencia, muchos de los efluentes vertidos por las plantas de tratamiento de aguas residuales a los cuerpos de agua y otros cuerpos receptores no cumplen con los parámetros químicos, físicos y biológicos establecidos por la normativa vigente, lo que resulta en una mayor contaminación del medio ambiente. Sumado a esto, una porción de los hogares, especialmente en áreas urbanas, opta por descargar sus aguas residuales y efluentes directamente en arroyos o en los sistemas de drenaje municipales, exacerbando aún más el impacto ambiental.

En términos de datos, Honduras, para el año 2011 generaba 152.61 millones de metros cúbicos (m³) al año de aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado, de los cuales solo el 34.71% es tratado (FOCARD-APS, 2013). Según el artículo “Honduras – Contaminación de aguas residuales”, publicado por Reef Resilience Network, en el año 2018, solo el 3.2 por ciento de las aguas residuales en Honduras reciben tratamiento adecuado. Además, en relación con el ODS 14: Vida submarina, el índice de salud oceánica: aguas limpias se clasificó en 59.2 sobre 100 (2019) (Sachs et al. 2020) (The Nature Conservancy, 2025).

Estos datos reflejan la necesidad de mejorar la infraestructura de saneamiento en Honduras, optimizar la gestión de las aguas residuales y promover políticas que permitan reducir la contaminación ambiental.

2.1.4. Tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala, departamento de La Paz

El municipio de Marcala se encuentra localizado en el departamento de La Paz, de la República de Honduras, cuyas coordenadas son: 14.16 Latitud Norte y -88.07 Longitud Oeste del meridiano de GREENWICH. Marcala cuenta con una extensión territorial del 220.7 Km². Situado en una planicie rodeado de montañas, colindando al sur con la república de El Salvador y posee las siguientes colindancias, al Norte: municipios de Intibucá y La Esperanza (Intibucá); al Sur: república de Salvador y municipio de Cabañas; al Este: municipios de Santa Ana, Chinacla, San José, y Opatoro y al Oeste: municipio de Yarula (Asociación de Municipios de Honduras & Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, 2012) (Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 2022).

Según el Observatorio de Derechos Humanos (ODH) (2025), con base en los datos censales de 2013 del Instituto Nacional de Estadística, se estima que la población del municipio alcanzará los 36,231 habitantes en 2025. De esta cifra el 56.58 por ciento de la población es rural y 43.42 por ciento establecida en área urbana.

2.1.4.1. Prestación de los servicios de saneamiento en el municipio de Marcala

La prestación de los servicios en el área urbana lo realiza la Unidad Administradora del casco urbano Aguas de Marcala. La Unidad Administradora Urbana de los Servicios de Agua y Saneamiento "Aguas de Marcala" fue ratificada mediante el Punto No. 7 del Acta No. 2 en sesión ordinaria de la Honorable Corporación Municipal de Marcala los días 17 y 22 de febrero de 2014 (Tribunal Superior de Cuentas (TSC), 2016). Esta unidad, con autonomía administrativa y financiera, tiene como funciones la evaluación y protección de fuentes de captación, la formulación de planes maestros, la operación y mantenimiento de infraestructura, la prestación eficiente de los servicios, la propuesta de estructura tarifaria, la contratación de obras y servicios, la recaudación de tarifas y la supervisión de proyectos municipales, asegurando la sostenibilidad y eficiencia en la gestión del agua y saneamiento en el municipio.

La prestación de servicio de saneamiento en el área periurbana y rural lo realizan las 62 Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento organizadas correspondientes al número de comunidades que forman parte del área periurbana y rural. Según datos brindados por el Técnico Municipal de Agua y Saneamiento Eraldo Rodríguez (2025), para el año 2022 la población rural era equivalente a 30,289 personas con una cobertura del 87 por ciento con saneamiento básico, 90 por ciento de las viviendas cuentan con acceso a infraestructuras mejoradas de saneamiento, y el 10 por ciento restante sin una solución de saneamiento y cuyos miembros practican la defecación al aire libre. Además, los datos indican que de las 62 comunidades 11 (El Pelón, Guanizales, Llano Largo, Las Vegas, Barrio Agua Escondida, Corral de Piedras, Fatima, Los Charcos, Colonia Juan Alberto Melgar Castro, Choacapa, y Las Esmeraldas) requieren de una intervención mayor debido a la falta de capacitación

técnica, condiciones organizativas deficientes y reconstrucción de obras que se encuentran en mal estado u obsoletas.

2.1.4.2. Cobertura de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales

Según datos de la Unidad Técnica Municipal de Agua y Saneamiento de Marcala (2025), el municipio cuenta con una cobertura de alcantarillado de aproximadamente el 40 por ciento de la población del casco urbano y el 60 por ciento de la población cuenta con soluciones de saneamiento *in situ*. Para las zonas rurales, la totalidad de la población depende de soluciones de saneamiento *in situ*. No obstante, no se dispone de datos actualizados de la cobertura real del alcantarillado sanitario, lo que limita la planificación y toma de decisiones en materia de saneamiento.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal 2016-2021 (Municipalidad de Marcala, La Paz, 2015), en el año 2015, en la zona urbana del municipio el servicio de alcantarillado cubrió a 918 abonados distribuidos en tres barrios del municipio. La cobertura total de disposición de excretas alcanzó el 90.38 por ciento, de la cual el 73.80 por ciento de la población cuenta con conexión al sistema de alcantarillado sanitario, mientras que el 16.58% utiliza letrinas.

La prestación y administración de los servicios de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales existentes en el área urbana lo realiza la Unidad Administradora del casco urbano Aguas de Marcala.

2.1.4.3. Configuración de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Marcala, La Paz

La ciudad de Marcala cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en una zona con un sistema de drenaje mixto, donde parte del agua fluye por gravedad y otra por bombeo. Su ubicación en coordenadas geográficas en el sistema UTM son 387732.00 m Este, 1565546.00 m Norte, elevación 1245 msnm.

Según el “Informe -Diagnostico de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Márcala, departamento de La Paz” del Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) (SANAA, 2024), la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es una instalación compacta compuesta por una caja distribuidora de caudales, un pretratamiento (desarenador), un reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) de dos cámaras, un filtro percolador, un sedimentador secundario, un sistema de desinfección, 3 patios para el secado de lodos y 2 estaciones de bombeo con sus casetas de controles.

TABLA 1

DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS DE COMPONENTEN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE MARCALA, LA PAZ.

Elemento de la PTAR	Descripción
Caja distribuidora de caudales	Estructura cuadrada hecha de concreto reforzado de 2.30 metros de largo, 2.30 metros de ancho y 1.85 metros de alto, diseñada para recibir los caudales de las distintas redes de recolección del

municipio con tuberías de PVC, dos de 300 milímetros y tres de 150 milímetros provenientes de la red baja y cuatro de la red alta, la salida la conforman dos tuberías PVC 250 milímetros que es la que entra en el desarenador, además de que tiene instalada una tubería de rebose y bypass de PVC 300 milímetros que descarga en el río Chusmuy aledaño a esta planta de tratamiento de aguas residuales.

Pretratamiento

Conformado por un desarenador en el que se retienen las arenas contenidas en el agua residual, es una estructura rectangular hecha de concreto reforzado de 6.05 metros de largo, 5.00 metros de ancho y altura variable que va de 1.90 metros hasta 4.06 metros de alto, el caudal de entrada viene de la caja distribuidora de caudales, el agua residual entra por una pared lateral y la salida se hace en la parte superior por medio de un canal rectangular que la capta durante su ascenso y traslada al RAFA.

Tratamiento primario – Reactor Anaerobio de Flujo

Es una estructura rectangular hecha de concreto reforzado, de 20.50 metros de largo, 11.75 metros de ancho y 5.07 metros de alto, el caudal de entrada viene del pretratamiento, lo

Ascendente de Manto de Lodos (RAFA) componen 2 cámaras paralelas en donde las aguas residuales entran al reactor por el fondo y fluyen hacia arriba. Un manto de lodo suspendido filtra y trata las aguas residuales conforme pasan a través del manto.

Tratamiento Secundario – Filtro Percolador Es una estructura rectangular hecha de concreto reforzado de 15.50 metros de largo, 8.50 metros de ancho y 2.45 metros de alto, es un reactor aerobio de lecho fijo, el caudal de entrada viene del RAFA ingresa por la parte superior a través de tuberías provistas de orificios instaladas adecuadamente para permitir una distribución uniforme del caudal por todo el filtro y evitar la formación de áreas muertas, el caudal circula de forma descendente a través de un material de soporte elaborado de grava o piedra, sobre este se adhiere una biopelícula de microorganismos que facilitan la descomposición de la materia orgánica mediante un proceso de oxidación. El Filtro Percolador permite una reducción de entre el 75 al 90% de la DBO y los sólidos en suspensión presentes en el agua residual, permitiendo un efluente más clarificado.

Estaciones de Bombeo

La planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con dos estaciones de bombeo:

Estación de bombeo 1

Situada al inicio de la planta de tratamiento, es una estructura rectangular diseñada para recibir por gravedad el caudal de la red baja a través de la tubería de PVC 200 milímetros e impulsar el caudal de salida por medio de una tubería de PVC 1250 milímetros. Además, recibe lixiviados de los patios de secado de lodos y agua de escorrentía del desarenador. Su función principal es elevar el agua residual hasta la Cámara Distribuidora de Caudales.

Estación de Bombeo 2

Situada al final de la planta de tratamiento de aguas residuales, es una estructura rectangular diseñada para recibir por gravedad los lodos provenientes del RAFA y el sedimentador secundario a través de tubería de PVC de 100 milímetros de diámetro. Está equipada con dos bombas de impulsión para elevar los lodos que

recibe a los lechos de secado de lodos. Además, cuenta con una tubería de rebose que descarga en el Río Chusmuy, adyacente a la planta de tratamiento.

Actualmente, ambas estaciones de bombeo se encuentran fuera de servicio, debido al deterioro de sus equipos.

Unidad de desinfección

Su función consiste en la aplicación de cloro por medio de bombeo. Sin embargo, en las condiciones actuales el equipo de cloración está fuera de servicio.

FUENTE 1 ADAPTADO DEL “INFORME -DIAGNOSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE MÁRCALA, DEPARTAMENTO DE LA PAZ”
(SERVICIO AUTONOMO NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILADO (SANAA), 2024)

CAPITULO 3. MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo, el problema de investigación se contextualiza desde una perspectiva teórica. Para ello, se aborda la información relacionada a la variable de estudio y se exploran conceptos y teorías relevantes que enriquecen la presente investigación, estableciendo las bases sobre las cuales se sustentará este estudio.

3.1. Marco Legislativo aplicado al tratamiento de aguas residuales y el ambiente en Honduras

A continuación, se presenta de manera de resumen el marco normativo de Honduras (Sánchez, 2016) que regula y controla de manera integral los sistemas de tratamiento de aguas residuales y el ambiente.

TABLA 2

COMPILACIÓN DEL MARCO LEGISLATIVO APLICADO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y EL AMBIENTE EN HONDURAS

Disposición Legal	Alcance
Constitución de la República de Honduras (últimas reformas: 1982 a la actualidad).	Norma suprema que rige actualmente en Honduras. Es el hacer político y legal para la organización del gobierno de Honduras, los ciudadanos y todas las personas que viven o visitan el país. Declara el acceso al agua y saneamiento como un derecho humano y garantiza la preservación de las fuentes de agua, a fin de que estas no pongan en riesgo la vida y la salud pública.

Ley de Municipalidades (Decreto Ley 134-90) y su Reglamento General (Acuerdo Ejecutivo 018-93).	Su objetivo es desarrollar los principios constitucionales referentes al régimen departamental y municipal. Entre las atribuciones se tratan los temas referentes a prestación de servicios de agua potable y alcantarillado, así como la protección del medio ambiente, estableciendo la facultad de las municipalidades de crear unidades especializadas para la prestación de los servicios.
Código de Salud (Decreto 65-91) y su Reglamento General de Salud Ambiental (Acuerdo 0094 de la Secretaría de Salud).	Tiene como objeto, la definición de la política nacional de salud y la normalización, planificación y coordinación de todas las actividades públicas y privadas en el campo de la salud. Contiene disposiciones relacionadas con los servicios de agua potable y saneamiento, disposición final de aguas pluviales, aguas negras servidas y excretas. El reglamento detalla disposiciones relativas a la calidad del agua para el consumo humano, protección de fuentes de abastecimiento, disposición de excretas, así como en lo atinente a instalaciones hidro-sanitarias en las edificaciones; desarrollando el régimen de infracciones y sanciones, particularmente con lo relacionado a la disposición de excretas.
Ley General del Ambiente (Decreto Ley 104-93) y su	Tiene como propósito básico la protección, conservación, restauración y manejo sostenible del ambiente y de los recursos naturales que son de utilidad pública y de interés

Reglamento General (Decreto 109-93).	social. Contiene diversas disposiciones orientadas a proteger las fuentes de abastecimiento de agua y controlar la calidad de las descargas de aguas residuales a las corrientes receptoras. El reglamento detalla el régimen de infracciones y sanciones derivadas de actos que ocasionen daños a las fuentes de abastecimiento de agua y a las corrientes receptoras por descarga de vertidos y contaminantes en contravención con la normativa respectiva.
Norma Técnica Nacional para la Calidad de Agua Potable (Acuerdo de la SESAL 084-1995).	Establece los niveles adecuados o máximos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua; establece los parámetros de calidad del agua con sus valores recomendados y máximos admisibles, la frecuencia y número de muestras, así como los métodos de análisis adecuados.
Ley Marco Sector Agua Potable y Saneamiento (Decreto Ley 118-2003) y su Reglamento General	Establece las normas aplicables a los servicios de agua potable y saneamiento en el territorio nacional como un instrumento básico en la promoción de la calidad de vida en la población y afianzamiento del desarrollo sostenible como legado generacional. Promueve una reforma sectorial, que separa claramente atribuciones y funciones

(Acuerdo 006-2004 Secretaría de Salud)	entre la institucionalidad creada para ejercer la gobernanza sectorial: el Consejo Nacional d Agua Potable y Saneamiento (CONASA) como órgano rector, y el Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS) como órgano regulador, ratificando a los municipios como titulares de los servicios de APS y asignándole al Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) el papel de ente responsable de la asistencia técnica sectorial.
Ley de Ordenamiento Territorial y su Reglamento General (Decreto 180-2003) y su Reglamento General (Acuerdo 25-2004)	Tiene por objetivo establecer la obligatoriedad del ordenamiento territorial y el marco administrativo, orgánico y funcional–operativo del proceso, así como los mecanismos de participación ciudadana, concertación, coordinación, armonización, resolución de conflictos y de articulación de la gestión nacional y local. No contiene disposiciones específicas con relación a agua potable y saneamiento, pero su Reglamento General establece que el ordenamiento territorial debe poner énfasis en las áreas de producción y conservación del recurso hídrico y que para tal fin se pueden establecer Áreas Bajo Régimen Especial con criterios de excepcionalidad para áreas de trascendencia estratégica, según su definición en la Ley General del Ambiente, la Ley Marco del Sector de Agua

	Potable y Saneamiento y la Ley General de Aguas entre otras.
Ley de Participación Ciudadana (Decreto 3-2006).	Establece el marco general de la participación en Honduras definiendo los principios, atribuciones, derechos, obligaciones y formas de su ejercicio a través del plebiscito, referéndum, cabildos abiertos municipales, iniciativa ciudadana, y otros señalados en la Ley. Sirve de marco para la definición de la estrategia de gobernabilidad que aplica el sector de agua potable y saneamiento para promover su desarrollo sostenible.
Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (Decreto 98-2007)	Tiene como finalidad establecer el régimen legal a que se sujetará la administración y manejo de los recursos forestales, áreas protegidas y vida silvestre, incluyendo su protección, restauración, aprovechamiento, conservación y fomento, propiciando el desarrollo sostenible de acuerdo con el interés social, económico y cultural del país. Entre sus principios básicos se hace referencia al manejo sostenible de los recursos hídricos, destacando especialmente las protegidas de tipo forestal, cuya función básica es el abastecimiento de agua, estableciendo los criterios para la creación de áreas protegidas cuya función básica es el abastecimiento de agua a poblaciones. Detalla aspectos relacionados con el régimen especial de manejo de cuencas, subcuencas y microcuencas que abastecen de

	<p>agua a poblaciones. Identifica el mecanismo de pago por servicios ambientales para contribuir al financiamiento de los planes de manejo complementando al Fondo para el Manejo de Áreas Protegidas y Vida Silvestre.</p>
<p>Ley General de Aguas (Decreto 181- 2009).</p>	<p>Tiene como objetivo establecer los principios y regulaciones aplicables al manejo adecuado del recurso agua para la protección, conservación, valorización y aprovechamiento del recurso hídrico para propiciar la gestión integrada de dicho recurso a nivel nacional.</p> <p>Enfatiza en medidas para la protección de los recursos hídricos, declarando el agua para consumo humano como de uso preferencial y privilegiado, y establece disposiciones para el pago por servicios ambientales a fin de contribuir al financiamiento de actividades de protección y conservación de los recursos hídricos.</p> <p>También contiene disposiciones sobre la creación y conservación de áreas de reserva y prohibiciones sobre la disposición de vertidos. Para su operatividad, crea el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, la Autoridad del Agua y los Consejos de Cuencas, Subcuencas y Microcuencas.</p>
<p>Norma Técnica de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos</p>	<p>Regular las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores y alcantarillado sanitario. Así como, fomentar la creación de programas de minimización de desechos, la</p>

Receptores y Alcantarillado	instalación de sistemas de tratamiento y la disposición de aguas residuales, para reducir la producción y concentración de los contaminantes descargados al ambiente.
Reglamento para el Manejo Integral de Los Residuos Sólidos	Su objetivo es regular la gestión integral de los residuos sólidos, incluyendo las operaciones de prevención, reducción, almacenamiento y acondicionamiento, transporte, tratamiento y disposición final de dichos residuos, fomentando el aprovechamiento de estos con el fin de evitar riesgos a la salud y al ambiente. Se hace referencia a los Artículos siguientes: Art. 17, 21, 22, 25, 28, 29, 32, 33, 36, 38, 41
Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales (2021) (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, 2021)	Su objetivo, la prevención, el control y disminución de la contaminación generada por las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores, para asegurar la protección de la salud humana y el ambiente. De igual forma, el cumplimiento de las disposiciones de este reglamento a todo ente Regulado, operando en el territorio nacional, que esté realizando actividades que generen descargas de aguas residuales y lodos provenientes de sistemas de tratamiento de dichas aguas.

Art. 46 al 48 (Manejo de lodos y subproductos generados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, tanques sépticos y plantas potabilizadoras)

FUENTE 2 ELABORACIÓN PROPIA, 2025.

3.2. Estructuras organizativas en la Gestión de Aguas Residuales

3.2.1. Estructuras organizativas en la gestión de aguas residuales a nivel nacional

En Honduras la gobernanza del Sector Agua Potable y Saneamiento se ejerce mediante la normativa legal vigente. La promulgación de la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento (2003) y su Reglamento (2024) creó las bases para modernizar y dinamizar el Sector, modificando y estableciendo una nueva institucionalidad con funciones de rectoría (CONASA), de regulación (ERSAPS), de ente técnico (SANAA) y de titulares de los servicios (Municipalidades), definiendo con claridad las funciones de cada institución y promoviendo la prestación a través de prestadores de servicios con suficiente autonomía técnica, administrativa y financiera.

A continuación, en referencia al marco institucional del sector Agua Potable y Saneamiento en Honduras, se describen los roles de los entes que lo conforman:

TABLA 3

MARCO INSTITUCIONAL EN AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO (APS) DE HONDURAS.

ROLES

Rectoría del sector	Representante oficial del Gobierno en materia de
Agua Potable y Saneamiento	<p>Agua Potable y Saneamiento es el Consejo Nacional de Agua Potable y Saneamiento (CONASA), razón por la cual le corresponde liderar este tema. El CONASA está integrado por cuatro Secretarías de Estado (Secretaría de Salud, Secretaría de Derechos Humanos, Justicia, Gobernación y Descentralización, Secretaría de Finanzas, Secretaría de Recursos Naturales); la Asociación de Municipios de Honduras (AMHON); un representante de las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento, y uno de los usuarios, actuando el Gerente del SANAA como secretario ejecutivo. Sus funciones generales corresponden a la definición de políticas, planificación y coordinación sectorial.</p>
Regulación y control de la prestación de los servicios	<p>Le corresponde al Ente Regulador de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS).</p>
Apoyo Técnico Sectorial	<p>Según lo establece la Ley Marco del Sector de Agua Potable y Saneamiento en los artículos 11, 12 y 22; le corresponde al Servicio Autónomo de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) actuar como Secretaría</p>

Técnica del CONASA, debiendo brindar apoyo técnico al ERSAPS, a las Municipalidades y a las Juntas Administradoras de Agua y Saneamiento (JAAS).

Titularidad de los servicios Corresponde a las municipalidades la titularidad para disponer la forma y condiciones en que prestan los servicios de APS en sus respectivas jurisdicciones, observando lo prescrito en la Ley Marco del Sector; siendo sus competencias el establecimiento de las políticas locales de los servicios, decisión sobre el modelo más conveniente para su gestión; suscripción de contratos de prestación; fijación de las tarifas a pagar por los usuarios; y el establecimiento del mecanismo local de vigilancia sobre el cumplimiento de los prestadores.

Prestación de los servicios Agua Potable y Saneamiento Las municipalidades están facultadas para delegar la responsabilidad de su prestación en organizaciones con suficiente autonomía administrativa y financiera para proveerlos (unidades municipales desconcentradas, Juntas Administradoras de Agua Potable, empresas mixtas, mancomunidades y empresas privadas que operan en el territorio, sumándose el SANAA que aún administra

sistemas acueductos pendientes de ser transferidos a sus respectivas municipalidades).

Rectoría del recurso hídrico	Según la Ley General de Aguas (2009) , la rectoría del recurso hídrico: Corresponde al Gobierno Central a través de la Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente.
Vigilancia de la calidad del agua	La Secretaría de Salud (SESAL)
Inversiones sectoriales	Varias instituciones del gobierno que se encargan de la ejecución de inversiones en agua potable y saneamiento: IDECOAS/ FHIS, Secretaría de Finanzas y Gobiernos Municipales, complementadas con recursos de la cooperación internacional.
Participación ciudadana	La participación ciudadana le corresponde a las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento,

Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento
(COMAS), Unidades de Supervisión y Control (USCL)

FUENTE 3 ELABORACIÓN PROPIA.

En materia de saneamiento y la gestión segura de las aguas residuales y lodos fecales compete a la institución de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) como ente en materia de protección, conservación, preservación, restauración, la sostenibilidad y racionalidad en el aprovechamiento de los recursos naturales; a través de los órganos técnicos que la conforman, en apoyo del Ente Regulado (ER), Secretaría de Salud (SESAL) y Receptores Sensibles (RS).

3.2.1.1. Estructuras Municipales

Según el Reglamento de la Ley Marco del Sector de Agua Potable y Saneamiento (2024); las municipalidades son las titulares de los servicios de agua y saneamiento y les corresponde disponer la forma y condiciones de la prestación de dichos servicios, así como la planificación e inversión que se requiera.

Como titulares para disponer la forma y condiciones en que proveen los servicios de Agua Potable y Saneamiento en sus territorios, les corresponde proponer el diseño de las políticas locales del sector; decidir sobre el modelo más adecuado para la prestación de los servicios urbanos, asegurándose de dotarlo de suficiente autonomía administrativa y financiera; fijar las tarifas de los servicios; establecer mecanismos de vigilancia del desempeño de los prestadores y sancionarlos cuando corresponda. Para la prestación de los servicios Honduras ha adoptado los siguientes modelos:

TABLA 4

MODELO DE GESTIÓN DE LOS SERVICIOS DE SANEAMIENTO A NIVEL MUNICIPAL

Modelo de Gestión (2022)	
Gestión Centralizada	La gestión es de carácter público y pertenece a la nación. Los recursos económicos y financieros provienen del Gobierno Central y las tarifas son aprobadas por el Congreso Nacional.
Gestión Municipal Directa	Sistemas de agua y alcantarillados operados directamente por la municipalidad, con integración de la gestión técnica, administrativa, financiera y patrimonial.
Unidades Municipales Desconcentradas/ Unidades Intermunicipales Mancomunadas Desconcentradas	La desconcentración municipal con participación de sociedad civil (UMAPS en AMCD, Aguas de Siguatepeque en Siguatepeque, Aguas de Danlí en Danlí...). Son entidades descentralizadas de la gestión del gobierno municipal, su Junta Directiva es presidida por el alcalde municipal. Las Corporaciones Municipales son responsables de aprobar las tarifas, los planes de inversión, los presupuestos anuales.

Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento (JAAS).	En el área rural se mantiene el modelo de gestión comunitaria a través de JAAS. Son organizaciones sociales sin fines de lucro que tienen una Personalidad Jurídica y están conformadas por una Asamblea General que es la máxima autoridad y por la Junta directiva, cuyos cargos son ad honorem y son ocupados por personas destacadas de la comunidad.
Empresas Mixtas	Modelo de gestión cuyo nivel de autonomía está asociado al porcentaje de la participación privada en la estructura de capital social.

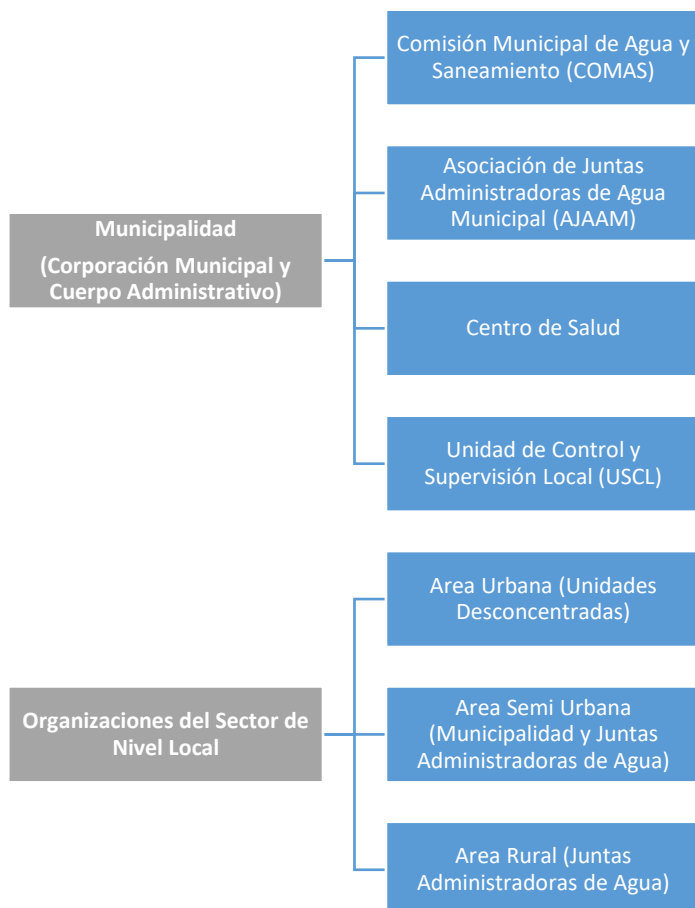
FUENTE 4 ELABORACIÓN PROPIA.

3.2.2. Estructuras organizativas en la gestión de aguas residuales de Marcala, La Paz

La Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento en Honduras establece una institucionalidad municipal la cual se representa en la siguiente figura:

ILUSTRACIÓN 1

ESTRUCTURA ORGANIZATIVA A NIVEL NACIONAL



FUENTE 5 ELABORACIÓN PROPIA.

El Reglamento de la referida Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento (2024), aprobado mediante Acuerdo Ejecutivo N°. 006, establece que la Municipalidad ejerce la titularidad de los servicios de agua y saneamiento y será su atribución proponer el diseño de las políticas aplicables a la prestación de los servicios, decidir mediante las ordenanzas correspondientes sobre la gradualidad en la aplicación de las normas a los prestadores de servicio, decidir sobre el modelo de gestión más adecuado, acordar

contratos de prestación y fijas las tarifas correspondientes. Además, establece que la Municipalidad, es asimismo responsable de establecer el mecanismo de vigilancia sobre el cumplimiento de los prestadores y ejercer las acciones correspondientes para sancionar a los prestadores, cuando se produzcan infracciones al contrato de prestación.

Además, es responsabilidad de la municipalidad promover el desarrollo empresarial y la optimización de las capacidades de las entidades prestadoras de servicios, fomentando la conformación de unidades de gestión basadas en criterios de eficiencia técnica, económica y viabilidad financiera.

3.2.2.1. Administración del sistema de Saneamiento Urbano en Marcala, La Paz

Documentado en la Unidad Municipal de Auditoría Interna (2016), en ejercicio de la Autonomía Municipal en la Constitución de la República, y la Ley de Municipalidades, la Corporación de la Municipalidad de Marcala, Departamento de la Paz, se creó mediante Acuerdo en el año 2008, la Unidad Administradora Urbana de los Servicios de Agua y Saneamiento “Aguas de Marcala”.

Asimismo, en el 2012, se confirma la creación de la Unidad Administradora Urbana de los Servicios de Agua y Saneamiento “Aguas de Marcala”, dándole el carácter de Órgano Desconcentrado de la Municipalidad encargado de la prestación de los servicios municipales de agua y saneamiento. En el 2014, se acordó confirmar la creación de la Unidad Administradora Urbana de los Servicios de Agua y Saneamiento “Aguas de Marcala” y aprobar los estatutos reglamentarios de su funcionamiento, considerando que la Unidad Administradora de los Servicios de Aguas y Saneamiento “Aguas de Marcala” es un órgano con facultades de administración para el

cumplimiento de su finalidad, incluyendo sistemas administrativos, contables y de presupuesto separado de la Municipalidad.

Bajo este historial, la Unidad Administradora Urbana de agua y saneamiento casco urbano “Aguas de Márcala” se ha establecido como un modelo de gestión Unidad Municipal Desconcentrada (UMD), manteniendo el principio de ejercicio de la titularidad a la municipalidad.

3.3. Conceptos Básicos

3.3.1. Impacto Ambiental (IA)

El impacto ambiental (IA) es la alteración favorable o desfavorable que se presenta en alguno o todos los componentes del ambiente, en la salud humana o en el bienestar de la sociedad, esto como consecuencia de la realización de una acción o actividad humana. Cualquier proyecto, programa, plan, ley, una disposición administrativa o una actividad productiva que tenga en mente realizar el ser humano no constituye un hecho aislado dentro del contexto geográfico, ya que se vincula con la historia ambiental, las formas de apropiación y uso de los recursos naturales (Luis, 2006) (Juan Pérez, 2017).

El concepto de impacto ambiental no siempre tiene una connotación negativa, ya que los impactos producidos por una actividad o acción pueden producir alteraciones positivas o negativas en el ambiente o en alguno de los componentes que lo conforma (agua, suelo, aire, biota, paisaje). Dada su definición se puede asociar el impacto ambiental como un factor que ocasiona efectos o alteraciones a las condiciones de bienestar y socioculturales de las comunidades o grupos de humanos que habitan en un

área determinada que está siendo afectada favorable o desfavorablemente por la generación de dichos impactos.

3.3.2. Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es una actividad cuyo propósito es identificar y pronosticar el impacto en el ambiente bio geofísico y en la salud y bienestar de los humanos, de las propuestas legislativas, las políticas, los programas, los proyectos y los procedimientos operativos, e interpretar y comunicar información acerca de los impactos (Munn, 1979) (Henry & Heinke, Ingeniería Ambiental, 1999).

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un proceso legal-administrativo que pretende identificar, predecir, e interpretar el impacto ambiental que un proyecto o actividad pueden producir, así como prevenir, corregir y evaluar tal impacto (Duarte et al., 2007) (Plazas, Lema, & Leon, 2009)

Bajo los diversos conceptos el Sistema Nacional de Impacto Ambiental (SINEIA) (2015) en su reglamento establece que la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es el proceso de análisis que sirve para identificar, predecir y describir los posibles impactos positivos y negativos de un proyecto propuesto, así como proponer las medidas de mitigación para los impactos negativos y un plan de control y seguimiento periódico.

3.3.3. Aguas residuales

El Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, 2020) define a las aguas residuales como

aguas y demás líquido de desecho, de composición variada, provenientes de actividades domésticas, comerciales, institucionales, industriales, agrícolas, pecuarias, acuícolas, turísticas, mineras o de cualquier otra actividad o proceso capaz de generar aguas de desecho.

3.3.4. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Se entiende por Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales al conjunto de operaciones y procesos de origen físico, químico o biológico; o una combinación de ellos que transportan y manejan fluidos provenientes de efluentes humanos e industriales, y que tienen como fin último remover o eliminar los contaminantes presentes en el agua, para no causar peligro a la salud humana y generar un impacto significativo en el ambiente.

Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es una instalación industrial donde se utiliza una combinación de procesos mecánicos, físicos, químicos y biológicos para eliminar contaminantes de las aguas residuales entrantes (Hreiz, Latifi, & Roche, 2015).

Según el Consejo Nacional de Agua y Saneamiento (CONASA) (2020) de Honduras los objetivos del tratamiento de aguas residuales se inclinan a proteger la salud humana, el recurso agua en sus diferentes usos, proteger el medio ambiente y, además, cumplir con la normativa nacional vigente en materia de ambiente y salud pública. El rol de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales es la remoción de nutrientes, materia orgánica, parásitos, bacterias, virus y patógenos. La tecnología de tratamiento se selecciona en base a los contaminantes presentes en el agua a tratar.

3.3.5. Plan de Mejora Ambiental

El plan de mejora ambiental es un instrumento técnico de evaluación de impacto ambiental que incluye el conjunto de acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar, corregir, rehabilitar los posibles efectos o impactos ambientales ocasionados a cualquiera de sus componentes (suelo, agua, aire, biota, otros) referentes a un proyecto, obra o actividad que no ha iniciado o que ha iniciado alguna alteración en el sitio donde se plantea desarrollar un proyecto.

3.3.6. Calidad Ambiental

El Diccionario de la Real Academia Española (2024) define calidad como la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor. Por su parte, Kaiser y Frick (2002), Kaiser y Fuhrer (2003) y Frick, Kaiser y Wilson (2004) definen el conocimiento ambiental (CA) como aquel que integra saberes relacionados con el funcionamiento y problemáticas de los ecosistemas, alternativas de comportamientos solidarios y obtención de un mayor beneficio ambiental (Saza-Quintero, Sierra-Barón, & Gómez-Acosta, 2021).

Bajo tales conceptos, Andreina Rojas Benavides (2011) cita en su investigación denominada “Calidad de vida, calidad ambiental y sustentabilidad como conceptos urbanos complementarios” la definición de calidad ambiental dada por el Observatorio Ambiental de la Unión Europea (2010) como “el conjunto de propiedades, elementos o variables del medio ambiente, que hacen que el sistema ambiental tenga mérito suficiente como para ser conservado”.

3.4. Importancia de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) son esenciales para el tratamiento y la disposición de las aguas residuales, cumpliendo un papel importante para asegurar la calidad de los recursos hídricos y la salud pública de las comunidades o industrias.

3.4.1. Tipos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales

Existen diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, su selección recae en el tipo de contaminantes que presentan las aguas residuales y que se pretende disminuir o eliminar con la finalidad de no contribuir al deterioro de la calidad del agua y el ambiente.

TABLA 5

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN BASE A CONTAMINANTE PRESENTE.

Contaminante	Operación o proceso utilizado
Sólidos Suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> • Desbaste y dilaceración • Desarenado • Sedimentación • Filtración • Flotación

	<ul style="list-style-type: none">• Adición de polímeros• Coagulación/ sedimentación• Sistemas Naturales
Materia Orgánica Biodegradable	<ul style="list-style-type: none">• Variante de fangos activos• Película fija, filtros percoladores, bio discos• Lagunas de estabilización• Filtración intermitente en arena• Sistema físico químico• Sistemas naturales
Compuestos Organicos Volátiles	<ul style="list-style-type: none">• Arrastre por aire• Tratamiento de gases• Adsorción en carbón
Patógenos	<ul style="list-style-type: none">• Cloración• Hipo cloración• Cloruro de bromo• Ozonización• Radiación ultravioleta• Sistemas naturales
Metales pesados	<ul style="list-style-type: none">• Precipitación química• Intercambio iónico
Sólidos Inorgánicos Disueltos	<ul style="list-style-type: none">• Intercambio iónico• Osmosis inversa• Electrodialisis

FUENTE 6 EL CUADRO ANTERIOR HA SIDO ADAPTADO DE CONASA (**ORTIZ B., INTRODUCCIÓN AL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES, 2020**)

3.4.2. Tipos de tratamiento de aguas residuales

En términos de calidad del agua existen indicadores que nos permiten identificar principales contaminantes contenido en las aguas residuales. Los tres principales indicadores son: La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) que es un indicador de la materia orgánica que disminuye el oxígeno en el agua, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) que se utiliza como indicador de contaminantes de descargas no municipales o provenientes de descargas industriales y Sólidos Suspendedos Totales (SST) que provienen principalmente de las aguas residuales y la erosión del suelo (Ceja, 2019).

Existen diversos procesos para asegurar la calidad del agua provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, con el objetivo primordial de eliminar o modificar los contaminantes y que estos no afecten la salud humana y el ambiente.

Según J. Glynn Henry (1999) dentro de los principios para el tratamiento de aguas residuales existen tres procesos de tratamiento: procesos físicos, procesos químicos y procesos biológicos. La selección del tipo de tratamiento consistirá en base a los estándares de calidad de efluentes y agua para que estos puedan ser descargados sin generar una afectación negativa al entorno.

3.4.2.1. Procesos físicos

Es el proceso físico de separación sólidos en suspensión de las aguas residuales. Generalmente se utiliza para separar la arenilla, clarificar las aguas de alcantarillado que están sin tratar y concentrar los sólidos. Este proceso depende de las propiedades físicas de los contaminantes utilizando métodos como la filtración de sólidos, la precipitación, la separación y el tamizado.

3.4.2.2. Procesos biológicos

Proceso en el que los componentes orgánicos de las aguas residuales sirven como alimento que proporciona energía para el crecimiento de otros microorganismos. Principalmente bacterias transforman la materia orgánica en dióxido de carbono, agua y células nuevas.

3.4.2.3. Procesos químicos

Proceso que depende de las propiedades químicas de los contaminantes o reactivo que ha sido agregado o incorporado al agua. Procesos químicos comunes en el tratamiento de aguas residuales son la oxidación, la reducción, la neutralización, la precipitación y la desinfección.

Como respuesta a la preocupación del impacto a la salud y a la seguridad por parte de las aguas residuales no tratadas, el mecanismo de desinfección es uno de los procesos químicos más utilizados para destrucción o desactivación de organismos patógenos. En base a estudio de la EPA (1999) existen alternativas de desinfección como ser la cloración, ozonización y la desinfección con radiación ultravioleta (UV), no

obstante, la selección depende de criterios: como la capacidad de penetrar y destruir los gérmenes infecciosos en condiciones normales de operación, la ausencia de residuos tóxicos y de compuestos mutagénicos o carcinógenos, costos de inversión, operación y mantenimiento; y la facilidad y seguridad en el manejo.

TABLA 6

AGENTES POTENCIALMENTE INFECCIOSOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
NO TRATADAS.

Organismo	Ejemplo
Bacterias	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Escherichia coli</i> • <i>Leptospira (spp.)</i> • <i>Salmonella typhi</i> • <i>Salmonella (2,100 serotipos)</i> • <i>Shigella (4 spp.)</i> • <i>Vibrio cholerae</i>
Protozoos	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Balantidium coli</i> • <i>Cryptosporidium parvum</i> • <i>Entamoeba histolytica</i> • <i>Giardia lamblia</i>
Helmintos	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Ascaris lumbricoides</i> • <i>T. solium</i> • <i>Trichuris trichiura</i>
Virus	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Virus entericos (72 tipos)</i> • <i>Hepatitis A</i>

-
- *Agente de Norwalk*
 - *Rotavirus*
-

FUENTE 7: TABLA ADAPTADA DE LA AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (EPA POR SUS SIGLAS EN INGLÉS) ADAPTACIÓN DE CRITES AND TCHOBANOGLOUS, 1998.

3.5. Ciclo de vida en la gestión de proyectos

El ciclo de vida de un proyecto es la estructura que guía sistemáticamente las actividades desde la concepción hasta la finalización del proyecto, garantizando control, previsibilidad y alineación con los objetivos planteados. Según el PMBOK Guide (Project Management Institute, 2021) este ciclo comprende cinco fases principales, que pueden ser aplicadas tanto en proyectos de infraestructura como en proyectos ambientales como el presente estudio

3.5.1. Inicio (Initiation)

La fase de inicio consiste en justificar el proyecto, definir su propósito, alcance preliminar y objetivos generales. Se elabora la carta del proyecto (Project Charter) y se identifican los interesados clave,

3.5.2. Planificación (Planning)

En esta segunda fase se desarrolla el plan de gestión del proyecto, incluyendo cronograma, EDT (estructura de desglose de trabajo), estimación de recursos y presupuesto, matriz de riesgos y plan de calidad. Se definen las métricas de desempeño que permitirán el seguimiento del proyecto.

3.5.3. Ejecución (Execution)

En esta tercera fase se implementan las actividades planificadas: recolección de datos, muestreos, análisis técnico, valoración de impactos y diseño de soluciones.

Durante esta fase, se coordinan los recursos, se gestionan las comunicaciones y se llevan a cabo entrevistas para recopilar percepciones.

3.5.4. Monitoreo y control (Monitoring & Controlling)

Esta se ejecuta a lo largo del diseño del proyecto. Se realiza el seguimiento del desempeño frente a lo planificado. Se ejecutan ajustes, se controlan desviaciones y se actualiza la matriz de riesgos.

3.5.5. Cierre (Closure)

Se formaliza la entrega de resultados: informe final, Plan de Mejora Ambiental y documentación.

CAPITULO 4. MÉTODO

En este capítulo se presenta el método utilizado para llevar a cabo la investigación, detallando el enfoque, el alcance y el diseño de investigación, así como las variables analizadas. Además, se describen los instrumentos y materiales empleados. Finalmente, se expone el procedimiento para la recopilación de la información.

4.1. Enfoque, alcance y diseño de la investigación

4.1.1. Enfoque

El término de investigación se define como un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema en particular. Según Hernández-Sampieri (2014) el enfoque de investigación constituye las diferentes elecciones para enfrentar problemas de investigación y que resultan valiosas para la humanidad para investigar y generar conocimientos. También, se define que el enfoque de investigación son la perspectiva teórica o metodológica que se utiliza para abordar un problema (Acosta Faneite, 2023).

El enfoque de esta investigación es mixto, ya que conlleva la adopción del enfoque cuantitativo y cualitativo. El enfoque cuantitativo se fundamenta en la recopilación de datos numéricos relacionados con las matrices de evaluación de impacto y los parámetros físicos, químicos y biológicos de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala, con relación a los parámetros de calidad de efluentes en base a la Norma Técnica de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos receptores y Alcantarillados. Por otro lado, el enfoque cualitativo utiliza la recolección y análisis de los datos para revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) , que permite comprender la gestión, funcionamiento y mantenimiento de la planta de tratamiento, así

como la percepción de los actores clave (Unidad Técnica Municipal de Agua y Saneamiento, Unidad Técnica Municipal de Ambiente, Operadores de la Planta de Tratamiento de aguas residuales, etc.) respecto a su impacto ambiental.

Desde una perspectiva de gestión de proyectos, el enfoque mixto se alinea con los lineamientos establecidos por el PMBOK Guide (Project Management Institute, 2021), ya que facilita una comprensión integral de la situación, integrando herramientas de análisis cuantitativo y cualitativo como parte de los procesos de identificación de riesgos, evaluación del desempeño ambiental y formulación de acciones correctivas. Este enfoque es consistente en la evaluación de proyecto ya que promueve una toma de decisiones basada en evidencia tanto técnica como contextual.

4.1.2. Alcance

El alcance de esta investigación es de naturaleza descriptiva, ya que busca especificar propiedades y características importantes de cualquier tema que se analice y describir tendencias de un grupo o población (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014). En esta investigación se pretende describir y detallar las características y el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala, así como los impactos ambientales generados por los efluentes descargados en el cuerpo receptor cercano. Además, se propondrán medidas para mejorar la sostenibilidad ambiental de la planta.

Desde el punto de vista de la gestión de proyectos, la definición del alcance del proyecto descrito en el PMBOK Guide (Project Management Institute, 2021), enfatiza la necesidad de establecer con claridad los entregables, límites y criterios de éxito del proyecto. En esta investigación, ello se traduce en la delimitación precisa del objeto de

estudio y la identificación de mejoras técnicas, operativas y estratégicas que puedan incorporarse en un futuro plan de mejora ambiental para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Marcala.

4.1.3. Diseño de la investigación

Hernandez Sampieri (Hernandez Sampieri, 2014) señala que la gestación del diseño del estudio representa el punto donde se conectan las etapas conceptuales del proceso de investigación como el planteamiento del problema, el desarrollo de la perspectiva teórica y las hipótesis con las fases subsecuentes cuyo carácter es más operativo. Para esta investigación el estudio adopta un diseño no experimental y transversal. Es no experimental ya que no se manipulan las variables, es decir, que se realizará la evaluación ambiental puntual de la planta de tratamiento de aguas residuales sin intervenir en su funcionamiento. Es transversal, dado que los datos se recopilan en el primer trimestre del 2025, indicando un momento determinado.

La determinación de la solución de diseño se realizó integrando dos enfoques metodológicos: la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y la Gestión de Proyectos según el PMBOK Guide (2021). En la evaluación de impacto ambiental se identificaron y calificaron los impactos generados por los efluentes y subproductos sobre el cuerpo receptor y el ambiente que le rodea mediante una matriz de evaluación de impactos. Esta información fue utilizada en la fase de planificación del proyecto para definir un plan de mejora ambiental con acciones concretas.

Al aplicar las fases de la gestión de proyectos, se inició con la fase de inicio, donde se definió el problema, los objetivos y los interesados claves. En la fase de planificación, se identificó el alcance del proyecto, se elaboró un cronograma de actividades y una matriz de riesgos. Durante la fase de ejecución, se recolectó y analizó la información de campo. En la fase de monitoreo y control, se validaron los resultados obtenidos y se ajustaron las recomendaciones con base en criterios técnicos y sociales. Finalmente, en la fase de cierre, se formuló el Plan de Mejora Ambiental como producto final del estudio.

4.2. Diseño metodológico de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

Existen múltiples definiciones sobre lo que constituye una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). El Reglamento del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (2015) define la evaluación de impacto ambiental como el proceso de análisis que sirve para identificar, predecir, y describir los posibles impactos positivos y negativos de un proyecto propuesto, así como proponer las medidas de mitigación de los impactos negativos y un plan de control y seguimiento. En Honduras se considera un proceso obligatorio para proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el ambiente.

Según Astorga Gättgens (2009), la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) se divide en dos pasos principales, a saber:

- 1. Evaluación de Impacto Ambiental inicial (tamizado y selección):** paso se realiza antes de que la actuación humana sea aprobada y obtenga la autorización ambiental para ser ejecutada.

2. **Control y Seguimiento:** se realiza cuando dicha actuación ya se encuentra en ejecución, sea construcción o bien operación.

En este apartado se detalla a continuación el procedimiento metodológico estándar de la evaluación de impacto ambiental (EIA):

4.2.1. Categorización

Esta fase consiste en determinar si el proyecto requiere una EIA. Según el reglamento del SINEIA (2015) los proyectos, obras o actividades se ordenan de forma taxativa en una Tabla de Categorización ambiental, que toma como referencia el Estándar Internacional del Sistema CIIU, Código Internacional Industrial Uniforme de todas las actividades productivas. La categorización ambiental se basa en la categorización del 1 al 4, según tipo de proyecto, magnitud y posibles riesgos.

La tabla de categorización ambiental vigente, emitida por la Secretaría de Recursos Naturales (2021), según Acuerdo Ministerial No. 705-2021 en el Anexo 3 denominado Tabla de Categorización Ambiental SLAS II 2021, establece que las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) pueden ser clasificadas desde la categoría 1 a la categoría 3, según el caudal del afluente que ingresa a la planta de tratamiento. Este paso es crucial en la realización de una Evaluación de Impacto Ambiental, para determinar el nivel de impacto que genera el proyecto. La categoría 3 corresponde a todo proyecto o actividad considerada de alto impacto potencial o riesgo ambiental.

4.2.2. Términos de Referencia (TDR)

Los Términos de Referencia definen el alcance de la Evaluación de Impacto Ambiental. Son Términos de Referencia Tipo o Estándar elaborados por la Dirección General de Evaluación y Control Ambiental (DECA) de la Secretaría de Recursos Naturales (SERNA), en los que se establecen todas las especificaciones para la elaboración de los documentos, herramientas o estudios requeridos (SERNA, 2015). Estos Términos de Referencia tipo o estándar se definen por el sector, subsector, actividad y código específico en la que el proyecto clasifica.

Para efectos de este estudio se identifica el proyecto de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala dentro del Sector 11 que corresponde al área de Saneamiento, Subsector B de Gestión de Aguas Residuales y la Actividad 006 que incluyen Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas cuando no formen parte integral de un proyecto

ILUSTRACIÓN 2

SECCIÓN DE LA TABLA DE CATEGORIZACIÓN AMBIENTAL SECTOR 11. SANEAMIENTO;
SUBSECTOR B. GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES

314	SECTOR 11. SANEAMIENTO	B. Gestión de Aguas Residuales	006. Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas cuando no formen parte integral de un proyecto	Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas	SC	11B006	≤ 250 m ³ /día	> 250 - 400 m ³ /día	> 400 m ³ /día	
-----	---------------------------	--------------------------------------	--	--	----	--------	------------------------------	------------------------------------	------------------------------	--

FUENTE 8 TABLA DE CATEGORIZACIÓN AMBIENTAL (SECRETARÍA DE RECURSOS
NATURALES (SERNA), 2021)

4.2.2.1. Descripción del proyecto y del entorno

Glasson, Therivel y Chadwick (2012) señalan que la descripción del proyecto o actividad de desarrollo debe incluir una explicación clara del propósito y la justificación del proyecto, así como una caracterización detallada de sus componentes, considerando las etapas de desarrollo (construcción, operación, cierre), ubicación y procesos.

En el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, es fundamental distinguir entre las etapas en las que se encuentra el proyecto. Según Glasson, Therivel y Chadwick (2012), se identifican etapas antes de la toma de decisiones (planificación y resolución de conflictos), así como etapas que ocurren posteriormente (etapa de construcción, operación y cierre). Esta distinción es clave para realizar una evaluación de impacto ambiental adecuada a cada etapa del ciclo de vida del proyecto. Para efectos de este estudio la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se encuentra en la etapa de operación y se considera la etapa de cierre.

4.2.2.2. Área de influencia del proyecto (directa e indirecta)

Parte fundamental en el proyecto es definir las áreas de influencia que tiene el proyecto de manera directa e indirecta.

a) Ubicación del proyecto

Indica la localización del proyecto, incluye datos de la municipalidad y departamento; mapa de localización del área del proyecto, con referencia a la principal carretera asfaltada y geolocalización más cercana.

b) Área del Proyecto

El área de construcción es el número de metros cuadrados que se desarrollará. El área del terreno en la que corresponde el proyecto se denomina el área neta del proyecto, que forma parte del área total del proyecto. (Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible, 2016)

c) Área de influencia directa

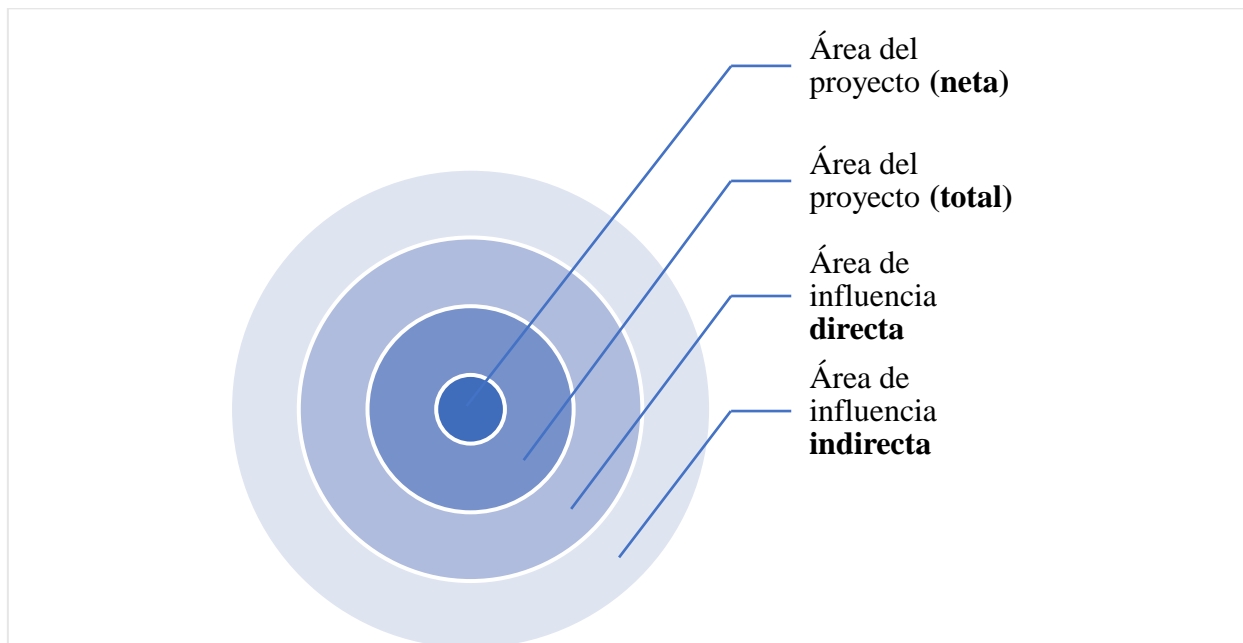
Se define como el entorno del proyecto que se encuentra fuera del área general del proyecto y se extiende desde sus fronteras a una distancia de 500 metros. Esta área debe incluirse en el análisis medioambiental, y se debe preparar mapas para la Evaluación de Impacto Ambiental (Astorga Gättgens, 2009) (p.52).

d) Área de influencia indirecta

Corresponde al espacio geográfico externo al área de influencia directa en donde todavía se detectan los efectos producidos por la actividad, obra o proyecto. Su extensión depende del efecto ambiental específico y éste a su vez del aspecto ambiental que lo causa. (Astorga Gättgens, 2009) (p.53)

ILUSTRACIÓN 3

ESQUEMA DE LAS ÁREAS DEL PROYECTO E INFLUENCIA.



FUENTE 9 ELABORACIÓN PROPIA.

4.2.2.3. Caracterización del medio físico, biótico y socioeconómico

Un paso elemental en la Evaluación de Impacto Ambiental es la descripción del entorno afectado para el área potencial de influencia. Esto requiere de la identificación de factores ambientales y su organización en componentes físicos, biológicos, culturales y socioeconómicos (Canter, 1982).

De acuerdo con Glasson, Therivel y Chadwick (2012), el desarrollo económico y social no puede analizarse de manera aislada, sino que debe entenderse en relación con el entorno ambiental en el que ocurre.

4.2.2.4. Línea base ambiental

La línea base consiste en la recopilación y el análisis de la información sobre el estado actual y futuro del medio ambiente del área de influencia del proyecto, teniendo en cuenta los cambios derivados de eventos naturales y de otras actividades antropogénicas (Glasson, Therivel, & Chadwick, 2012). Esta información sirve como referencia para comparar los posibles cambios del proyecto.

4.2.2.5. Línea base social

Los estudios de impacto social están tomando mayor relevancia como métodos de evaluación asociados al desarrollo de proyectos, programas y políticas que inciden en la dinámica económica y social de las localidades afectadas (MORALES RAMÍREZ & ROUX RODRÍGUEZ, 2015).

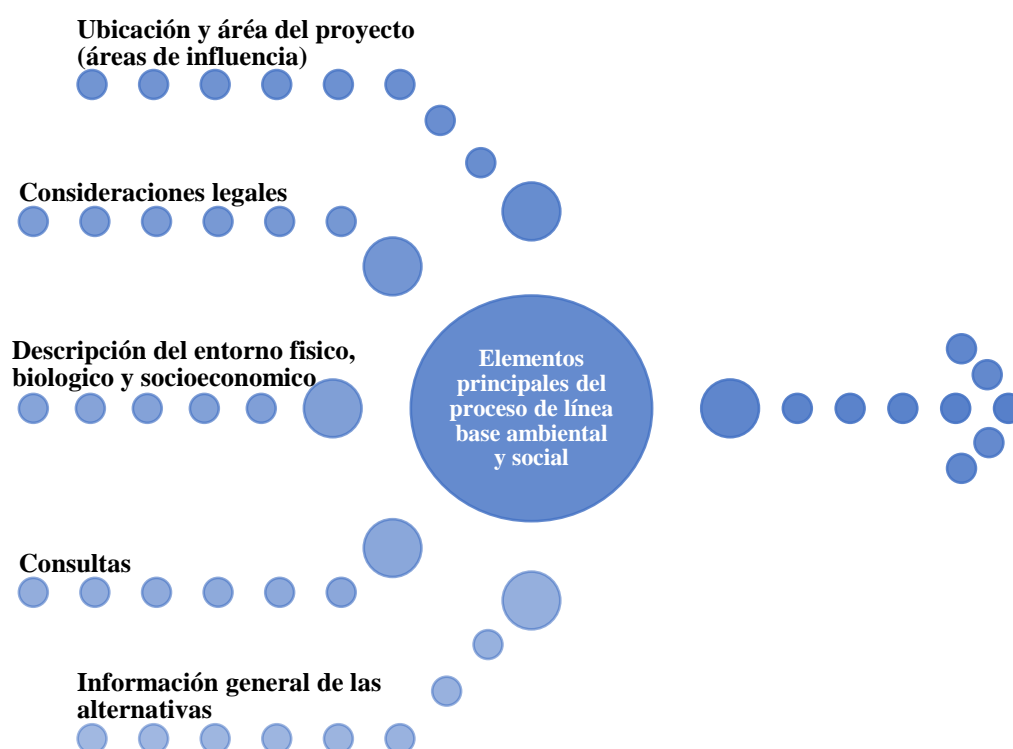
En este contexto, consiste en la recopilación y el análisis de información con base en los datos estadísticos disponibles, caracterizar a la población del área del proyecto, identificando aspectos demográficos, socioeconómicos y culturales. Asimismo, se debe describir los servicios públicos disponibles dentro del área de influencia directa, tales como: acceso a agua potable, red vial, suministro eléctrico, telecomunicaciones, servicios educativos, de salud y de atención a emergencias. Finalmente, se recomienda incluir un resumen de la información arqueológica existente en el área del proyecto, como parte del análisis integral del entorno social y cultural (Astorga Gättgens, 2009).

Para esta tesis, la línea base social no sólo se elaborará a partir de fuentes primarias y secundarias que describen las condiciones socioeconómicas y culturales del área de influencia, sino que también, será complementada con herramientas propias de

la gestión de proyectos, a fin de fortalecer el análisis contextual desde una perspectiva estratégica. Entre estas herramientas, se destaca la aplicación del análisis de interesados (stakeholders), el cual permitirá identificar, clasificar y comprender el grado de influencia, poder e interés de los actores clave vinculados a la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala. Además, esta herramienta facilitará una caracterización más integral de los grupos sociales y técnicos involucrados, permitiendo anticipar posibles conflictos, identificar aliados estratégicos y orientar la formulación de medidas participativas y sostenibles en el marco del Plan de Mejora Ambiental.

ILUSTRACIÓN 4

ELEMENTOS PRINCIPALES DEL PROCESO DE LÍNEA BASE AMBIENTAL Y SOCIAL.



FUENTE 10 ELABORACIÓN PROPIA.

4.2.3. Identificación y Evaluación de impactos y mitigación

La identificación y evaluación de impactos ambientales tiene como objetivo fundamental caracterizar los efectos que sobre el medio ambiente pudiera producir el proyecto. La metodología utilizada para la evaluación de los impactos ambientales es la conocida como “Criterios para Evaluación de Impactos Ambientales”. La evaluación y la valoración de la significancia permite establecer la relevancia relativa de los impactos previstos, con el fin de enfocar la atención en aquellos impactos que presentan mayor importancia o riesgo (Glasson, Therivel, & Chadwick, 2012).

De acuerdo con el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (2016), en esta parte se realiza una evaluación detallada del proyecto planificado y se comparan las alternativas seleccionadas con las condiciones de referencia, lo cual se realiza mediante descripciones cualitativas de aspectos tales como impactos altos, intermedios y bajos, y descripciones cuantitativas tales como por ejemplo, el volumen de aguas residuales producidas y contaminantes liberados.

Así mismo, el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (2016), señala que en esta etapa las medidas de mitigación constituyen un elemento fundamental para el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental; debido a que las medidas tienen como objetivo prevenir o compensar los impactos adversos del proyecto en el ambiente y las personas.

4.2.3.1. Métodos cuantitativos y cualitativos para identificar impactos

En el tiempo, las metodologías y herramientas de evaluación de impacto ambiental han sido utilizadas para la identificación de impactos. Metodologías y herramientas relativamente simples son aplicadas para la identificación de impactos.

Estos métodos y herramientas simples han demostrado ser valiosos para aplicar un enfoque sistemático en la identificación de impactos. Los métodos formales más comúnmente utilizados para este propósito son: listas de verificación, matrices, redes, superposiciones y sistemas de información geográfica (SIG), sistemas expertos y el juicio profesional (UNEP, 2002) .

4.2.3.2. Uso de matrices, lista de chequeo, sistemas de información geográfica (SIG), juicio profesional de expertos

4.2.3.2.1. Matriz de Causa y Efecto

De acuerdo con el Instituto Internacional para el Desarrollo (2002), las matrices “son los métodos más utilizados en la evaluación del impacto ambiental. Las matrices toman la forma de una rejilla o tabla que permite la evaluación de los vínculos o impactos entre las cuestiones enumeradas en las filas y columnas, lo cual incluye, por ejemplo, los impactos en todas las etapas del proyecto, desarrollo, operación y cierre, para cada uno de los elementos del medio ambiente y la sociedad” (p.20).

La Matriz de Causa y Efecto, también denominada Matriz de Relación Proyecto-Ambiente, es una herramienta metodológica utilizada en la identificación y evaluación de los impactos ambientales de un proyecto. Su propósito principal es visualizar, de manera sistemática, la interacción entre las acciones o actividades del proyecto y los componentes del medio ambiente que podrían verse afectados.

Esta matriz organiza la información en dos dimensiones principales: por un lado, las actividades del proyecto, y por otro, los elementos del medio físico, biológico y socioeconómico. A través de la interrelación de ambas dimensiones, se identifican los posibles efectos ambientales, permitiendo prever y caracterizar los impactos que pueden generarse durante la fase de operación/mantenimiento.

El proceso de construcción de la matriz comprende las siguientes etapas:

- ❖ Identificación de acciones del proyecto que puedan producir alteraciones en el ambiente.
- ❖ Análisis del medio receptor, distinguiendo los componentes más sensibles o vulnerables al proyecto.
- ❖ Interacción entre actividades y componentes ambientales, determinando efectos directos o indirectos, positivos o negativos.
- ❖ Jerarquización y valoración de impactos, mediante la aplicación de criterios específicos de evaluación.

Elaborada de manera colaborativa con un equipo multidisciplinario de expertos, la matriz facilita no solo la identificación exhaustiva de los posibles impactos, sino también su posterior selección, evaluación y priorización, de modo que se enfoque la gestión ambiental en aquellos efectos más significativos.

4.2.3.2.2. Lista de Chequeo

Para efectos de esta investigación se utilizaron listas de chequeo obligatorias conforme al formato estándar de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) de Honduras. Estas listas constituyen una herramienta técnica que permite organizar, clasificar y registrar de manera sistemática los factores ambientales e información base y prioritaria que debe ser evaluada durante el análisis de un proyecto.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2002), señala que las listas de chequeo anotan las características o factores ambientales que deben considerarse al identificar los impactos de proyectos y actividades. Estas pueden variar en cuanto a su complejidad y propósito, desde una lista simple hasta una

metodología estructurada o un sistema que también asigna significancia mediante la valoración y ponderación de los impactos. Las listas de chequeo tienen la versatilidad de ser mejoradas y adaptadas a las diferentes condiciones locales del área del proyecto en base a la experiencia en su aplicación.

4.2.3.2.3. Sistemas de información geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica (SIG) analizan y gestionan mucha información, lo que las convierte en una herramienta de interés para el análisis. Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas clave para comprender la dinámica de los fenómenos ambientales, ya que integran información de diversos aspectos ecológicos y permiten simular modelos que reproducen su comportamiento, facilitando la evaluación de consecuencias y la toma de decisiones casi en tiempo real (Rodríguez M. , 2001)

4.2.3.2.4. Juicio profesional de expertos

Es Instituto Internacional para el Desarrollo (2002), define que “el juicio de expertos se basa en la opinión profesional de expertos que tienen una considerable experiencia en las áreas de los impactos evaluados” (P.19).

El juicio profesional de expertos se utiliza cuando los datos e información disponible son muy limitados.

4.2.3.3. Criterios para la valoración ambiental

Los criterios para la valoración ambiental son parámetros técnicos que permiten analizar, calificar y jerarquizar los impactos ambientales identificados durante el desarrollo de un proyecto. Estos criterios sirven para establecer, de manera sistemática y objetiva, la importancia relativa de cada impacto, evaluando sus características específicas, su magnitud y su incidencia sobre los componentes del medio físico, biológico y socioeconómico.

Cada criterio recibe un valor, acotado entre un máximo de tres (3) para la condición más desfavorable al ambiente (el peor de los casos) y un mínimo de uno (1) para la condición menos impactante en el caso de los impactos negativos.

Cada criterio recibe un valor, acotado entre un máximo de tres (3) para la condición más favorable al ambiente (el mejor de los casos) y un mínimo de uno (1) para la condición menos impactante en el caso de los impactos positivos.

En la siguiente tabla se describen los criterios a evaluar en el proceso de valoración de impactos ambientales:

TABLA 7

CRITERIOS POR EVALUAR EN EL PROCESO DE VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

SIGNIFICADO DEL CRITERIO	VALOR	CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN
TIPO (T)			

Se refiere al efecto Beneficioso (+) o perjudicial (-)	(+)	Positivo	Cuando resulte beneficioso en relación con el estado previo de la actuación
	(-)	Negativo	Cuando el resultado de la actuación resulte perjudicial

INTENSIDAD (I)

Representa el grado de incidencia sobre el factor en el ámbito específico que actúa. (Grado de afectación)	1	BAJA	La afectación del impacto es baja y se recupera las condiciones originales al cese de la acción
	2	MEDIA	Afecta al entorno del sistema sin provocar mayores cambios en la funcionalidad de este, y la recuperación requiere de medida correctivas
	3	ALTA	La magnitud del efecto es superior a los niveles aceptables y se producen pérdidas permanentes

EXTENSIÓN (E)

Representa la amplitud del efecto ambiental	1	PUNTUAL	Cuando la afectación se produce de manera focalizada
	2	PARCIAL	Si trasciende en un área considerable
	3	EXTENSO	Si la afectación produce daños de manera regional o nacional
MOMENTO (M)			
Expresa el tiempo transcurrido entre la ejecución de la actividad impactante y la manifestación de la alteración de la variable ambiental	3	CORTO PLAZO	Si se produce antes de un (1) año
	2	MEDIO PLAZO	Si se origina antes de cinco (5) años
	1	LARGO PLAZO	Si se producen en un tiempo mayor a 5 años.
PERSISTENCIA (P)			
Trata de las características del efecto con relación al tiempo transcurrido	1	FUGAZ	Cuando el efecto produce una alteración momentánea
	2	TEMPORAL	Si la alteración tiene un plazo limitado.
	3	PERMANENTE	Si el efecto provoca una alteración indefinida.
REVERSIBILIDAD (R)			

Expresa la probabilidad de regresar a las condiciones iniciales por medios naturales	1	CORTO PLAZO	Cuando las condiciones reaparecen de forma natural al cabo de un corto tiempo
	2	MEDIANO PLAZO	Si las condiciones naturales reaparecen de forma natural al cabo de un plazo medio de tiempo
	3	IRREVERSIBLE	Si la actuación de los procesos naturales es incapaz de recuperar las condiciones originales

RECUPERABILIDAD (Rc)

Expresa la posibilidad de eliminar una alteración al medio y su componente	1	RECUPERABLE	Cuando el medio se puede regenerar al estado original, por sí mismo o con la ayuda de medidas correctivas
	2	MITIGABLE	Si es posible realizar prácticas de medidas correctivas que aminoren el efecto del impacto
	3	IRRECUPERABLE	No es posible aplicar medidas correctivas

SINERGIA (S)

Producción de un efecto conjunto de presencia simultánea de varios agentes, de incidencia ambiental mayor que el efecto de la suma de incidencias individuales contempladas por separado	1	NO SINÉRGICO	Cuando el efecto considerado no potencia la acción de otros efectos
	2	SINÉRGICO	Cuando el efecto considerado potencia la acción de otros efectos
	3	MUY SINÉRGICO	Cuando la potenciación es muy alta
ACUMULACIÓN (A)			
El efecto que al prolongarse en el tiempo su acción incrementa progresivamente su gravedad	1	SIMPLE	Cuando no induce a efectos secundarios acumulativos o sinérgicos
	3	ACUMULATIVO	Incrementa su gravedad cuando persiste la acción que lo genera
PERIODICIDAD (Pr)			
El efecto se manifiesta con un modo de acción intermitente y continua en el tiempo	2	CONSTANTE	Si se manifiesta de forma cíclica o recurrente
	1	NO PERIÓDICO	Si se manifiesta de forma impredecible
IMPORTANCIA (Im)			

Expresa el grado de atención que debe tener el efecto	1	BAJA	Cuando el efecto sobre el medio no amerita que se tomen medidas compensatorias
	2	MEDIA	Si deben tomarse medidas preventivas o compensatorias
	3	ALTA	No puede realizarse la actividad porque los efectos sobre el medio pueden ser devastadores

FUENTE 11 *ESA CONSULTORES, 2017.*

4.2.3.4. Cálculo de la Incidencia de Cada Impacto

Para el cálculo de la incidencia, se procede a la aplicación de una función de suma ponderada de los atributos según su significación. La ecuación de cálculo de la incidencia del impacto utilizada se muestra a continuación. Según los atributos aplicados (por tipo de proyecto y/o mandato de los TdR de la Secretaría de Recursos Naturales (SERNA)), la ecuación puede ser ajustada con el criterio del equipo multidisciplinario. La incidencia se obtiene a partir de la valoración cuantitativa en la asignación de peso; aplicando una suma ponderada de los atributos según su aplicación; la incidencia se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$I_c = I + 2E + 2M + 2P + R + R_c + S + A + Pr + Im$$

En ella se han valorado como más significativos los atributos de extensión, momento y persistencia del impacto, multiplicando por dos su efecto frente a los demás.

4.2.3.5. Estandarización

Utilizando los valores obtenidos en la incidencia se procede a realizar la estandarización entre un valor de cero (0) y un máximo de uno (1), se obtienen aplicando la siguiente fórmula:

$$I_s = \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

Dónde:

I_s = Valor de incidencia del impacto estandarizado entre 1 y 0

I = Valor de incidencia del impacto sin estandarizar

I_{max} = Valor máximo que puede tomar la incidencia del impacto

I_{min} = Valor mínimo que puede tomar la incidencia del impacto

Los valores de I_{max} e I_{min} son de 39 y 13, respectivamente, para todos los impactos excepto para los positivos, en los que toman valores de 33 y 11, respectivamente. En los impactos positivos, esto es así, dado que no se le asignan los atributos de recuperabilidad y reversibilidad, al no tener sentido en los mismos.

4.2.3.5.1. Cálculo de la Magnitud

Con el valor de la Incidencia del impacto estandarizado (I_s), se estima la Magnitud de cada impacto calificándola de la forma siguiente:

TABLA 8

CLASIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS SEGÚN SU MAGNITUD.

MAGNITUD			
Partiendo del valor de I_s establece la importancia	(A)	ALTO	Si el valor de I_s está entre 0.70
	(M)	MEDIANO	Si el valor de I_s está entre 0.50
	(B)	BAJO	Si el valor de I_s está entre 0.25
	(CO)	COMPATIBLE	Si el valor de I_s está entre 0.10
	(IM)	IMPERCEPTIBLE	Si el valor de I_s es menor a 0.10

FUENTE 12 ESA CONSULTORES, 2017.

Importancia o Impacto Alto (A): si se produce una pérdida permanente de las condiciones ambientales sin posible recuperación, incluso con la adopción de prácticas o medidas correctivas.

Importancia o Impacto Mediano (M): si la recuperación exige un tiempo dilatado, incluso con la actuación de medidas correctivas.

Importancia o Impacto Bajo (B): si la recuperación sin medidas correctivas intensivas lleva cierto tiempo.

Importancia o Impacto Compatible (Co): si el impacto tiene poca entidad, recuperándose el medio por sí mismo sin medidas correctivas e inmediatamente tras el cese de la acción.

Importancia o Impacto Imperceptible (Im): cuando las acciones no generan impactos significativos.

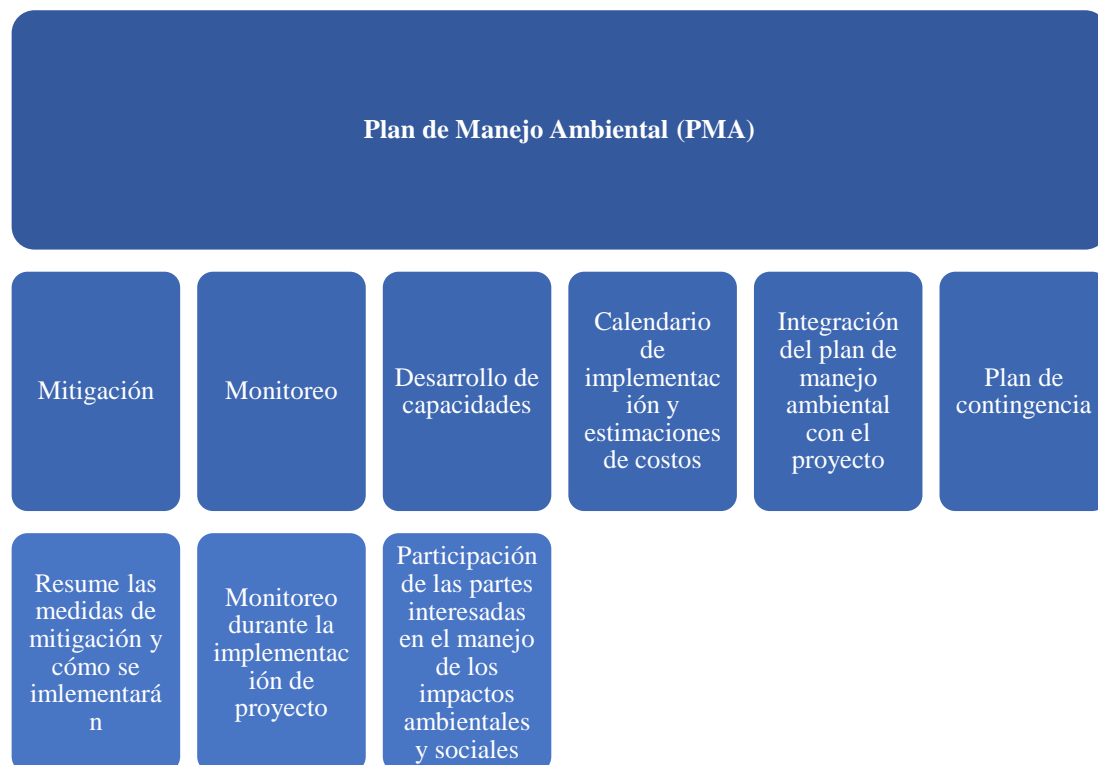
4.2.4. Propuesta de medidas de manejo ambiental

Las medidas de manejo ambiental constituyen un conjunto de planes y protocolos que forman parte del proceso de evaluación de impacto ambiental, cuyo propósito es gestionar y monitorear tanto las medidas de mitigación identificadas, como otros riesgos potenciales que pueden surgir en la vida útil del proyecto.

El plan de mejora ambiental es un componente esencial de la Evaluación de Impacto Ambiental, ya que traduce las medidas de mitigación propuestas en acciones concretas a ser ejecutadas por el proponente del proyecto.

ILUSTRACIÓN 5

PASOS CLAVE EN EL DESARROLLO DE UN PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.



FUENTE 13 ELABORACIÓN PROPIA.

La propuesta de medidas de manejo ambiental se desarrolla en base a la legislación nacional. Acorde a la legislación de Honduras, el Instituto Internacional para el Desarrollo (2016) resume los siguientes pasos:

- Resumen de los impactos potenciales de la propuesta.
- Vínculos con la legislación nacional y subnacional.
- Descripción de las medidas de mitigación recomendadas.
- Declaración de cumplimiento de las normas pertinentes.

- Asignación de recursos y responsabilidades para la implementación del plan.
- Calendario de las medidas que van a tomarse.
- Programa de monitoreo y auditoría.
- Plan de contingencia para atender los riesgos y emergencias adicionales

4.2.5. Elaboración de informe de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

Una vez realizados los pasos anteriores, la información se consolida en un informe, conforme a los Términos de Referencia. Los Términos de Referencia ya establecidos por la Secretaría de Recursos Naturales establecen la información que debe ser presentada en el informe de Evaluación de Impacto Ambiental.

4.3. Técnicas y herramientas de recolección de datos

Las técnicas y herramientas de recolección de datos están orientado a crear las condiciones para la medición. Los datos son conceptos que expresan una abstracción del mundo real, de lo sensorial, susceptible de ser percibido por los sentidos de manera directa o indirecta, donde todo lo empírico es medible (Hernández Mendoza & Duana Avila, 2020).

Según Best (1973) citado por Ruiz (2015) ha definido los instrumentos como “aquellos objetos materiales que nos permiten adquirir y analizar datos mediante los cuales pueden ser comprobadas las hipótesis de la investigación” (p. 133).

Para esta investigación se aplicarán diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos que permitieran obtener información cuantitativa y cualitativa

relevante. Las técnicas seleccionadas se alinean con el enfoque mixto de la investigación y se describen a continuación:

4.3.1. Muestreo y análisis laboratorial en la calidad de agua y efluente

El análisis de la calidad del agua constituye un componente clave dentro de la evaluación ambiental del proyecto. Con el objetivo de establecer la línea base del recurso hídrico y verificar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, se llevará a cabo un muestreo sistemático y análisis laboratorial de los efluentes generados por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala, así como del cuerpo receptor cercano, particularmente el río Chusmuy.

Se desarrollará conforme a los Términos de Referencia (TDR) para estudios ambientales y se ejecutará bajo los protocolos ambientales estándar, con el fin de asegurar la rigurosidad técnica y la validez de los resultados obtenidos.

4.3.1.1. Proceso de muestreo

El proceso comprenderá la evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos, como la demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST), para determinar la calidad del agua residual tratada y su impacto potencial en el entorno. Se aplicarán técnicas de muestreo puntual, de acuerdo con las condiciones del caudal y la variabilidad de las descargas.

4.3.1.2. Laboratorio

Las muestras recolectadas serán enviadas a laboratorios certificados, garantizando la trazabilidad y el control de calidad analítica. Todo el proceso se

realizará conforme a lo establecido en la Norma Técnica de Descarga de Aguas Residuales vigente en el país.

4.3.2. Revisión documental

La revisión documental comprende el análisis exhaustivo de información secundaria proveniente de fuentes institucionales, técnicas y normativas, con el objetivo de contextualizar la situación ambiental y regulatoria de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala. Esta técnica permitirá identificar antecedentes relevantes, niveles de cumplimiento, así como acciones correctivas implementadas previamente.

El proceso incluirá la evaluación de: Normativas ambientales vigentes, tanto nacionales como internacionales, aplicables a plantas de tratamiento de aguas residuales. Informes técnicos y de monitoreo elaborados por la Municipalidad de Marcala, consultores ambientales y autoridades competentes. Diagnósticos preexistentes y registros operacionales de la planta, incluyendo datos históricos sobre funcionamiento, mantenimiento y cumplimiento ambiental.

El análisis documental será clave para complementar el diagnóstico ambiental, proporcionando un marco de referencia que respalde los hallazgos obtenidos mediante otras técnicas de evaluación.

4.3.3. Grupo focal con expertos

Como parte del enfoque cualitativo de la investigación, se desarrollará un grupo focal con expertos en el sector de agua, saneamiento y ambiente, con el objetivo de

obtener una valoración técnica integral y una interpretación experta sobre el estado actual y los desafíos operativos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala. Esta técnica permite la interacción entre participantes clave, favoreciendo la discusión colectiva, la validación cruzada de percepciones y el análisis profundo desde diferentes perspectivas técnicas e institucionales.

El grupo focal se conformará por profesionales con experiencia directa en la operación, regulación y acompañamiento técnico de sistemas de saneamiento, particularmente en el contexto municipal y regional.

Expertos en el sector de agua, saneamiento y ambiente:

- ✓ Unidad Técnica Municipal de Agua y Saneamiento: Técnico Eraldo Rodríguez
- ✓ Unidad Técnica Municipal de Ambiente: Lic. Nain Melgar
- ✓ Mancomunidad de los Municipios del Centro de La Paz (MAMCEPAZ): Técnico de Agua y Saneamiento Ing. Harold Montoya
- ✓ Coordinadora de Incidencia en Saneamiento de Water for People: Ing. Sarahí Morales

La sesión se desarrollará con base en una guía temática previamente estructurada, enfocada en aspectos técnicos, ambientales e institucionales del funcionamiento de la PTAR, permitiendo recoger opiniones fundamentadas sobre fortalezas, brechas y posibles estrategias de mejora. Las intervenciones serán registradas y analizadas cualitativamente para complementar la revisión documental y los hallazgos de campo.

4.3.4. Aplicación de la Metodología de evaluación de impacto ambiental

Se elaborará una matriz de evaluación y una lista de verificación estructurada con base en el estándar nacional de cumplimiento ambiental para plantas de tratamiento de aguas residuales. Adicionalmente, se utilizarán Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis espacial de los impactos ambientales en el cuerpo receptor y áreas aledañas.

El uso complementario de estas técnicas permitió un abordaje integral del objeto de estudio, aportando datos confiables para la evaluación ambiental de la PTAR de Marcala y la formulación de recomendaciones fundamentadas.

4.4. Procedimiento

Basado en todos los elementos y antecedentes necesarios para la investigación del impacto de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala en el departamento de La Paz, se aplicará el estándar de la metodología de evaluación de impacto ambiental en Honduras para recolectar los datos necesarios y así poder determinar los indicadores planteados. El procedimiento de recolección de información ha sido diseñado para garantizar la obtención de datos precisos, relevantes y representativos, en concordancia con los objetivos de la investigación y el diseño metodológico adoptado.

Primeramente, se elaboró un cronograma detallado para la recolección de datos durante el primer trimestre del año 2025. Esta planificación incluyó la coordinación con

autoridades locales, operadores de la planta de tratamiento y técnicos municipales, asegurando la disponibilidad de los actores clave y el acceso a las instalaciones.

4.4.1. Procedimiento del muestreo de agua

La recolección de muestras de agua residual para el análisis de calidad en el municipio de Marcala, La Paz, se llevó a cabo mediante un muestreo simple y puntual, de acuerdo con las metodologías aceptadas por el Laboratorio de Análisis Industriales MQ y que corresponde a la Norma técnica nacional

El muestreo simple y puntual consistió en la toma de muestras individuales en sitios específicos, en un solo momento y bajo condiciones predeterminadas, con el fin de representar las características del agua en el instante de recolección. No se realizaron mezclas de diferentes momentos o ubicaciones; cada muestra representa de manera independiente las condiciones del agua en el punto y tiempo específico de su toma.

Las muestras fueron recolectadas el 21 de abril de 2025 a las 2:00 PM, siguiendo los siguientes puntos de toma:

- ❖ Punto #1: Cuerpo receptor (río) aguas arriba, a una distancia de 200 metros del punto #2.
- ❖ Punto #2: Efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- ❖ Punto #3: Cuerpo receptor (río) aguas abajo, 100 metros aproximadamente abajo del punto #2.
- ❖ Punto #4: Se identificó este punto de muestreo como efluente, sin embargo, corresponde al punto donde convergen las aguas provenientes a

red baja del alcantarillado sanitario que no entra a la planta de tratamiento y las aguas del rastro municipal que se encuentra en la sección opuesta del río.

ILUSTRACIÓN 6

SITIOS DE MUESTREO DE AGUA



FUENTE 14 ELABORACIÓN PROPIA. UTILIZANDO GOOGLE EARTH PRO, SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN GEOESPACIAL (2025).

Cada muestra se almacenó en envases plásticos de 1 galón de capacidad, debidamente preservados para su posterior análisis en laboratorio. La preservación de las muestras se realizó de acuerdo con los procedimientos estándar (hielera y hielo), asegurando que las características fisicoquímicas se mantuvieran hasta el momento de su análisis.

4.4.2. Análisis laboratorial

Las muestras fueron entregadas al Laboratorio de Análisis Industrial MQ, donde se analizaron parámetros como: Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Los métodos de ensayo utilizados en el laboratorio correspondieron a los estándares establecidos en la 24ª edición del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", asegurando la confiabilidad de los resultados.

4.4.3. Procedimiento seguido para el desarrollo de grupo focal con expertos

De forma paralela, se llevó a cabo un grupo focal con la participación de personal técnico de la Unidad Técnica Municipal de Agua y Saneamiento (UTMAS), operadores de la planta de tratamiento de aguas residuales y autoridades ambientales municipales. El grupo focal se desarrolló de manera híbrida, combinando modalidad presencial y virtual, para facilitar la participación de todos los actores involucrados.

Durante la sesión, se realizaron registros mediante la toma de notas en la plataforma colaborativa MIRO, lo cual permitió organizar y sistematizar la información de manera dinámica y visual. Además, el desarrollo del grupo focal fue grabado, previa obtención del consentimiento informado de los participantes, con el fin de respaldar la posterior transcripción y análisis de la información obtenida para los fines educativos que tiene esta tesis.

4.4.4. Procedimiento seguido para la Evaluación de Impacto Ambiental

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) se elaboró siguiendo un enfoque metodológico integral que combinó el análisis documental, el uso de herramientas tecnológicas de apoyo y la consulta directa con actores locales relevantes.

Con base en las investigaciones realizadas y en conformidad con los TDR, se ha establecido para los aspectos evaluados, metodologías para recabar y analizar la información.

4.4.4.1. Descripción del proyecto y del entorno

4.4.4.1.1. Ubicación del proyecto

Se empleó la herramienta de visualización satelital Google Earth Pro, complementada con técnicas de georreferenciación, que permiten situar el proyecto espacialmente de forma exacta y visualmente comprensible.

Se recopilaron las coordenadas geográficas (latitud y longitud) correspondientes a los puntos críticos del proyecto, tales como límites del área de intervención, principales obras de infraestructura, zonas de acceso y áreas de influencia directa e indirecta. Las coordenadas obtenidas fueron ingresadas en Google Earth Pro, permitiendo visualizar la ubicación del proyecto sobre imágenes satelitales actualizadas. Esto facilitó el reconocimiento de las características del terreno, el contexto ambiental circundante, los usos de suelo existentes y las relaciones espaciales con áreas urbanas, cuerpos de agua, infraestructuras viales y otras variables relevantes. Se realizó la delimitación gráfica del polígono correspondiente al área del proyecto, trazando sobre Google Earth Pro las

líneas de contorno y marcando los puntos clave. Para garantizar la precisión, se emplearon herramientas de medición de distancia y área integradas en el software.

4.4.4.1.2. Área de influencia del proyecto

Para la definición del área de influencia del Proyecto, se ha partido de los instrumentos oficiales establecidos en la normativa nacional del proceso de evaluación de impacto ambiental vigente, y según lo establece Astorga Gattgens (2009) en el Manual Técnico de Evaluación y Control Ambiental de la Secretaría de Recursos Naturales (SERNA).

4.4.4.2. Línea base ambiental

Para la construcción de la línea base ambiental, se realizó un diagnóstico detallado del área destinada al proyecto mediante la elaboración y análisis de mapas temáticos basados en información georreferenciada. Este proceso combinó datos obtenidos directamente en campo con el procesamiento de información existente en bases del Sistema de Información Geográfica (SIG) y la consulta de fuentes secundarias relevantes, tales como artículos científicos, informes técnicos y estudios de antecedentes.

La línea base ambiental abarcó la caracterización de los siguientes componentes:

- ❖ Medio físico: topografía, geología, suelos, hidrología superficial y subterránea, calidad del aire y clima.

- ❖ Medio biológico: cobertura vegetal, tipos de ecosistemas, especies de flora y fauna, así como áreas de importancia ecológica o de conservación.

Los mapas temáticos generados permitieron identificar y visualizar espacialmente las unidades ambientales presentes en el área de influencia, facilitando la detección de zonas sensibles, corredores biológicos y cuerpos de agua relevantes. De esta forma, se obtuvo una comprensión integral del entorno natural en el que se desarrolla el proyecto.

4.4.4.3. Línea base social

La línea base social se construyó a partir de la revisión bibliográfica de estudios socioeconómicos, demográficos y de infraestructura pública disponibles para el área de influencia del proyecto. Este análisis permitió caracterizar de manera integral las principales condiciones sociales de la zona, contemplando los siguientes aspectos:

Condiciones socioeconómicas: las principales actividades económicas que sustentan la vida local y el acceso de la población a servicios básicos, como agua potable, energía eléctrica y saneamiento.

Infraestructura y equipamiento social: Se identificó la disponibilidad y calidad de las redes de transporte, los centros educativos y de salud, la cobertura de servicios públicos esenciales y la existencia de equipamientos comunitarios relevantes para el bienestar social.

Aspectos culturales y organización comunitaria: Se documentó la presencia de comunidades indígenas, patrimonio tangible e intangible, así como las formas de organización social y los mecanismos de participación ciudadana existentes en la zona.

Análisis de interesados: Se utilizó como parte complementaria de la línea base social, para fortalecer la planificación de medidas ambientales y sociales desde un enfoque participativo. Se elaboró un listado de actores clave vinculados directa o indirectamente a la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala. Los actores identificados fueron clasificados según su nivel de interés y su nivel de influencia. Además, se construyó una matriz de análisis de interesados, que ubica a cada actor en un cuadrante estratégico (alta/baja influencia vs. Alto/bajo interés), lo cual facilitó la priorización de esfuerzos en comunicación, consulta y colaboración (**Anexo 7**). A partir de la matriz, se definieron posibles estrategias de participación o gestión de cada grupo de interesados, considerando su rol en la implementación de medidas correctivas, de mejora o de seguimiento ambiental.

4.4.4.4. Identificación y Evaluación de impactos ambientales

La identificación y evaluación de los impactos ambientales tuvo como objetivo caracterizar los efectos que el proyecto podría generar sobre el medio ambiente durante su fase de operación y cierre. La metodología empleada se basó en el enfoque de "Criterios para Evaluación de Impactos Ambientales", integrando el uso de matrices multicriterio, consulta a expertos y el análisis técnico de información espacial.

La identificación de los efectos se apoyó en diversas herramientas:

- ✓ Acciones del proyecto en sus diferentes fases.

- ✓ Opiniones del equipo técnico multidisciplinario a través de reuniones de trabajo especializadas.
- ✓ Uso de la Matriz Causa/Efecto o Matriz de Relación Proyecto-Ambiente para visualizar y predecir los cambios potenciales sobre los componentes físico-bióticos y socioeconómicos.

Mediante estas herramientas se identificaron afectaciones directas e indirectas, positivas o negativas, considerando también los efectos encadenados entre los distintos componentes del ambiente.

Para complementar este proceso, se llevaron a cabo sesiones de validación participativa en las cuales:

Se realizó una consulta con actores clave del municipio, incluyendo personal técnico municipal, operadores de planta y autoridades ambientales. Se utilizó la plataforma MIRO para la sistematización de notas del grupo focal con expertos y reuniones técnicas, permitiendo una construcción colaborativa de la identificación de impactos.

Se llevó a cabo una revisión de referencias bibliográficas actualizadas, incluyendo legislación ambiental vigente, diagnósticos municipales y estudios de referencia nacional e internacional.

Se aplicaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para apoyar la localización espacial de áreas sensibles y zonas de influencia directa e indirecta.

Posteriormente, todos los efectos identificados fueron sometidos a un proceso de selección y depuración, donde se descartaron aquellos impactos de escasa relevancia o de efecto insignificante, y se consolidó una lista definitiva de impactos a evaluar.

4.4.4.5. Caracterización Cualitativa y Cuantitativa de los Impactos

El análisis de impactos se basó en la valoración de criterios, considerando las características específicas del proyecto y las condiciones ambientales del área de estudio. Para la organización de la información se utilizó una Matriz Multicriterio Causa-Efecto, que agrupa las acciones del proyecto y los componentes ambientales afectados.

El proceso de evaluación de impactos consideró tres pasos fundamentales:

1. Identificación de los efectos ambientales relevantes.
2. Evaluación de los impactos mediante comparación con normas técnicas y criterios de significancia.
3. Jerarquización de los impactos para priorizar acciones de mitigación.

Se definió un conjunto de criterios de valoración aplicados a cada impacto, con una escala de valores del 1 al 3, de acuerdo con su gravedad o beneficio: Tipo (positivo o negativo), Intensidad, Extensión, Momento de manifestación, Persistencia, Reversibilidad, Recuperabilidad, Sinergia, Acumulación, Periodicidad e Importancia.

Estos criterios se aplicaron siguiendo la metodología ponderada, utilizando la siguiente fórmula para el cálculo de la incidencia de cada impacto:

$$I_c = I + 2E + 2M + 2P + R + R_c + S + A + Pr + Im$$

Donde se da mayor peso a los atributos de Extensión (E), Momento (M) y Persistencia (P).

Posteriormente, se procedió a la estandarización de los valores de incidencia, transformándolos en un rango de 0 a 1, permitiendo su clasificación según la magnitud del impacto en las siguientes categorías:

Alto (0.70–1.00)

Mediano (0.50–0.69)

Bajo (0.25–0.49)

Compatible (0.10–0.24)

Imperceptible (<0.10)

4.4.4.6. Resultados y Matriz de Evaluación

Como producto del proceso, se elaboró una Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales donde se presentan los impactos identificados sobre los medios físico-biológicos y socioeconómicos, asociados a la fase de operación y mantenimiento del proyecto.

Cada impacto se describió considerando:

Nombre del impacto

Fase del proyecto en que aplica

Actividades generadoras

Efectos derivados

Descripción del impacto

Área de afectación

Valoración cuantitativa y cualitativa

Todos los datos recolectados fueron organizados, sistematizados y verificados. En el caso de los análisis fisicoquímicos, se contrastaron los resultados con mediciones previas realizadas por autoridades municipales, cuando estas estuvieron disponibles. Los datos cualitativos fueron transcritos y codificados para facilitar su posterior análisis.

Este procedimiento permitió recopilar información robusta desde múltiples fuentes, garantizando la validez y confiabilidad de los datos para el análisis de impacto ambiental y la propuesta de plan de mejora.

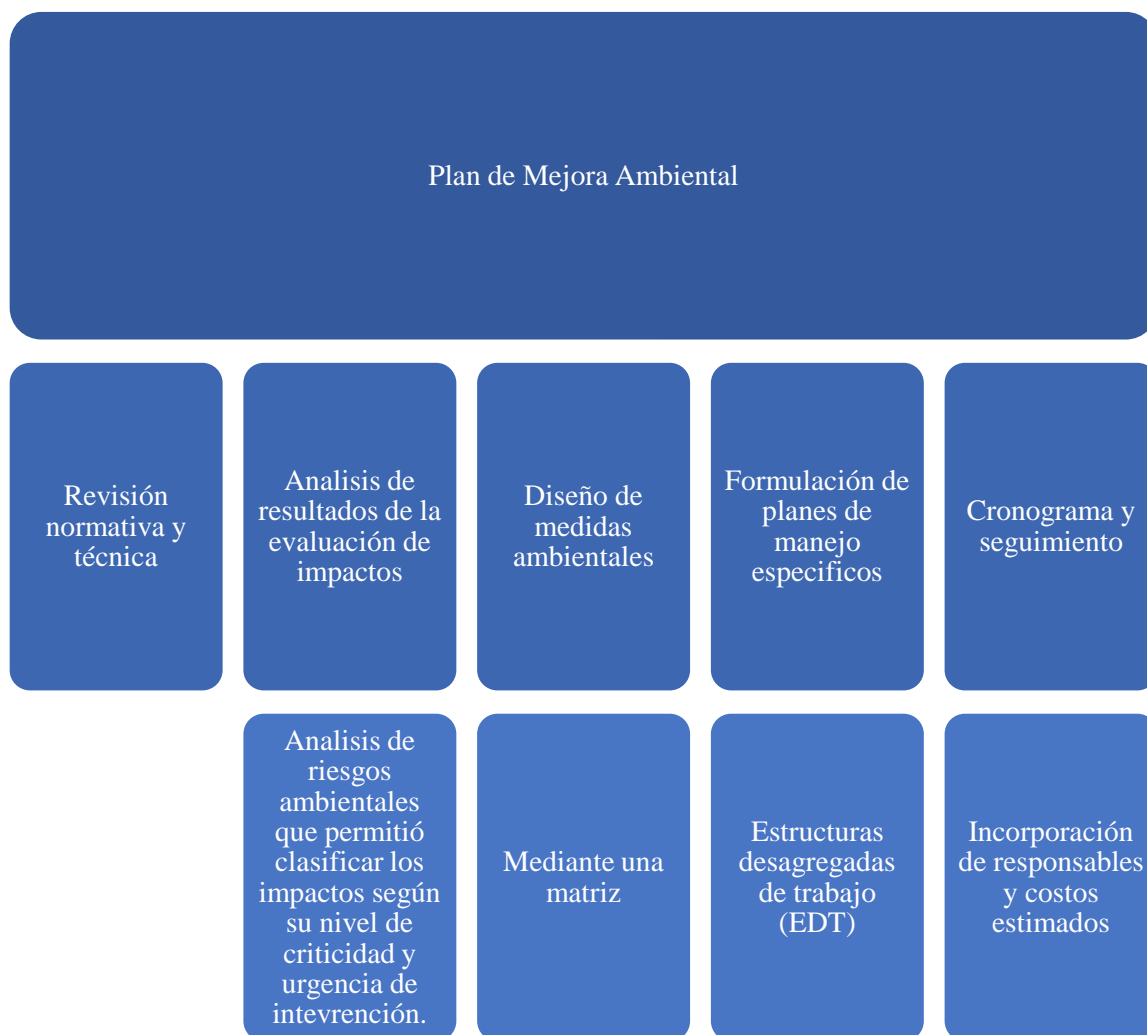
4.4.4.7. Propuesta de plan de mejora ambiental

La elaboración de la propuesta del Plan de Mejora Ambiental (PMA) se desarrolló como una fase posterior al proceso de identificación, valoración y análisis de impactos ambientales más relevantes identificados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala, con el objetivo de plantear medidas correctivas, preventivas y de seguimiento que respondan a los impactos más significativos detectados durante la evaluación. Para mejorar su viabilidad técnica, institucional y temporal, el procedimiento incorporó herramientas propias de la gestión de proyectos desde el enfoque de la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) que fortalecen la planificación, priorización y seguimiento de las acciones propuestas.

El procedimiento se llevó a cabo a cabo de la siguiente manera:

ILUSTRACIÓN 7

PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA AMBIENTAL



FUENTE 15 ELABORACIÓN PROPIA.

4.5. Criterios de análisis y evaluación del estándar

Los criterios empleados para el análisis y evaluación del estándar de calidad ambiental se fundamentan en los lineamientos establecidos por la Norma Técnica para Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillados de Honduras, la cual establece límites máximos permisibles para diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos.

Para la evaluación cuantitativa, los resultados de los muestreos fueron comparados con los valores establecidos en dicha norma, lo que permitió identificar excedencias y cumplimiento en los parámetros analizados. Se utilizó un enfoque de análisis comparativo, complementado con herramientas estadísticas descriptivas para identificar tendencias y rangos.

Los impactos ambientales identificados fueron categorizados en función de criterios de valoración, conforme al diseño metodológico de Evaluación de Impacto Ambiental vigente en Honduras y del reglamento del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SINEIA). Además, se aplicaron metodologías como la Matriz de causa/efecto o para sistematizar los impactos detectados durante la fase de operación de la planta.

Estos criterios permitieron no solo valorar el cumplimiento normativo de los efluentes, sino también identificar áreas de mejora y formular recomendaciones orientadas a la sostenibilidad ambiental del sistema de tratamiento.

4.6. Validación de la información

La validez en una investigación se refiere al grado en que los resultados obtenidos reflejan la realidad que se pretende estudiar, es decir, a qué tan cerca se encuentra el estudio de la verdad. Para que una investigación sea considerada válida, debe estar libre de errores sistemáticos o sesgos, los cuales pueden surgir desde el diseño metodológico, los criterios de selección de participantes y la forma en que se llevan a cabo las mediciones y evaluaciones de las variables. En este sentido, el instrumento de investigación denominado ficha investigativa cuenta con validez de contenido, ya que ha sido fundamentado en el marco teórico del estudio, lo que garantiza que las preguntas formuladas reflejan adecuadamente el dominio específico del contenido que se pretende medir mediante el instrumento de investigación a utilizar.

Según Garrote y Rojas (2015), el juicio de expertos es un método de validación que refuerza la fiabilidad de la investigación mediante la evaluación de un instrumento por parte de personas con amplia trayectoria y reconocimiento en el tema, capaces de aportar información, evidencia y valoraciones fundamentadas. Tras someter un instrumento de comparación a la consulta y al juicio de expertos éste ha de reunir dos criterios de calidad: validez y fiabilidad. La validez de contenido se establece con frecuencia a partir de dos situaciones, una que afecta al diseño de una prueba y, la otra, a la validación de un instrumento sometido a procedimientos de traducción y estandarización para adaptarlo a significados culturales diferentes. Es aquí donde la tarea del experto se convierte en una labor fundamental para eliminar aspectos irrelevantes, incorporar los que son imprescindibles o modificar aquellos que lo requieran

CAPITULO 5. RESULTADOS

En el capítulo se detallan los resultados obtenidos a través de la prueba de validez. Se describen los resultados de los instrumentos de recolección seleccionados, mediante tabulación y su introducción en gráficas referentes a los mismos, con sus respectivas interpretaciones.

5.1. Prueba de validez del instrumento de investigación

Para asegurar la validez de contenido del instrumento de investigación, se sometió a un proceso de evaluación por parte de tres expertos en el área temática, quienes valoraron cada uno de los 24 ítems del cuestionario con base en cuatro criterios fundamentales: claridad, pertinencia, relevancia y suficiencia. La escala utilizada fue dicotómica (Sí/No), permitiendo determinar de forma precisa el nivel de concordancia entre los evaluadores.

En total se realizaron 384 valoraciones ($24 \text{ ítems} \times 4 \text{ criterios} \times 4 \text{ expertos}$). De estas, 342 valoraciones fueron positivas (“Sí”), lo que representa un nivel de concordancia global del instrumento del 89%. Este resultado supera el umbral mínimo aceptado del 80% para validar instrumentos de este tipo, lo que indica una alta concordancia entre los jueces expertos respecto a la calidad y adecuación del contenido del instrumento.

Por tanto, se concluye que el cuestionario posee una validez de contenido adecuada, lo que respalda su uso en la recolección de datos dentro del presente estudio.

5.2. Resultados de Grupo focal

Como parte de la metodología cualitativa del presente estudio, se desarrolló un grupo focal con la participación de actores clave vinculados al objeto de investigación. El propósito fue obtener información complementaria desde una perspectiva experiencial y contextual, que permitiera profundizar en la interpretación de los hallazgos cuantitativos y enriquecer el análisis integral.

Durante la sesión, se abordaron temas relacionados con el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales, sus principales desafíos operativos y de infraestructura, la percepción sobre la gestión institucional, el cumplimiento ambiental, y la sostenibilidad a largo plazo del sistema.

Los participantes coincidieron en señalar que el estado actual de la planta de tratamiento presenta desafíos significativos en materia de infraestructura, operación e impacto ambiental. A pesar de que algunas funciones básicas se mantienen activas, las deficiencias en los equipos, sumadas a la limitada capacitación técnica del personal operativo, afectan gravemente el desempeño de la planta.

Respecto a los desafíos técnicos, se destacó el mal funcionamiento de varios componentes críticos, en especial la ausencia de un sistema de bombeo operativo que permita manejar adecuadamente el caudal de aguas residuales que entra a la planta de tratamiento. Se mencionó que, debido a esta deficiencia, existe un riesgo constante de vertidos de aguas no tratadas directamente al río. Se mencionó que existen de igual forma vertidos de aguas no tratadas al río en otras partes de la ciudad particularmente en zonas específicas como el mercado. Asimismo, los participantes coincidieron en observar un uso deficiente del equipo de protección personal por parte de los operadores.

En cuanto al impacto ambiental y monitoreo, los participantes señalaron que el seguimiento a la calidad de las aguas tratadas y la fiscalización ambiental es prácticamente inexistente. Aunque se han realizado diagnósticos en ocasiones anteriores, no se han implementado de manera efectiva las recomendaciones emitidas. Como resultado, las descargas inadecuadas continúan impactando negativamente el ecosistema acuático. Además, se subrayó la falta de mecanismos adecuados para el tratamiento y la disposición de lodos, lo que agrava los problemas ambientales asociados a la planta.

Respecto a la gobernanza y apoyo institucional, se identificaron múltiples barreras que limitan una gestión eficiente. Entre ellas, se mencionaron conflictos políticos locales y una escasa participación e interés de parte de la junta administrativa responsable. Aunque se reconoció que el sistema financiero podría ser sostenible en términos básicos, la sostenibilidad operativa está comprometida debido a la limitada capacidad técnica y a la falta de asistencia institucional continua. Los participantes enfatizaron la necesidad urgente de fortalecer las alianzas interinstitucionales, sugiriendo que el trabajo conjunto con organizaciones como MAMCEPAZ y Water for People podría ser fundamental para mejorar tanto la asistencia técnica como los mecanismos de gobernanza.

En función de los hallazgos anteriores, los participantes propusieron varias recomendaciones clave: mejorar de manera urgente la infraestructura crítica, en especial el sistema de bombeo y el sistema de cloración; fortalecer las capacidades técnicas de los operadores mediante programas de capacitación continua; y priorizar acciones estratégicas para asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes. Además, se resaltó la importancia de impulsar una mayor articulación interinstitucional

y una planificación estratégica a mediano y largo plazo para garantizar la sostenibilidad del sistema.

5.3. Resultados del muestreo laboratorio

Las muestras fueron entregadas al laboratorio MQ, donde se analizaron los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST).

TABLA 9

RESULTADOS DE LABORATORIO: DBO, DQO Y SST

Análisis	Punto #1 (Cuerpo receptor Agua arriba)	Punto #2 (Efluente de la PTAR)	Punto #3 (Cuerpo receptor Agua abajo)	Punto #4 (Efluente Red baja de alcantarillado y rastro municipal)	Parámetro de referencia (Concentración máximo permisible)
DBO total	11.1 mg/L	14.4 mg/L	19.1 mg/L	231 mg/L	50.00 mg/L
DQO total	35.9 mg/L	45.1 mg/L	61.2 mg/L	385 mg/L	200.00 mg/L
Sólidos suspendidos totales	15.8 mg/L	21.2 mg/L	8.4 mg/L	138 mg/L	100.00 mg/L

FUENTE 16 ELABORACIÓN PROPIA.

Con base en los resultados de laboratorio obtenidos en las muestras correspondientes al Punto 1 (cuerpo receptor aguas arriba) y al Punto 3 (cuerpo receptor aguas abajo), se realiza un análisis comparativo para determinar la incidencia de las descargas del efluente sobre la calidad del agua del río en el municipio de Marcala, La Paz. En el Punto 1, ubicado aguas arriba de la descarga, se registraron concentraciones de DBO5 de 11,1 mg/L, DQO de 35,9 mg/L y sólidos suspendidos totales (SST) de 15,8 mg/L. Estos valores se encuentran ampliamente por debajo de los máximos permisibles establecidos por la normativa nacional, reflejando una buena calidad del agua en esta sección del río previo a recibir descargas.

Posteriormente, en el Punto 3, ubicado aguas abajo de las descargas, las concentraciones reportadas fueron de DBO5 de 19,1 mg/L, DQO de 61,2 mg/L y SST de 8,4 mg/L. Aunque estos valores también se mantienen dentro de los límites permisibles, se observa un incremento en la carga orgánica (DBO5 y DQO) en comparación con el Punto 1, lo cual sugiere una influencia directa de las descargas de efluente sobre el cuerpo de agua.

Es importante destacar que el aumento en los valores de DBO5 y DQO entre el Punto 1 y el Punto 3 indica una mayor demanda de oxígeno para descomponer la materia orgánica presente en el agua, fenómeno atribuible al aporte del efluente descargado. Sin embargo, el nivel de sólidos suspendidos totales disminuye ligeramente, lo cual podría estar relacionado con procesos de sedimentación natural en el trayecto o diferencias en las condiciones de flujo.

En términos de impacto ambiental, aunque los parámetros no exceden los límites normativos, el incremento observado representa un potencial riesgo acumulativo si las descargas no son gestionadas adecuadamente o si en el futuro se suman nuevos aportes contaminantes. Asimismo, la presencia de un efluente con características significativamente superiores a los límites permisibles, como el observado en el Punto 4 (231 mg/L de DBO5 y 385,3 mg/L de DQO), podría agravar esta situación a corto o mediano plazo.

Por lo tanto, se concluye que las descargas de efluente están alterando la calidad del agua en el cuerpo receptor, incrementando la carga contaminante, aunque de momento dentro de rangos permisibles. Se recomienda mantener un programa de monitoreo periódico y fortalecer las acciones de control y mejora de los sistemas de tratamiento para evitar deterioros futuros en la calidad del recurso hídrico.

5.4. Evaluación de Impacto Ambiental Evaluación de Impacto Ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala en el departamento de La Paz

5.4.1. Actividad y Categorización del Proyecto con base a la Tabla de categorización según Normativa ambiental

Según la tabla de categorización ambiental vigente, emitida por la Secretaría de Recursos Naturales (2021), según Acuerdo Ministerial No. 705-2021 en el Anexo 3 denominado Tabla de Categorización Ambiental SLAS II 2021, se clasifica a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio de Marcala en su etapa de operación; por lo que se cataloga como una actividad del Sector de Saneamiento, Subsector de Gestión de Aguas Residuales que cuenta con criterio de categorización

ambiental según el caudal del afluente medido en metros cúbicos por día, categorizándose en el presente caso como Categoría 3, por contar con un caudal a procesar mayor de 400 metros cúbicos al día. Esta clasificación deberá ser emitida por la Secretaría de Recursos Naturales (SERNA), a través de la Dirección General de Evaluación y Control Ambiental (DECA), según criterios técnicos SINEIA y Tabla de categorización ambiental vigente.

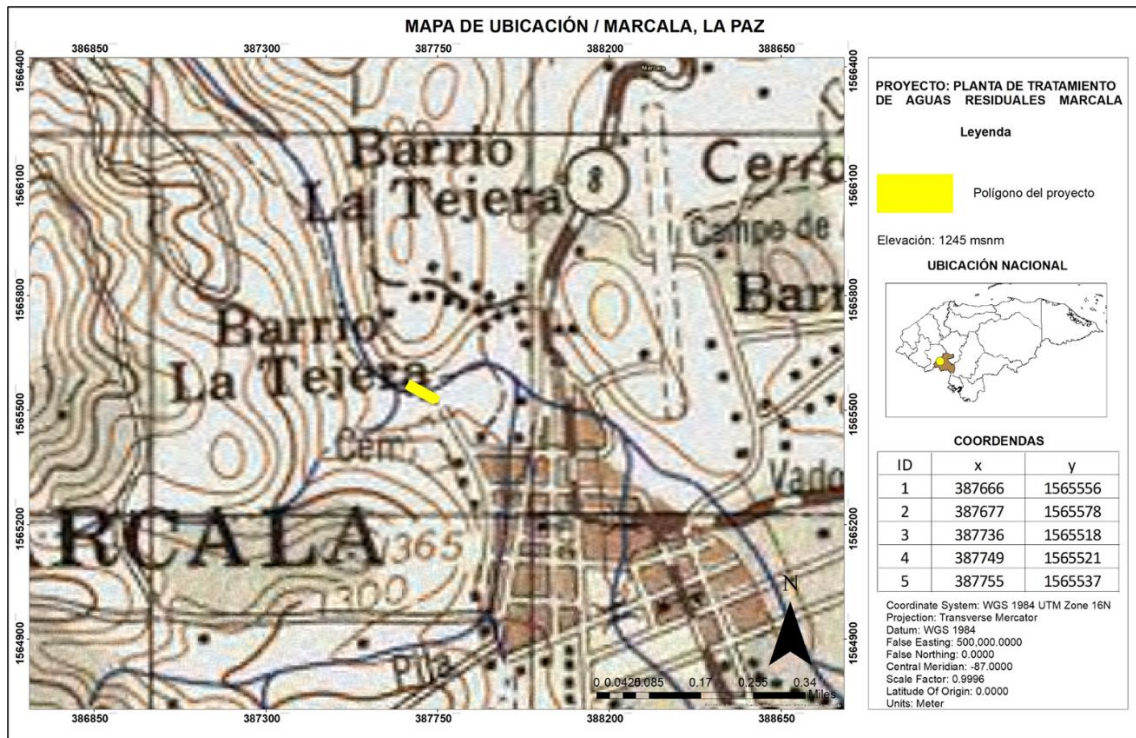
5.4.2. Descripción del Proyecto

5.4.2.1. Ubicación del proyecto

La Planta de Tratamiento de Agua Residuales de Marcala, ubicada en el departamento de La Paz, Honduras, se encuentra en el barrio La Tejeda, en el sector sur del casco urbano del municipio.

ILUSTRACIÓN 8

MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO (HOJA CARTOGRÁFICA)



FUENTE 17 ELABORACIÓN PROPIA. UTILIZANDO ARC GIS, (2025).

Su ubicación en coordenadas geográficas en el sistema UTM son:

TABLA 10

RESULTADOS DE LABORATORIO: DBO, DQO Y SST

Coordenada UTM X	387732.00 m
Coordenada UTM Y	1565546.00 m
Elevación	1245 msnm

Coordenadas WGS84:

TABLA 11

COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN EL SISTEMA WGS64

Latitud	14.1344° N
Longitud	-87.9597° W

ILUSTRACIÓN 9

MAPA DE UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



FUENTE 18 ELABORACIÓN PROPIA. UTILIZANDO GOOGLE EARTH PRO, SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN GEOESPACIAL (2025).

5.4.2.2. Área del proyecto

El área neta del proyecto, correspondiente a la zona efectivamente ocupada por la infraestructura y sus componentes (tanques, canales, sistemas de tratamiento, accesos y obras complementarias), es de aproximadamente 2,300 metros cuadrados, formando parte del área total de un predio mayor utilizado para infraestructura sanitaria municipal.

5.4.2.3. Área de influencia directa

El área de influencia directa de la planta abarca una franja de 500 metros alrededor del límite externo del área del proyecto. Esta zona incluye barrios aledaños como La Tejeda, la colonia Juan Alberto Melgar Castro, el Rastro Municipal, el Cementerio Municipal, Beneficio de Café Seco MARCAFE S.A. y partes de la periferia urbana de Marcala.

ILUSTRACIÓN 10

ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PROYECTO



FUENTE 19 ELABORACIÓN PROPIA. UTILIZANDO GOOGLE EARTH PRO, SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN GEOESPACIAL (2025).

5.4.2.4. Área de influencia indirecta

El área de influencia indirecta comprende el espacio geográfico más amplio donde los efectos del proyecto, aunque atenuados, todavía pueden ser detectados. Para la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala, esta área incluye zonas río abajo en la microcuenca receptora, áreas agrícolas que dependen de la calidad del agua tratada, y comunidades rurales cercanas que podrían beneficiarse o verse afectadas a largo plazo por la mejora en el manejo de aguas residuales.

5.4.2.5. Descripción del proyecto

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala, consta de una serie de estructuras y procesos que permiten el tratamiento de las aguas residuales antes de su descarga al río Chusmuy. La planta de tratamiento de aguas residuales está compuesta por varias unidades de tratamiento y procesos que trabajan de manera secuencial para garantizar la calidad del efluente tratado. A continuación, se describe cada una de las unidades y una síntesis de los hallazgos en cada unidad en base al diagnóstico elaborado por SANAA (2024) que detalla la situación actual de la planta.

5.4.2.5.1. Caja Distribuidora de Caudales (CDC)

La Caja Distribuidora de Caudales (CDC) es una estructura cuadrada de concreto reforzado con dimensiones de 2.30 m de largo, 2.30 m de ancho y 1.85 m de alto. Su función principal es recibir los caudales de las redes de recolección del municipio, distribuyéndolos hacia las siguientes etapas del tratamiento. Actualmente, la CDC recibe agua de una red, aunque originalmente estaba diseñada para recibir cinco redes. La salida de la CDC se realiza a través de una tubería de 250 mm Ø que dirige el caudal hacia el pretratamiento.

Según diagnóstico realizado por SANAA (2024), en la Caja Distribuidora de Caudales (CDC), solo una de las cinco tuberías de ingreso está activa correctamente, mientras que otra descarga directamente al río por fallos en la EB1, y las restantes se encuentran taponadas o reciben cantidades significativas de agua lluvia, debido a conexiones irregulares. Este manejo inadecuado de los flujos de entrada incrementa el riesgo de sobrecarga hidráulica y reduce la capacidad de tratamiento efectivo de la planta.

ILUSTRACIÓN 11

PERSPECTIVA DE PLANTA DE TRATAMIENTO



FUENTE 20 PLANOS DE PERSPECTIVA DE PLANTA DE TRATAMIENTO.; ELABORADOS POR SANAA – FHIS, 2013.

ILUSTRACIÓN 12

ESTACIÓN DE BOMBEO Y CAJA DISTRIBUIDORA



FUENTE 21 FOTOGRAFÍA TOMADA POR LA AUTORA (ALICE GALEAS), MARZO 2025.

5.4.2.5.2. Pretratamiento (Desarenador)

El pretratamiento está compuesto por un desarenador que permite la retención de arenas contenidas en las aguas residuales. Este desarenador es una estructura rectangular de concreto reforzado de 6.05 m de largo, 5.00 m de ancho y altura variable entre 1.90 m y 4.06 m. En este proceso, el agua residual ingresa por una pared lateral y asciende a través del desarenador, donde las partículas de arena se depositan en el fondo. El agua clarificada es trasladada al Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) para continuar con el proceso de tratamiento. El desarenador cuenta con una pantalla de aquietamiento y una losa de piso inclinada para facilitar la captura de las arenas.

El diagnóstico realizado por SANAA (2024) evidenció que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Márcala presenta importantes deficiencias estructurales y operativas desde su fase de pretratamiento. Actualmente, la planta solo cuenta con un desarenador en condiciones deficientes, careciendo de rejillas de retención de sólidos y de un sistema confiable de medición de caudales. Esta situación genera la entrada de sólidos gruesos al sistema, provocando obstrucciones, colmataciones y afectando el rendimiento de los principales procesos de tratamiento como el RAFA, el filtro percolador y el sedimentador secundario.

El desarenador presenta daños importantes en sus componentes mecánicos (maneral y compuerta), lo que impide su correcto funcionamiento, mientras que la ausencia de un sistema formal de medición de caudales introduce incertidumbre en el control operativo. Actualmente, las mediciones se realizan manualmente mediante aforos volumétricos rudimentarios, lo que genera errores significativos. Aunque se cuenta con un registro histórico de caudales (2020-2022), este no sustituye la necesidad urgente de instalar medidores de caudal digitales permanentes en las entradas activas.

ILUSTRACIÓN 13

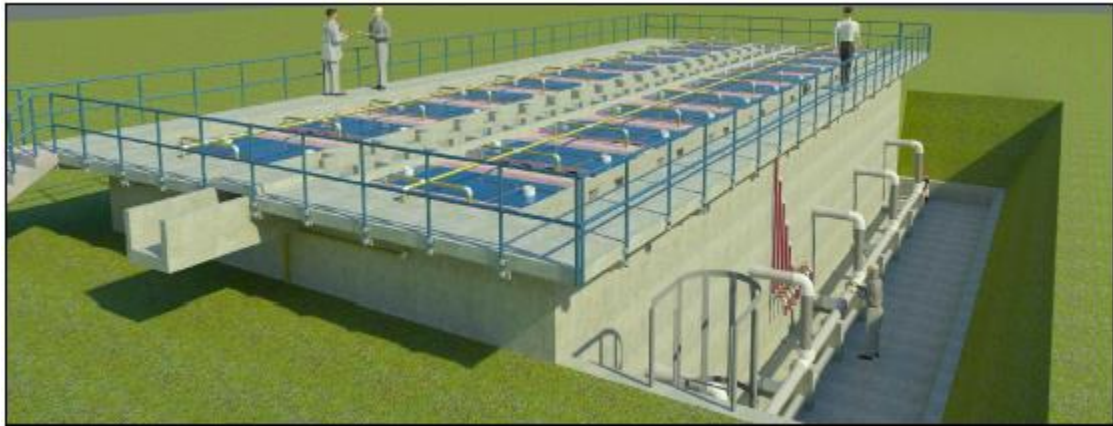
(PRETRATAMIENTO) DESARENADOR.



FUENTE 22 FOTOGRAFÍAS TOMADA POR LA AUTORA (ALICE GALEAS),
MARZO 2025.

5.4.2.5.3. Tratamiento Primario: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA)

El RAFA es un reactor anaeróbico de flujo ascendente diseñado para el tratamiento primario de las aguas residuales. Esta estructura rectangular de 20.50 m de largo, 11.75 m de ancho y 5.07 m de alto se compone de dos cámaras paralelas donde las aguas residuales fluyen hacia arriba, pasando por un manto de lodo suspendido. Los microorganismos en el manto de lodo degradan los compuestos orgánicos, liberando gases como el metano y dióxido de carbono. Para su liberación el metano y el dióxido de carbono es quemado permanentemente a través de un mechero que sobresale del sistema en la parte superior del RAFA. El efluente clarificado se extrae por la parte superior del reactor y es dirigido al siguiente proceso de tratamiento, el filtro percolador (FP).

ILUSTRACIÓN 14**REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)**

FUENTE 23 PLANOS CONSTRUCTIVOS DE U.A.S.B.; ELABORADOS POR SANAA – FHIS, 2013.

ILUSTRACIÓN 15**REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)**

FUENTE 24 FOTOGRAFÍAS TOMADA POR LA AUTORA (ALICE GALEAS), MARZO 2025.

En reactor anaerobio flujo ascendente (RAFA) se identificaron problemas en los canales de entrada y salida del caudal, así como en los vertederos distribuidores y

recolectores de agua. Se observó un flujo desigual, con zonas de caudal excesivo y otras sin paso de agua, lo que afecta la eficiencia del proceso.

Además, se detectó una acumulación excesiva de lodos, evidenciada por la constante formación de burbujas de gas que arrastran lodo hacia los canales y vertederos. Esto indica la necesidad urgente de realizar un descarte de lodos para evitar obstrucciones y mantener la funcionalidad del reactor. Otro problema crítico es la falta de una rejilla de retención de sólidos gruesos, lo que ha provocado obstrucciones en los canales y vertederos.

5.4.2.5.4. Tratamiento Secundario: Filtro Percolador (FP)

El Filtro Percolador (FP) es un reactor aerobio de lecho fijo, compuesto por una estructura rectangular de 15.50 m de largo, 8.50 m de ancho y 2.45 m de alto. En este proceso, el agua residual ingresa por la parte superior del filtro, donde circula a través de un lecho de material filtrante (grava o piedra). En este lecho, se desarrolla una biopelícula de microorganismos que descomponen la materia orgánica mediante un proceso de oxidación. El filtro percolador permite una remoción del 75% al 90% de la DBO y los sólidos en suspensión, produciendo un efluente clarificado que es luego tratado en el sedimentador secundario.

En el sistema de filtración percoladora se identificaron orificios obstruidos en las tuberías de distribución, lo que genera zonas muertas y afecta la distribución uniforme del caudal. Asimismo, se constató el deterioro de los accesorios de PVC del sistema de recolección y distribución.

Otro aspecto crítico es la presencia de maleza en la superficie del material filtrante, lo que puede afectar la eficiencia del sistema.

ILUSTRACIÓN 16

VISTA DE FILTRO PERCOLADOR (FP)



FUENTE 25 *FOTOGRAFÍAS TOMADA POR LA AUTORA (ALICE GALEAS), MARZO 2025.*

5.4.2.5.5. Tratamiento Terciario: Sedimentador Secundario (SS)

El sedimentador secundario es una estructura rectangular hecha de concreto reforzado que consiste en un tanque Imhoff, el cual tiene como objetivo la remoción de los sólidos suspendidos presentes en el efluente del Filtro Percolador. Esta unidad consta de tres compartimientos: sedimentación, digestión de lodos y ventilación y acumulación de natas. Los sólidos se sedimentan en el fondo del tanque y los lodos son dirigidos hacia el digestor. El efluente clarificado se recoge en la parte superior para su posterior disposición.

Actualmente, se desconoce la información de diseño del Tanque Imhoff, como dimensiones y capacidad, dificultando su evaluación técnica y el cálculo de su eficiencia.

Los resultados de laboratorio tomados por el prestador de servicios indicaron un incremento en los niveles de coliformes fecales en el efluente del sedimentador en comparación con el agua tratada del filtro percolador. Esta situación sugiere una acumulación excesiva de lodos y la necesidad urgente de realizar descartes de lodos para restaurar su eficiencia de depuración (Servicio Autonomo Nacional de Acueductos y Alcantarilado (SANAA), 2024).

ILUSTRACIÓN 17

TRATAMIENTO TERCIARIO: VISTA DE SEDIMENTADOR SECUNDARIO



FUENTE 26 FOTOGRAFÍAS TOMADA POR LA AUTORA (ALICE GALEAS), MARZO 2025.

5.4.2.5.6. Lechos de Secado de Lodos

La PTAR cuenta con 3 lechos de secado de lodos de concreto reforzado, con dimensiones variables de 8.30 m de largo y anchos de 4.85 m, 4.92 m y 4.93 m. En

estos lechos se lleva a cabo el proceso de deshidratación de los lodos provenientes del RAFA y el sedimentador secundario. El agua contenida en los lodos es evaporada por la acción solar y filtrada por gravedad, facilitando su remoción y disposición final como lodo seco.

5.4.2.5.7. Estaciones de Bombeo

La PTAR cuenta con dos estaciones de bombeo sin funcionamiento:

EB1: Se encuentra al inicio de la planta y recibe el caudal de la red baja. Esta estación está equipada con dos bombas de impulsión que elevan el agua hacia la Caja Distribuidora de Caudales.

EB2: Se encuentra al final de la planta y está diseñada para bombear los lodos provenientes del RAFA y el sedimentador secundario hacia los lechos de secado de lodos.

Respecto a las estaciones de bombeo, se identificó que ninguna de las bombas de la EB1 (para impulsar caudales) ni de la EB2 (para manejo de lodos) está en funcionamiento. Esta falta de operatividad ha causado, entre otros problemas, el vertido de aguas residuales sin tratar directamente al río Chusmuy. Además, se observó que no existe claridad sobre la conexión correcta de la EB1 hacia la caja distribuidora de caudales, lo cual podría comprometer aún más la eficiencia del sistema.

5.4.2.5.8. Unidad de Desinfección

5.4.2.6. Actividades que se realizan en la operación de la Planta de Tratamiento de aguas residuales.

Las actividades de manejo general contempladas para la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales son las siguientes:

Mantenimiento preventivo y correctivo de infraestructura y equipos:

Inspección regular, limpieza, reparación de tuberías, estructuras hidráulicas, sistemas de distribución y componentes de tratamiento.

Control operativo de procesos: Supervisión de los caudales de entrada y salida, purga y manejo de lodos, y verificación del correcto funcionamiento de cada etapa del tratamiento. Esto incluye la quema de metano y dióxido de carbono proveniente del mechero que sobresale en el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).

Gestión de residuos: Recolección, manejo seguro y disposición adecuada de residuos sólidos atrapados en el pretratamiento (arenas, basuras) y de lodos provenientes del proceso de depuración. La basura proveniente del pretratamiento es depositada en un sitio adecuado en las afueras de la instalación para su respectivo secado y posteriormente realizar la quema de dicha basura. Los lodos secos provenientes de los lechos de secado son depositado y utilizado como abono dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento.

Monitoreo: Realización periódica de análisis de calidad de aguas residuales, aguas tratadas, lodos, y control de emisiones (olores, ruidos), para asegurar el cumplimiento de las normas ambientales vigentes. Actualmente no se está llevando a cabo registro de análisis de calidad de aguas residuales por parte del prestador de

servicios Aguas de Marcala. El operador lleva un registro manual de caudales y pruebas de sedimentación de sólidos.

Gestión administrativa y documental: Registro y actualización de datos operativos, reportes de mantenimiento y bitácoras de monitoreo.

TABLA 12

PRINCIPALES ACTIVIDADES OPERATIVAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE MARCALA

Actividad en operación	Descripción breve
1. Recepción y conducción de aguas residuales	Ingreso de caudal crudo a las unidades de pretratamiento.
2. Pretratamiento (desarenado, cribado):	Retiro de sólidos gruesos y arenas.
3. Tratamiento primario (RAFA o sedimentación primaria):	Reducción de materia orgánica y sólidos sedimentables.
4. Tratamiento secundario (filtro percolador o biológico):	Remoción de materia orgánica disuelta.
5. Sedimentación secundaria (clarificación):	Separación de sólidos biológicos suspendidos.
6. Manejo de lodos (extracción, secado en lechos):	Recolección, secado y disposición de lodos residuales.

Actividad en operación	Descripción breve
7. Manejo de lixiviados del secado de lodos:	Captación y recirculación de aguas filtradas de lechos de secado.
8. Dosificación de químicos (desinfección):	Uso de cloro u otros agentes para la desinfección del efluente.
9. Descarga del efluente tratado al cuerpo receptor:	Liberación del agua tratada al río o quebrada cercana.
10. Operación de estaciones de bombeo:	Funcionamiento de bombas para mover aguas o lodos dentro de la planta.
11. Mantenimiento rutinario de infraestructura:	Limpiezas, reparaciones, pintura, sustitución de piezas.
12. Manejo de residuos sólidos:	Disposición final de basuras retenidas (arenas, trapos, plásticos).
13. Control de emisiones atmosféricas:	Emisiones de olores y gases del tratamiento anaerobio o lodos.
14. Consumo de energía eléctrica:	Uso de electricidad en bombas, motores, sistemas de control.
15. Actividades administrativas y de control:	Vigilancia, muestreo de calidad de agua, registro de datos.

5.4.2.7. Maquinaria y equipo utilizado en la operación

Maquinaria y equipo utilizado en la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala, es el siguiente:

TABLA 13

MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADO EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Materiales de limpieza y mantenimiento	Escobas, mopas, trapos Baldes, mangueras y cepillos Detergentes biodegradables Desinfectantes y productos de limpieza Lubricantes para bombas y motores
Materiales de seguridad	Guantes de nitrilo o de neopreno Botas de seguridad Gafas de protección Respiradores o mascarillas Chalecos reflectivos Traje impermeable
Materiales de laboratorio	Conos Imhoff
Materiales eléctricos y mecánicos básicos	Cables, conectores, abrazaderas Cintas aislantes Tornillos, tuercas y pernos

	Herramientas menores (llaves, destornilladores, pinzas)
Equipo	1 bomba de achicadora para aguas residuales 1 cisterna (275 galones) para servicio de vaciado de fosas sépticas

FUENTE 29 ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 14

MAQUINARIA Y EQUIPO QUE UTILIZAR EN LA ETAPA DE CIERRE DEL PROYECTO

Maquinaria	Retroexcavadora / Miniexcavadora	Remoción de estructuras, excavación para tuberías
	Camión volquete	Transporte de escombros y residuos
	Cisterna / pipa de vacío	Extracción de lodos y limpieza de tanques
	Grúa o montacargas	Retiro de equipos pesados
	Compresor de aire / Hidro lavadora	Limpieza de estructuras
	Equipos de corte	Corte de tuberías y estructuras metálicas
	Herramientas manuales	Limpieza y recolección menor
Equipos de seguridad	EPP completo (casco, guantes, etc.)	Protección del personal en actividades de cierre

Materiales	Lona plástica / geotextil	Cubrimiento temporal de residuos o zonas abiertas
	Cal hidratada / productos químicos	Neutralización de lodos o residuos orgánicos
	Arena, grava y cemento	Relleno de fosas y sellado de estructuras
	Plantones nativos	Reforestación y recuperación ambiental
	Sacos, costales y barriles	Embalaje y transporte de residuos
	Señalética y barreras	Seguridad en el perímetro durante trabajos de cierre

FUENTE 30 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.2.8. Personal operativo de la planta de tratamiento de aguas residuales (Mano de obra)

El operador del servicio cuenta con personal técnico-administrativo para atender las demandas de los sistemas de agua y alcantarillado; se cuenta con 15 empleados de tiempo completo y 6 empleados de tiempo parcial.

TABLA 15

PERSONAL ADMINISTRATIVO - TÉCNICO DE AGUAS DE MARCALA

Personal	Cantidad	Contrato
Gerente	1	Permanente
Contador	1	Permanente

Vigilante	1	Permanente
Atención al Cliente	1	Permanente
Supervisor de Operación y Mantenimiento	1	Permanente
Fontanero	3	Permanente
Operador	4	Permanente
Mantenimiento Alcantarillado	1	Permanente
Operador	2	Permanente

FUENTE 31 ELABORACIÓN PROPIA.

La planta de tratamiento de aguas residuales dispone de dos operadores, quienes se turnan para trabajar 24 horas, alternando día a día.

En materia de seguridad ocupacional, actualmente, el personal de la planta de tratamiento de aguas residuales no cuenta con protocolos establecidos de seguridad, ni con un sistema adecuado para el uso de equipos de protección personal, ni con un plan de respuesta ante emergencias.

5.4.2.9. Disposición de desechos sólidos en la operación

Durante la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, se generan diversos tipos de desechos sólidos derivados de los procesos de pretratamiento, tratamiento primario y secundario, y el manejo de lodos. Estos desechos incluyen tanto

residuos sólidos atrapados en el pretratamiento (arenas, basuras) como los lodos generados durante la depuración del agua.

5.4.2.9.1. Características de los desechos sólidos

Basuras del pretratamiento: Compuesta principalmente por plásticos, metales, residuos orgánicos y otros materiales no biodegradables. Estos residuos son de naturaleza diversa, generalmente de tamaño grande y difícil de degradar.

Arenas del pretratamiento: Estas son separadas durante el proceso de desarenado y están compuestas principalmente por partículas de arena y sedimentos.

Lodos secos de los lechos de secado: Estos lodos tienen una consistencia más espesa y, al ser secados, se pueden utilizar como abono o fertilizante.

5.4.2.9.2. Manejo y disposición final

Basura del pretratamiento: La basura recolectada en el proceso de pretratamiento se deposita en un área habilitada fuera de las instalaciones de la planta para su secado. Una vez secada, esta basura se somete a un proceso de quema controlada, garantizando que no cause impacto ambiental negativo.

Arenas del pretratamiento: Las arenas recolectadas no son reutilizables y se almacenan en un sitio adecuado dentro de la planta hasta su disposición final en un vertedero autorizado.

Lodos secos: Los lodos secos, luego de ser tratados y deshidratados en los lechos de secado, se utilizan como abono dentro de las instalaciones de la planta. Este

uso como fertilizante contribuye a la gestión sostenible de los residuos, reduciendo la necesidad de disposición en vertederos.

5.4.2.10. Descripción de los desechos líquidos generados en la operación

Durante la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Márcala, los principales desechos líquidos generados son:

Aguas residuales domésticas crudas provenientes de una única red activa, que ingresan a la planta a través de la caja distribuidora de caudales (CDC).

Lixiviados generados en los lechos de secado de lodos y del desarenador, que son recolectados y dirigidos a través de tuberías hacia la estación de bombeo #1 (EB1).

Efluente tratado, descargado en el río Chusmuy, tras pasar por las etapas de tratamiento anaerobio (RAFA), aerobio (filtro percolador) y sedimentación secundaria (tanque Imhoff).

5.4.2.10.1. Cantidad estimada

Según datos históricos el caudal aforado de agua residual cruda ingresando a la planta: 21.69 litros por segundo, equivalente aproximadamente a 857.8 metros cúbicos por día.

Lixiviados: No existe registro de ser cuantificados.

5.4.2.10.2. Características y calidad esperada

En base a resultados de análisis realizados por el prestador de servicios en el año 2023 se tiene la siguiente información:

TABLA 16

PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Parámetro	Valor en entrada de planta	Valor en salida (sedimentador)	Normativa/Observaciones
Coliformes fecales (UFC/100 mL)	1.53E+07	2.10E+06	Excede límites permitidos; efluente no es seguro microbiológicamente.
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	116	12.86	Cumple con norma (< 100 mg/L).
Aceites y grasas (mg/L)	29.51	3.17	Cumple con norma (< 10 mg/L).
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) (mg/L)	151	9	Cumple con norma (< 50 mg/L).
DQO (Demanda Química de Oxígeno) (mg/L)	168	44	Cumple con norma (< 200 mg/L).
Fósforo total (mg/L)	2.37	1.90	Cumple con norma (< 5 mg/L).

Sólidos sedimentables (mL/L)	4.5	<0.1	Cumple con norma (< 1 mL/L).
Sulfatos (mg/L)	24.64	19.02	Cumple con norma (< 400 mg/L).
Temperatura (°C)	25.7	23.8	Dentro del rango permitido (< 35 °C).
pH	7.44	7.48	Dentro del rango permitido (6.0 - 9.0).

FUENTE 32 ELABORACIÓN PROPIA. ADAPTADA DE LA NORMA TÉCNICA NACIONAL DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

5.4.2.10.3. Manejo y disposición final

Actualmente el efluente tratado es descargado directamente al río Chusmuy, dado que el sistema de desinfección (cloración) no está operativo, lo que implica riesgos microbiológicos para el cuerpo receptor.

Los lixiviados son bombeados desde la EB1 hacia la Caja Derivadora de Caudales para reincorporarse al proceso de tratamiento. En caso rebose por temas de inundación, podrían llegar al río Chusmuy.

5.4.3. Línea base ambiental

5.4.3.1. Características físicas del área de influencia del proyecto

5.4.3.1.1. Topografía

La topografía del área del municipio es irregular y va desde una altitud de 1,000 msnm hasta más de 2,000 msnm. Los puntos de elevación importantes en el área administrativa del municipio son los siguientes:

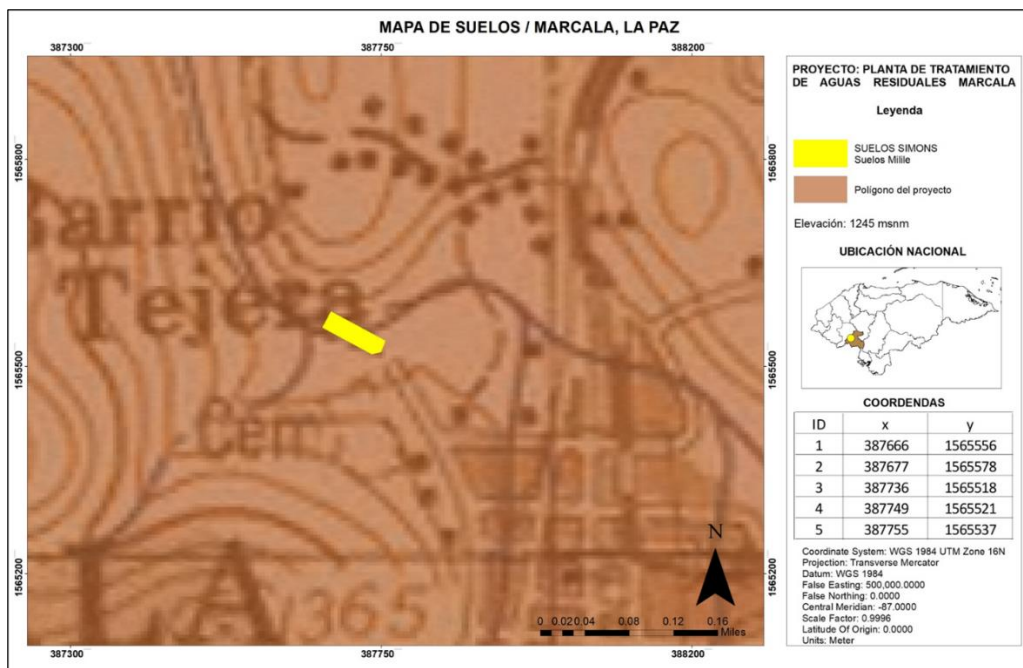
- ❖ Cerro Musalin (1,585 msnm)
- ❖ Cerro Los Charcos (1,550 msnm)
- ❖ Cerro Musula (1,726 msnm)
- ❖ Cerro El Cerrón (1,773 msnm)
- ❖ Montaña Verde (1,893 msnm)
- ❖ Sabaneta (1,904 msnm)

5.4.3.1.2. Suelos

Según la clasificación Simmons Castellanos la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala, se encuentra ubicada en suelo Milile.

ILUSTRACIÓN 19

MAPA DE SUELOS DE MARCALA, LA PAZ



FUENTE 33 ELABORACIÓN PROPIA. USO DE SISTEMA GEOESPACIAL ARCGIS, 2025.

Según Simmons (FAO, 1969) los suelos Milile son suelos profundos bien avenados formados sobre cenizas volcánicas. Son suelos asociados y limitan corriente con áreas de suelos de Ojojona y Salalica, pero se distinguen de estos por el mayor espesor del suelo. Los suelos Milile participan de las clases III y IV de capacidad agrologica.

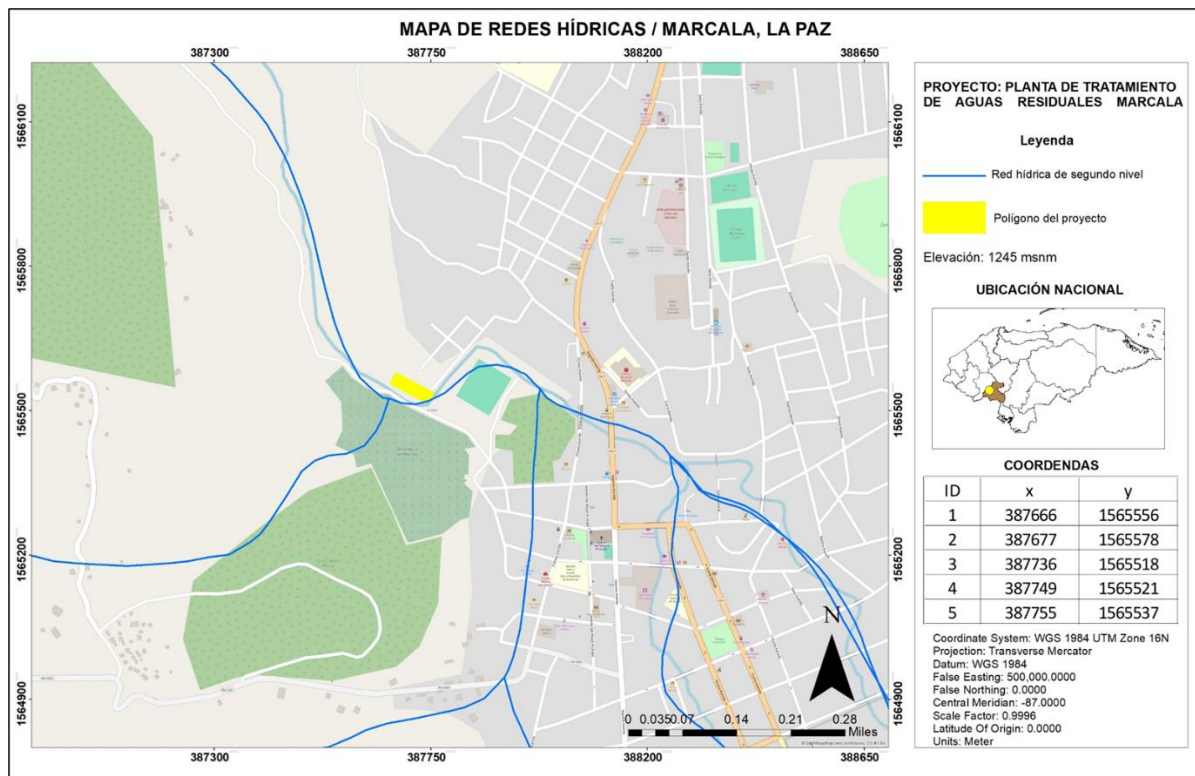
5.4.3.1.3. Recursos Hídricos

Comprende las zonas de recarga hídrica, los ríos y quebradas superficiales que abastecen a la población. Comprende los ríos: La Estanzuela (parte alta), Chinacla (parte media), Negro (parte abajo), Choacapa, Guanizales, de Lajas, Medina, Guadalupe, Chiflador o Perea, Guaralape. Como también las siguientes quebradas: Matanguara, de Lajas, el Higuito o Totoposte y de Hielo.

El proyecto se localiza en las orillas del río Chusmuy, donde confluyen las aguas del río Garalape y el río Perea.

ILUSTRACIÓN 20

MAPA DE REDES HÍDRICAS DE MARCALA, LA PAZ.



FUENTE 34 ELABORACIÓN PROPIA. USO DE SISTEMA GEOESPACIAL ARCGIS, 2025.

5.4.3.1.4. Clima

El municipio de Marcala presenta un clima de montaña con temperaturas máximas que varían entre 24.8 °C y 28 °C y temperaturas mínimas que oscilan entre 12.4 °C y 15.5 °C.

5.4.3.1.5. Precipitación

La temporada más lluviosa es de junio a septiembre registrándose una precipitación anual promedio de 1,265 mm. Los meses de mayor sequía y de altas temperaturas son: marzo, abril y mayo. (Martínez, Fiallos, Obando, & Uclés, 2021)

5.4.3.2. Características biológicas del área de influencia del proyecto

5.4.3.2.1. Biodiversidad: Flora y Fauna

Honduras es considerado uno de los países más biodiversos de Centroamérica, albergando 7,524 especies de plantas vasculares, 718 especies de aves entre ellas el colibrí esmeralda (*Amazilia luciae*), única ave endémica, 228 especies de mamíferos, 211 especies de reptiles, 111 especies de anfibios, aproximadamente 2,500 especies de insectos y 672 especies de peces (PNUD & SERNA, 2001). El municipio de Marcala es reconocido por avistamiento de aves.

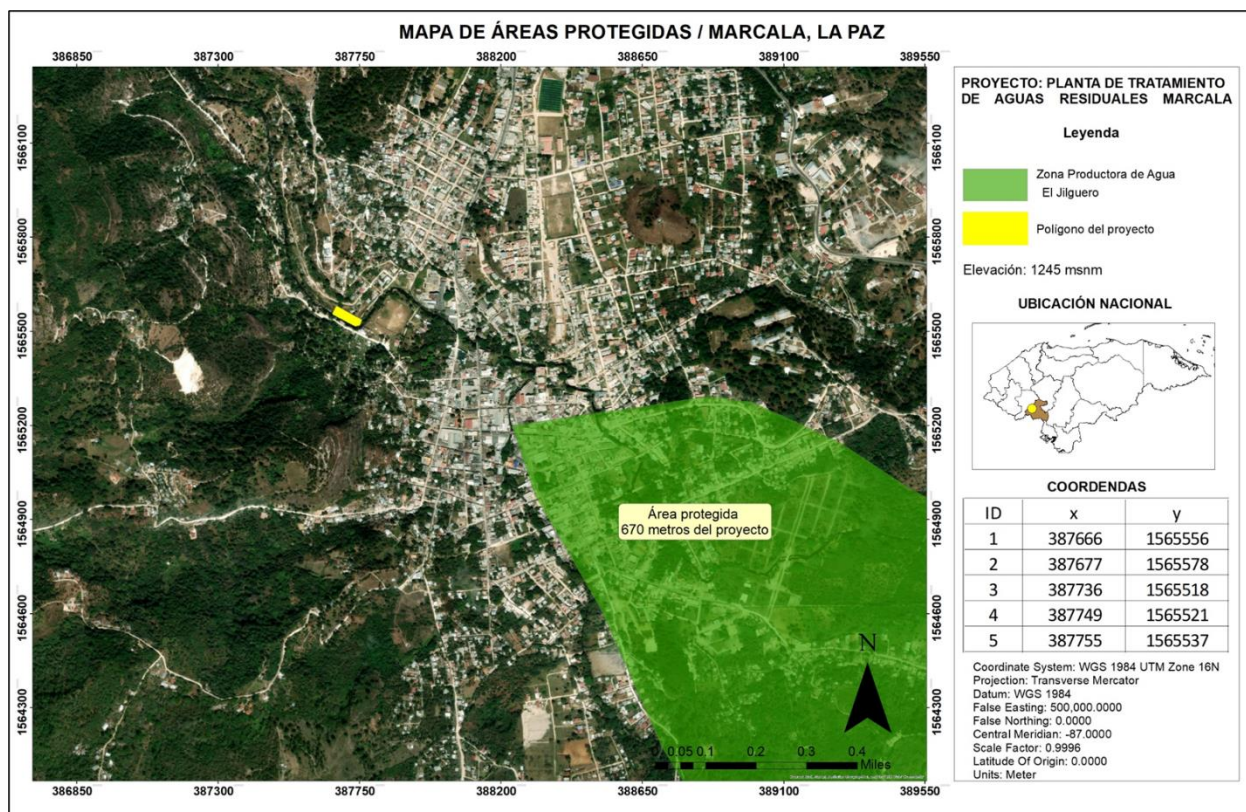
Marcala posee una notable riqueza natural, destacándose por su diversidad de ecosistemas y especies. El municipio alberga bosques de pino mezclados con roble y liquidámbar, así como bosques nublados en las zonas sur y este, donde se encuentran especies como pinabete, estoraque, ciprés de montaña y cucharo (COMSA, 2022).

5.4.3.2.2. Áreas protegidas

En el municipio de Marcala se identifican las zonas protegidas de San Pedro, San Pablo, Sabaneta, Mogola, El Jilguero y la reserva biológica llamada el Chiflador.

ILUSTRACIÓN 21

MAPA DE ÁREAS PROTEGIDAS DE MARCALA, LA PAZ.



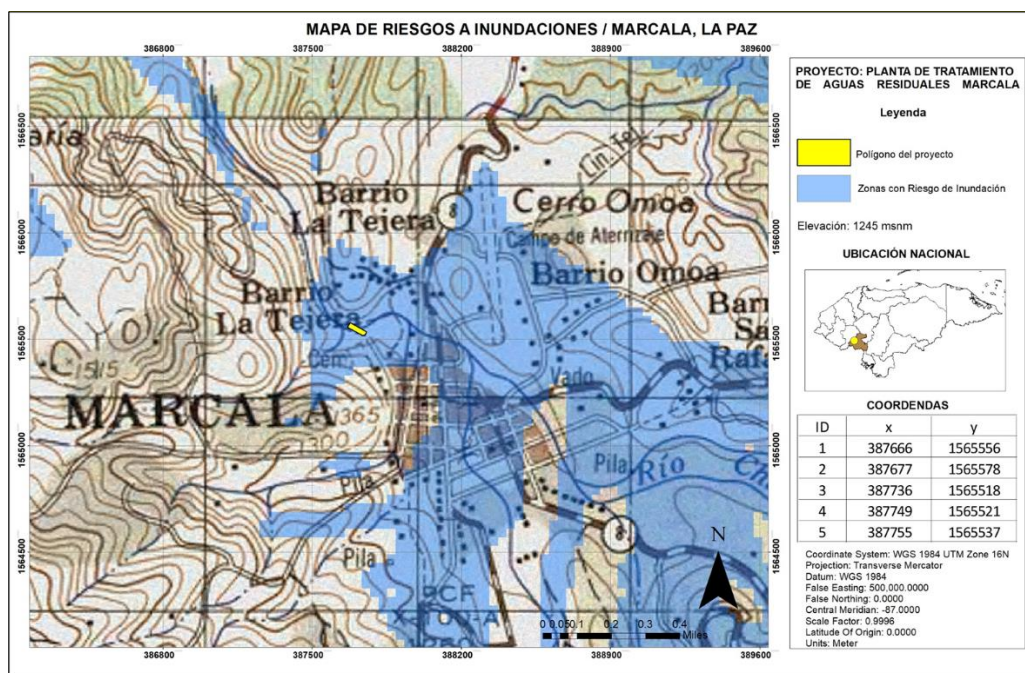
FUENTE 35 ELABORACIÓN PROPIA. USO DE SISTEMA GEOESPACIAL ARCGIS, 2025.

5.4.3.2.3. Análisis de vulnerabilidad ante potenciales desastres naturales

Con base en su ubicación, y en consulta con el operador del sistema, se identificó que la planta de tratamiento de aguas residuales está expuesta principalmente a amenazas climáticas como inundaciones, lluvias intensas y deslizamientos de tierra. Las lluvias fuertes, acompañadas de vientos intensos, afectan de manera generalizada al municipio, provocando el desbordamiento de ríos y quebradas, lo cual genera inundaciones en el casco urbano. Esta situación incrementa el riesgo de deslizamientos y ocasiona daños significativos en la infraestructura

ILUSTRACIÓN 22

MAPA DE RIESGOS A INUNDACIONES EN MARCALA, LA PAZ.



FUENTE 36 ELABORACIÓN PROPIA. USO DE SISTEMA GEOESPACIAL ARCGIS, 2025.

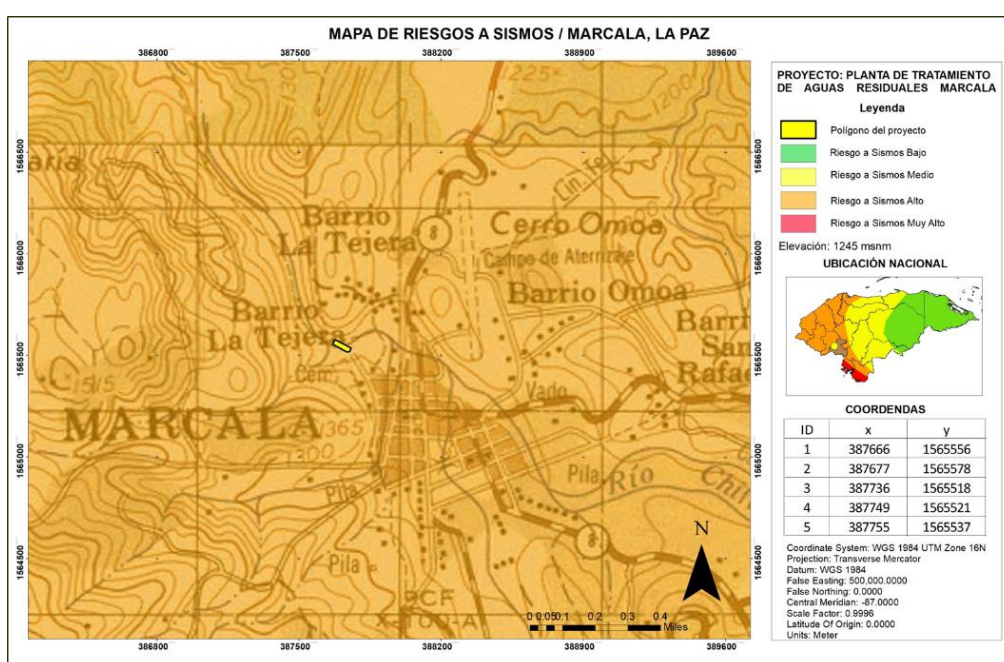
El análisis espacial revela que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se encuentra ubicada dentro de una zona con riesgo de inundación, identificada en color azul en el mapa. Esta condición implica que, en eventos de lluvia intensa o crecida del caudal del río, existe una probabilidad considerable de anegamiento parcial o total de las instalaciones, lo que puede generar fallas operativas, daños a los equipos, desbordamiento de lodos o afectaciones al sistema de tratamiento biológico.

La información geoespacial se generó con base en curvas de nivel, hidrografía y capas temáticas que modelan zonas propensas a escorrentías superficiales y

desbordamiento. El área de riesgo fue cruzada con la ubicación georreferenciada del proyecto (marcada en polígono amarillo), permitiendo confirmar la exposición directa del sistema ante amenazas de origen hídrico.

ILUSTRACIÓN 23

MAPA DE RIESGOS A SISMOS EN MARCALA, LA PAZ.



FUENTE 37 ELABORACIÓN PROPIA. USO DE SISTEMA GEOESPACIAL ARCGIS, 2025.

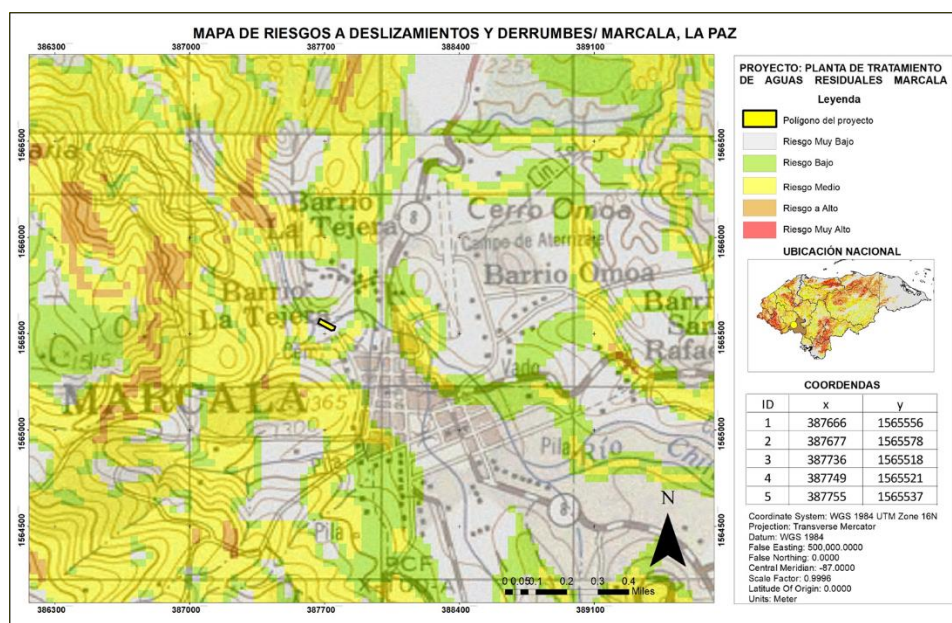
La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala se encuentra localizada en una zona clasificada como de riesgo sísmico alto, lo cual representa un factor de vulnerabilidad importante que debe considerarse a nivel operativo y en la planificación de mejoras.

El mapa fue elaborado con base en coordenadas geográficas (sistema WGS 1984 UTM Zone 16N) y curvas de nivel topográfico, integrando referencias espaciales de los

barrios y elementos urbanos circundantes. La elevación del sitio (1,245 msnm) y la ubicación relativa en la trama urbana fueron elementos clave para validar la exposición del sitio frente a amenazas geológicas.

ILUSTRACIÓN 24

MAPA DE RIESGOS DE DESLIZAMIENTOS EN MARCALA, LA PAZ



FUENTE 38 ELABORACIÓN PROPIA. USO DE SISTEMA GEOESPACIAL ARCGIS, 2025.

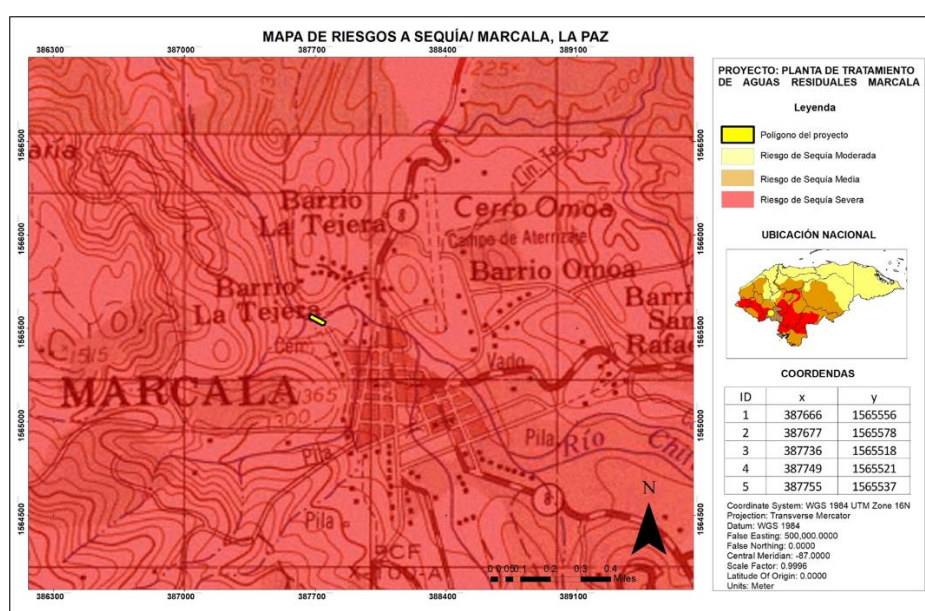
La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se encuentra en una zona clasificada con riesgo bajo a deslizamientos, lo cual es una condición favorable en términos de estabilidad geotécnica. Sin embargo, en los alrededores inmediatos, especialmente hacia el este y sur del casco urbano, se identifican áreas con riesgo medio y alto, asociadas a pendientes pronunciadas y suelos susceptibles a saturación.

Este análisis geoespacial se realizó con base en la combinación de capas de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y registros históricos de eventos, lo que permitió generar una cartografía de amenazas graduada en cinco niveles: muy bajo,

bajo, medio, alto y muy alto. Dicha información se incorporó a la matriz de riesgos del proyecto, contemplando tanto las condiciones actuales como las potenciales alteraciones por efectos del cambio climático.

ILUSTRACIÓN 25

MAPA DE RIESGOS A SEQUÍA EN MARCALA, LA PAZ.



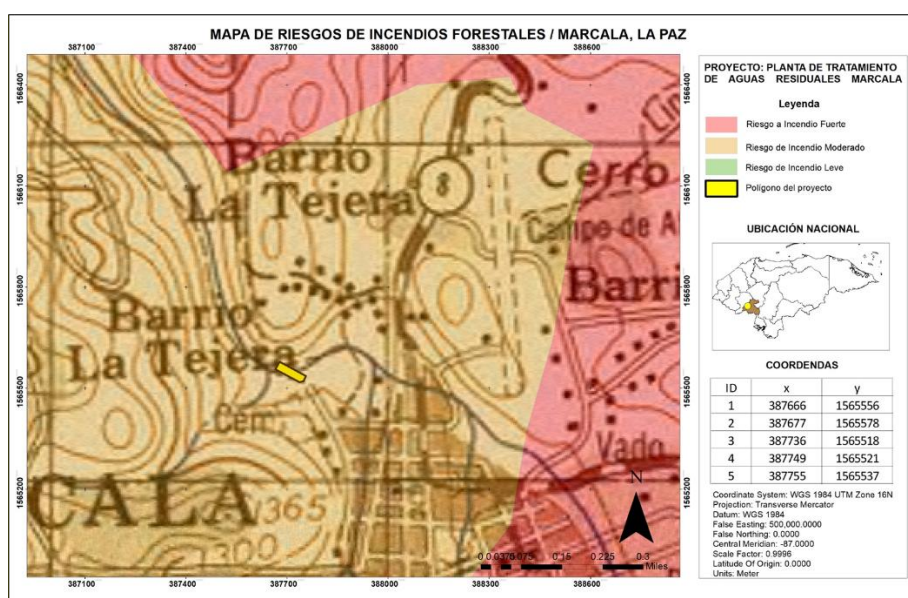
FUENTE 39 ELABORACIÓN PROPIA. USO DE SISTEMA GEOESPACIAL ARCGIS, 2025.

Según el análisis geoespacial, el área donde se ubica la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala se encuentra en una zona de riesgo de sequía severa, como se muestra en color rojo en el mapa. Esta condición climática implica una alta probabilidad de disminución prolongada en la disponibilidad de agua, lo cual puede afectar tanto el proceso de tratamiento biológico como el funcionamiento de sistemas complementarios que requieren cierta estabilidad en el caudal de entrada.

La cartografía fue construida con base en modelos climáticos, series históricas de precipitación, cobertura vegetal y vulnerabilidad edafoclimática. El resultado permite proyectar escenarios de presión sobre los sistemas hídricos municipales, especialmente en temporadas secas prolongadas que pueden verse exacerbadas por el cambio climático.

ILUSTRACIÓN 26

MAPA DE RIESGOS DE INCENDIOS FORESTALES EN MARCALA, LA PAZ.



FUENTE 40 ELABORACIÓN PROPIA. USO DE SISTEMA GEOESPACIAL ARCGIS, 2025.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala, ubicada dentro del polígono amarillo, se encuentra en una zona de riesgo moderado a incendios forestales. Esto indica que, si bien la amenaza no es extrema, sí existe una posibilidad real de afectación en temporadas secas, especialmente por la cercanía con áreas vegetadas y de uso mixto donde históricamente se han reportado focos de incendio.

5.4.4. Línea base social

5.4.4.1. Población y demografía

Según el Instituto Nacional de Estadística (2019), la población del municipio de Marcala en el departamento de La Paz fue de 32,429 habitantes, de los cuales 15,589 son hombres y 16,841 son mujeres. En cuanto a su distribución geográfica, 14,115 personas residen en el área urbana y 18,315 en el área rural.

Para el año 2025, la población total proyectada para Marcala es de 32,429 personas, compuesta por 15,589 hombres y 16,841 mujeres. La distribución por área indica que 14,115 personas residen en la zona urbana y 18,315 en la zona rural (INE, 2018).

5.4.4.2. Caracterización socioeconómica

5.4.4.2.1. Principal actividad económica

La economía de Marcala se basa principalmente en la agricultura y ganadería. Las actividades agrícolas incluyen el cultivo de granos básicos, café, caña de azúcar, cítricos, cardamomo y hortalizas. En el ámbito ganadero, se destacan la crianza de ganado vacuno, equino, caprino, ovino y porcino. Además, la avicultura es otra de las actividades productivas relevantes en la región.

5.4.4.2.2. Servicios públicos

Energía eléctrica: Según los datos del Censo Nacional de Población y Vivienda de 2013, el 63% de los hogares en Marcala dependen del sistema público de electricidad

como su fuente principal de iluminación. Este porcentaje refleja una cobertura considerable del servicio eléctrico en el municipio, aunque es posible que algunas zonas rurales enfrenten limitaciones en el acceso a este recurso (INE, 2018).

Agua Potable: En cuanto al abastecimiento de agua potable, el casco urbano de Marcala está atendido por Aguas de Marcala, un prestador de servicios desconcentrado, y por 11 juntas de agua que se encargan de distribuir el servicio.

Saneamiento: 2,232 establecimientos conectados a la red de alcantarillado sanitario, el resto de las viviendas cuentan con sistemas de solución de saneamiento in situ (fosas sépticas, letrinas).

Residuos Sólidos: La gestión de residuos sólidos en Marcala está a cargo de la Alcaldía Municipal, que subcontrata el servicio de tren de aseo para el casco urbano.

5.4.4.2.3. Organizaciones comunitarias

Dentro de las organizaciones comunitarias en el municipio de Marcala, encontramos 83 Patronatos Comunitarios, existen Juntas de Agua, Sociedad de Padres de Familia, Comités, grupos juveniles, comités de Salud, club de amas de casa, comités religiosos, cada una de las organizaciones tiene su estructura con normas establecidas en el país y poseen sus propios reglamentos y/o estatutos y a nivel Municipal se cuenta con la asociación de patronatos de Marcala.

5.4.4.2.4. Análisis de actores interesados (stakeholders)

El proyecto cuenta con el respaldo activo de actores estratégicos como la Municipalidad de Marcala y Aguas de Marcala, quienes poseen alto nivel de influencia y muestran una posición favorable. La Unidad Técnica Municipal Ambiental participa con un rol de fiscalización técnica, con interés alto, pero influencia media, adoptando una postura neutral que requiere mecanismos de consulta periódica. La comunidad cercana al río Chusmuy, aunque con baja influencia, tiene alto interés como receptora directa del impacto ambiental, debe ser considerada mediante mecanismos de información transparente y participación social. De igual forma existe la estructura mancomunada como ser la Mancomunidad de los Municipios del Centro de La Paz (MAMCEPAZ) como un actor clave del sector social-organizado, con interés alto en la defensa del medio ambiente, influencia media y una posición favorable.

El análisis de los actores clave involucrados en el proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala, incluyendo su nivel de influencia, interés y estrategias de gestión, se presenta en detalle en el **Anexo 7**.

5.4.4.2.5. Comunidades indígenas

El municipio de Márcala tiene una alta presencia del pueblo Lenca, reconocido como grupo indígena histórico en la región, con fuerte influencia en las prácticas agrícolas, el tejido artesanal y el uso tradicional del territorio.

5.4.4.2.6. Iconografía Cultural de Marcala

TABLA 17

ICONOGRAFÍA CULTURAL DE MARCALA, DEPARTAMENTO DE LA PAZ.

Árbol	Liquidámbar
Flor	Flor de café
Fruta	La naranja
Ave	El zorzal
Animal	La ardilla
Sitio arqueológico	Gruta del gigante
Bebida	El café
Comida	Ticucos o tamalitos pisques
Canción	El Marcalino
Dulce	Ayote en miel
Baile	Danza folclórica la peineta
Artesanía	Comales de barro
Sitio turístico	La Estanzuela

FUENTE 41 ELABORACIÓN PROPIA; ADAPTADO DE PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL MARCALA, LA PAZ. (MUNICIPALIDAD DE MARCALA, LA PAZ, 2015)

5.4.5. Identificación y Evaluación de impactos ambientales

La identificación y evaluación de impactos ambientales tiene como objetivo fundamental caracterizar los efectos que sobre el medio ambiente pudiera producir el proyecto. La metodología utilizada para la evaluación de los impactos ambientales es la conocida como “Criterios para Evaluación de Impactos Ambientales”.

La identificación de efectos que pudieran ocasionar sobre el medio, la etapa de operación/mantenimiento, se realizó teniendo como herramientas las acciones de este proyecto en sus diferentes fases y el uso de la Matriz Causa/Efecto o Matriz de Relación Proyecto-Ambiente (**Anexo D**). Con la interacción general, se pudieron visualizar y predecir los cambios potenciales, que se manifestarían de manera diferenciada para cada medio considerado, aun cuando su relación en muchos casos es muy estrecha. Así, la naturaleza de las acciones que caracterizan a este proyecto conlleva a afectaciones directas o indirectas, generalmente sobre el medio físico, para luego a partir de ellas manifestarse a manera de efectos encadenados sobre los otros medios que conforman el ambiente. Estas afectaciones pueden ser positivas o negativas.

Se definieron y analizaron las actividades del proyecto durante la fase de operación/mantenimiento. Se identificaron y evaluaron los impactos ambientales y sociales generados por las actividades del proyecto, se preparó un cuadro síntesis (Tabla 18) donde se indican los impactos sobre los medios físico-biológico y socioeconómico.

TABLA 18

CUADRO SÍNTESIS DE IMPACTOS AMBIENTALES - PTAR MARCALA

MEDIO	ELEMENTOS DEL MEDIO	IMPACTOS IDENTIFICADOS	OP	CI
FÍSICOS BIOLÓGICOS	Aire	Alteración de la Calidad del Aire	X	X
		Aumento de las Emisiones de	X	X
		Ruido		

SOCIOECONÓMICOS	Suelo	Incremento de Desechos Sólidos	X	X
		Contaminación de los Suelos	X	
		Afectación/Recuperación de Suelos Forestales y Agroforestales	X	X
	Agua	Alteración de la Calidad de Agua	X	X
	Agua/Suelo	Deterioro del Recurso Natural con Valor Económico	X	X
	Flora/Fauna	Perturbación de la Biota Acuática	X	X
	Fauna	Afectación a las Poblaciones de Fauna Terrestre	X	X
	Población y Salud	Molestias a la Población por Actividades de Operación	X	
		Molestias a las Comunidades por malos olores	X	
	Empleo	Oportunidades de Empleo de Mano de Obra Local	X	X
Económicos	Estímulo a la Economía Local	X		
Paisaje	Calidad Visual del Paisaje	X		

FUENTE 42 ELABORACIÓN PROPIA.

La presentación de la evaluación ambiental por cada impacto se realizó con la definición de los pormenores de la evaluación y sus resultados. El contenido mínimo de esta descripción es la siguiente:

- Nombre del impacto
- Fase del proyecto en que aplica
- Actividades que generan el impacto
- Efectos derivados
- Descripción del impacto
- Ubicación del área de desarrollo
- Valoración del impacto

5.4.5.1. Caracterización Cualitativa y Cuantitativa de los Impactos

El proceso de análisis de impactos se basó de acuerdo con las características del proyecto y del medio físico-biológico y socioeconómico circundante.

Para la organización y presentación de la información, se utilizó la Matriz Causa-Efecto o Matriz de Relación Proyecto-Ambiente (**Ver Anexo 4**), donde se indicaron los efectos sobre los medios físico, biológico y socioeconómico, agrupando las acciones comunes de las distintas etapas del proyecto. En términos generales ese proceso considera los siguientes pasos:

- Identificación de los efectos que el proyecto podría provocar sobre el ambiente y la parte socioeconómica, y la selección de aquellos que por su relevancia (o significancia) ameritan ser evaluados como impactos;

- Evaluación propiamente dicha de los impactos mediante el análisis de los cambios introducidos y la comparación con las normas técnicas pertinentes;
- Jerarquización de los impactos en función de su grado de afectación para entonces proponer las medidas necesarias para la gestión adecuada sobre los mismos.

5.4.5.2. Resultados de la evaluación matricial

Con base en la aplicación de la matriz de evaluación de impactos ambientales y sociales para la fase de operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala, se obtuvieron los siguientes resultados, organizados según la metodología establecida para la identificación, valoración y categorización de impactos.

5.4.5.2.1. Impactos físicos

5.4.5.2.1.1. *Alteración de la Calidad del Aire*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

Se pueden producir alteraciones de la calidad el aire debido a las actividades relacionadas con el Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) y en los lechos de secado.

Fase de Cierre

Se pueden producir alteraciones de la calidad el aire debido a las actividades de cierre relacionadas con desmantelamiento, remoción de estructuras y limpieza de tanques.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

Las alteraciones en la calidad del aire durante la fase de operación pueden ser generado por las siguientes actividades:

- Retiro de sólidos gruesos y arenas en el pretratamiento (desarenado, cribado).
- Captación y recirculación de aguas estancadas en la zona de purga de lodos.
- Tratamiento anaeróbico de aguas residuales en el RAFA.
- Manejo y secado de lodos en lechos de secado.
- Disposición final de basuras retenidas (arenas, trapos, plásticos).
- Emisiones de olores y gases (metano y dióxido de carbono) del tratamiento anaerobio o lodos.

Fase de Cierre

Las alteraciones en la calidad del aire durante la fase de cierre pueden ser generadas en la zona de limpieza de reactores, demolición y vías de tránsito interno.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Inmediaciones de la PTAR en un radio aproximado de 200 metros.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir alteraciones en la calidad del aire, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Emisión de gases olorosos.
- Impacto en el confort de comunidades cercanas.
- Liberación de partículas de polvo y gases

Descripción del Impacto

Durante la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se generan emisiones de gases y olores como resultado de los procesos biológicos de degradación de la materia orgánica, particularmente en las etapas de tratamiento anaerobio y en el secado de lodos. Entre los principales compuestos volátiles emitidos se encuentran los sulfuros de hidrógeno (H_2S), el amoníaco (NH_3), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y, en menor proporción, metano (CH_4). Estos gases son responsables de la generación de olores ofensivos que pueden ser perceptibles a varios metros de distancia de la fuente emisora.

Los procesos que mayormente contribuyen a la alteración de la calidad del aire son:

- Reacciones anaerobias dentro de los reactores, donde la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno libera gases malolientes.
- Secado de lodos, donde los lodos estabilizados, al ser expuestos al ambiente para eliminar su contenido de humedad, emiten olores debido a la liberación de compuestos volátiles residuales.

Aunque la emisión de olores es generalmente localizada y de intensidad variable dependiendo de las condiciones climáticas (como la temperatura y la dirección del viento), puede afectar negativamente la calidad del aire en el área inmediata a la planta, especialmente en las zonas residenciales cercanas. Este impacto puede generar molestias a la población, disminución en la percepción de la calidad ambiental del entorno, y en casos más extremos, provocar efectos leves sobre la salud, como irritación de las vías respiratorias o dolores de cabeza en personas sensibles.

El nivel de afectación depende de la eficiencia en el manejo de lodos, el control de procesos anaerobios, y la implementación de sistemas de mitigación de olores.

Durante las actividades de cierre, como ser la limpieza del sitio, la remoción de materiales de construcción, residuos sólidos acumulados y lodos secos almacenados en los lechos de secado genera la dispersión de partículas finas, polvo y posibles residuos adheridos a las superficies de trabajo. Estas partículas pueden ser transportadas por el viento, afectando la calidad del aire de forma temporal, especialmente en condiciones secas o sin control de humectación.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa para la alteración a la calidad del aire se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo F**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 19

IMPACTO DE ALTERACIÓN A LA CALIDAD DEL AIRE DURANTE LAS FASE DE OPERACIÓN Y CIERRE DEL PROYECTO.

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pf)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
	Alteración de la Calidad del Aire	Aire	OPERACIÓN	Negativo	Alta	Parcial	Corto plazo	Temporal	Corto plazo recupere	Recuperable	No sinérgico	Simple	periódico	Medio
		Cierre	Negativo	Baja	Puntual	Corto plazo	Fugaz	Corto plazo	Recuperable	No sinérgico	Simple	No periódico	Medio	Compatible

FUENTE 43 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.1.2. *Aumento de las Emisiones de Ruido*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

Se pueden producir alteraciones de la calidad el aire debido a las actividades relacionadas funcionamiento de bombas y vías internas de acceso.

Fase de cierre

Se pueden producir alteraciones de la calidad el aire debido a las actividades relacionadas con áreas de remoción de estructuras y tránsito de maquinaria.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

Las alteraciones en la calidad del aire durante la fase de operación pueden ser generado por las siguientes actividades:

- Retiro de sólidos gruesos y arenas en el pretratamiento (desarenado, cribado).
- Captación y recirculación de aguas estancadas en la zona de purga de lodos.
- Tratamiento anaeróbico de aguas residuales en el RAFA.
- Manejo y secado de lodos en lechos de secado.
- Disposición final de basuras retenidas (arenas, trapos, plásticos).
- Emisiones de olores y gases (metano y dióxido de carbono) del tratamiento anaerobio o lodos.

Fase de Cierre

Las alteraciones en la calidad del aire durante la fase de cierre pueden ser generado por las siguientes actividades:

- Remoción de estructuras
- Tránsito de maquinaria

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Inmediaciones de la PTAR en un radio aproximado de 200 metros.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir alteraciones en la calidad del aire, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Emisión de gases olorosos.
- Impacto en el confort de comunidades cercanas.
- Ruido por maquinaria pesada (Actividades de cierre)

Descripción del Impacto

Durante la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se generan emisiones de gases y olores como resultado de los procesos biológicos de degradación de la materia orgánica, particularmente en las etapas de tratamiento anaerobio y en el secado de lodos. Entre los principales compuestos volátiles emitidos se encuentran los sulfuros de hidrógeno (H₂S), el amoníaco (NH₃), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y, en menor proporción, metano (CH₄). Estos gases son responsables de la generación de olores ofensivos que pueden ser perceptibles a varios metros de distancia de la fuente emisora.

Los procesos que mayormente contribuyen a la alteración de la calidad del aire son:

- Reacciones anaerobias dentro de los reactores, donde la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno libera gases malolientes.
- Secado de lodos, donde los lodos estabilizados, al ser expuestos al ambiente para eliminar su contenido de humedad, emiten olores debido a la liberación de compuestos volátiles residuales.

Aunque la emisión de olores es generalmente localizada y de intensidad variable dependiendo de las condiciones climáticas (como la temperatura y la dirección del viento), puede afectar negativamente la calidad del aire en el área inmediata a la planta, especialmente en las zonas residenciales cercanas. Este impacto puede generar molestias a la población, disminución en la percepción de la calidad ambiental del entorno, y en casos más extremos, provocar efectos leves sobre la salud, como irritación de las vías respiratorias o dolores de cabeza en personas sensibles.

El nivel de afectación dependerá de la eficiencia en el manejo de lodos, el control de procesos anaerobios, y la implementación de sistemas de mitigación de olores.

Durante las actividades de cierre, el uso de maquinaria pesada durante el desmontaje de estructuras, como retroexcavadoras, grúas, cortadoras y camiones para el transporte de materiales residuales, genera emisiones sonoras elevadas que contribuyen al aumento temporal de los niveles de ruido ambiental en la zona. Estas actividades suelen concentrarse en periodos específicos, pero su intensidad puede generar molestias tanto al personal de trabajo como a las comunidades vecinas, especialmente si se realizan en horarios continuos o sin barreras acústicas. Asimismo, el ruido generado puede alterar el comportamiento de fauna silvestre en áreas cercanas, afectando temporalmente su presencia o sus rutas de desplazamiento.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa para el aumento de las emisiones de ruido se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo F**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 20

IMPACTO DE AUMENTO DE LAS EMISIONES DE RUIDO DURANTE LAS FASE DE OPERACIÓN Y CIERRE DEL PROYECTO.

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pf)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
	Aumento en las emisiones de ruido	Aire	OPERACIÓN	Negativo	Baja	Puntual	Corto plazo	Fugar	Corto plazo	Recuperable	No sinérgico	Simple	No periódico	Media
		Cierre	Negativo	Alta	Puntual	Corto plazo	Temporal	Corto plazo	Mitigable	No sinérgico	Simple	No periódico	Media	Baja

FUENTE 44 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.1.3. Incremento de Desechos Sólidos

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

La generación y acumulación de desechos sólidos se pueden producir en los procesos del Área de pretratamiento (cribado y desarenado) y lechos de secado de lodos.

Fase de Cierre

La generación y acumulación de desechos sólidos se pueden producir en las zonas de operación de unidades de tratamiento, lechos de secado y áreas de almacenamiento temporal de residuos, y en espacios donde se concentran actividades de limpieza, corte y desmontaje.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

La producción de desechos en la fase de operación puede ser generado por las siguientes actividades:

- Retiro de sólidos gruesos en cribado.
- Extracción de arenas en desarenadores.
- Secado de lodos.

Fase de Cierre

La producción de desechos en la fase de cierre puede ser generado por las siguientes actividades:

- Desmantelamiento de estructuras (equipos, tuberías, sistemas eléctricos).
- Retiro y disposición de lodos residuales acumulados.
- Limpieza de reactores, tanques y canales.

- Restauración del sitio (retiro de residuos de construcción y demolición).
- Actividades post cierre (almacenamiento temporal, retiro de materiales sobrantes).

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Zonas de cribado, desarenado y almacenamiento de residuos en la PTAR. En la fase de cierre se espera que se manifieste dentro del predio de la planta de tratamiento y puntos de acopio de residuos sólidos.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los desechos sólidos, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Generación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.
- Acarreo de sedimentos hacia los lechos de los cursos de agua cercanos durante la fase de operación y cierre.
- Afectación al ecosistema acuático de los cuerpos de agua superficiales durante las actividades de cierre.
- Acumulación de residuos no peligrosos (escombros, metales, plásticos) en actividades de cierre.
- Posible presencia de residuos peligrosos o contaminados (componentes eléctricos, aceites, lodos) en actividades de cierre.

- Riesgo de contaminación del suelo o cuerpos de agua si se dispone de forma inadecuada los desechos sólidos como resultados de las actividades de cierre.
- Incremento en la necesidad de transporte y disposición final especializada durante las actividades de cierre.

Descripción del Impacto

Durante la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se genera un volumen significativo de residuos sólidos como resultado de los procesos de pretratamiento y secado de lodos. En el pretratamiento, los sistemas de cribado capturan materiales de mayor tamaño como plásticos, trapos, restos orgánicos y sólidos flotantes, mientras que el desarenado retira partículas pesadas como arena, grava y otros sedimentos. Estos residuos deben ser gestionados adecuadamente para evitar su acumulación o disposición inadecuada en el entorno inmediato.

Adicionalmente, el proceso de tratamiento produce lodos que, tras su estabilización y posterior secado en lechos de secado o mecanismos equivalentes, dejan un residuo sólido que debe ser manejado y dispuesto de forma segura. Estos lodos secos, si bien pueden tener potencial para ser reutilizados como enmienda del suelo o abono, deben cumplir criterios sanitarios estrictos para su uso, y si no son aprovechados, deben ser tratados como residuos sólidos ordinarios o peligrosos según su composición.

La inadecuada disposición de estos residuos podría provocar diversos impactos secundarios:

- Contaminación de suelos y aguas subterráneas por lixiviados si los residuos son dispuestos de manera informal o sin barreras impermeables.
- Proliferación de vectores (moscas, roedores) que utilizan los residuos como fuente de alimento y refugio, aumentando el riesgo de enfermedades.
- Impacto estético y generación de olores molestos, afectando la calidad ambiental del área circundante.
- Obstrucción de drenajes y afectación de infraestructuras hidráulicas si los residuos no son gestionados adecuadamente.

Durante la fase de cierre, las actividades de desmantelamiento y limpieza generan cantidades considerables de desechos sólidos provenientes de estructuras metálicas, concreto, plásticos, equipos fuera de uso y restos de materiales contaminados con residuos orgánicos o químicos. Estos residuos, si no son clasificados, manipulados y transportados adecuadamente, pueden representar un riesgo ambiental al mezclarse con los residuos comunes o quedar expuestos a la intemperie, con posibilidad de lixiviación o dispersión.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de impacto ocasionado por desechos sólidos se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo F**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 21 IMPACTO OCASIONADO POR DESECHOS SÓLIDOS DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN- Y CIERRE DEL PROYECTO.

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO										MAGNITUD		
		TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)		IMPORTANCIA (Im)	
Incremento de Desechos Sólidos	Suelo	OPERACIÓN	Negativo	Alta	Puntual	Corto plazo	Permanente	Mediano plazo	Mitigable	No Sinérgico	Acumulativo	Periódico	Alta	Alta
		Cierre	Negativo	Alta	Parcial	Corto plazo	Temporal	Corto plazo	Mitigable	No sinérgico	Simple	No periódico	Alta	

FUENTE 45 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.1.4. Ocurrencia de Procesos Erosivos y Sedimentación

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

La ocurrencia de procesos erosivos se puede producir en taludes sin vegetación expuestos.

Fase de Cierre

La ocurrencia de procesos erosivos y sedimentación se puede producir en taludes sin vegetación expuestos y caminos internos sin cobertura.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

La ocurrencia de procesos erosivos y de sedimentación en la fase de operación puede ser generado por las siguientes actividades:

- Transporte de lodos y operación de caminos internos en época lluviosa.

Fase de Cierre

La ocurrencia de procesos erosivos y de sedimentación en la fase de cierre puede ser generado por las siguientes actividades:

- Remoción de áreas, creación de taludes sin cobertura vegetal.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Zonas inclinadas dentro del predio de la planta de tratamiento.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los desechos sólidos, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Generación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.
- Incremento de la carga de residuos a disposición final.
- Incremento y acarreo de sedimentos hacia los lechos de los cursos de agua adyacentes
- Afectación al ecosistema acuático de los cuerpos de agua superficiales
- Arrastre de sedimentos.
- Obstrucción de escorrentías naturales.

Descripción del Impacto

Durante la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), especialmente en temporadas de lluvias, el tránsito constante de personal y maquinaria ligera sobre caminos sin pavimentar, así como el mantenimiento deficiente de áreas verdes o taludes dentro del predio, puede provocar la degradación progresiva de la superficie del suelo. La falta de cobertura vegetal y de obras de control de escorrentía facilita la formación de surcos, arrastre de sedimentos y acumulación de materiales en puntos críticos, como zanjas, canales o accesos. Este proceso no solo afecta la estabilidad de las áreas internas de la planta, sino que también puede comprometer el funcionamiento de la infraestructura hidráulica al obstruir drenajes o filtros.

Durante la fase de cierre de la planta, la remoción de estructuras y el abandono temporal de ciertas áreas sin una adecuada cobertura vegetal pueden dejar expuestos taludes, caminos internos y superficies desniveladas al impacto directo de las lluvias.

Esta condición favorece la ocurrencia de procesos erosivos superficiales, especialmente en suelos con poca compactación o sin estabilización. Como resultado, se genera escorrentía cargada de sedimentos finos y material particulado que puede ser arrastrado hacia zonas bajas dentro del predio y extenderse hacia áreas externas, impactando negativamente cuerpos de agua cercanos o propiedades colindantes. Sin un manejo adecuado, esta erosión puede acelerar la degradación del terreno y dificultar las labores de restauración paisajística posteriores.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de impacto ocasionado por procesos erosivos y sedimentación se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo 5**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 22

IMPACTO OCASIONADO POR PROCESOS EROSIVOS Y SEDIMENTACIÓN DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN Y CIERRE DEL PROYECTO.

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
Ocurrencia de procesos erosivos y sedimentación	Suelo	Operación	Negativo	Baja	Puntual	Largo plazo	Fugaz	Corto plazo	Recuperable	No sinérgico	Simple	No periódico	Baja	Compatible

Cierre	Negativo	Media	Puntual	Corto plazo	Temporal	Mediano plazo	Mitigable	No sinérgico	Simple	No periódico	Media	Baja
--------	----------	-------	---------	-------------	----------	---------------	-----------	--------------	--------	--------------	-------	-------------

FUENTE 46 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.1.5. *Contaminación de los Suelos*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

Se puede producir contaminación de los suelos en procesos relacionados con actividades de mantenimiento y operación en los Lechos de secado y áreas de almacenamiento temporal de lodos.

Fase de Cierre

Se puede producir contaminación de los suelos en procesos relacionados con las áreas de disposición temporal de lodos, desechos sólidos o aceites.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

La contaminación del suelo durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Disposición inadecuada de sólidos durante el retiro de sólidos gruesos y arenas en el pretratamiento (Desarenador y cribado)
- Disposición inadecuada de lodos secos.
- Filtración de lixiviados provenientes de lechos de secado.

Fase de Cierre

La contaminación del suelo durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Disposición inadecuada de sólidos y aceites durante el desmantelado de la infraestructura existente.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Áreas interiores del predio donde se ubica la planta de tratamiento de aguas residuales que no cuentan con algún medio de protección.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los procesos de contaminación del suelo, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Degradación de la calidad del suelo.
- Contaminación de acuíferos superficiales.

- Riesgo a la salud vegetal local.

Descripción del Impacto

Durante la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), particularmente en la fase de secado de lodos, existe un riesgo considerable de contaminación del suelo si los lodos secos y los lixiviados generados no son manejados de forma adecuada.

Los lechos de secado, al deshidratar los lodos provenientes de los procesos de tratamiento, producen lixiviados ricos en materia orgánica, nutrientes como nitrógeno y fósforo, metales pesados (dependiendo de la carga contaminante del influente) y posibles microorganismos patógenos. Si estos lixiviados percolan hacia el subsuelo sin un sistema de impermeabilización eficaz, pueden alterar la estructura, la composición química y la fertilidad natural del suelo, comprometiendo su capacidad de uso agrícola, paisajístico o de conservación.

Asimismo, la acumulación inadecuada de lodos secos, por ejemplo, en áreas sin infraestructura de confinamiento, o expuestos directamente a la intemperie incrementa el riesgo de dispersión de contaminantes a través del escurrimiento superficial en épocas de lluvia o mediante el arrastre eólico de partículas finas. Este fenómeno puede ampliar el área afectada y facilitar la movilización de contaminantes a cuerpos de agua cercanos o a otros suelos productivos. Existiría un incremento del riesgo sanitario si hay presencia de patógenos.

Durante el cierre de la planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR), existe un riesgo ambiental temporal relacionado con la disposición inadecuada de residuos

sólidos, aceites usados y lodos residuales que han permanecido en las unidades de tratamiento. Si estos materiales no se manejan con base en protocolos de seguridad y planes de gestión de residuos, pueden producir filtraciones, derrames o contaminación directa del suelo. Este riesgo es especialmente crítico en zonas donde se llevan a cabo actividades de drenado, lavado o corte de componentes, ya que la manipulación sin contención puede favorecer la infiltración de sustancias contaminantes al subsuelo, afectando su calidad y reduciendo su capacidad de recuperación natural.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que generan contaminación del suelo se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo 5**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 23

IMPACTO OCASIONADO POR CONTAMINACIÓN DEL SUELO DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
Contaminación del suelo	Suelo	Operación	Negativo	Media	Localizada	Mediano Plazo	Permanente	Mediano plazo	Mitigable	Sinérgico	Acumulativo	Periódico	Alta	Medio

Cierre	Negativo	Media	Puntual	Corto plazo	Temporal	Mediano plazo	Mitigable	No sinérgico	Simple	No periódico	Media	Baja
--------	----------	-------	---------	-------------	----------	---------------	-----------	--------------	--------	--------------	-------	-------------

FUENTE 47 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.1.6. *Alteración de la Calidad de Agua*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

Se puede producir en el sistema de descarga de efluentes tratados y no tratados (red baja de la red de alcantarillado) hacia el cuerpo receptor.

Fase de Cierre

Se puede producir con el arrastre de sedimentos o lodos si no se controla la escorrentía durante las actividades de limpieza.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

La alteración de la calidad del agua durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Descarga de efluente tratado al río Chusmuy sin desinfección

- Descarga de efluente proveniente de la red baja sin ser tratada.

Fase de Cierre

La alteración de la calidad del agua durante la fase de cierre puede ser generada por el posible arrastre de sedimentos y sólidos durante las actividades de desmantelamiento, limpieza del sitio y remoción de estructuras y equipos.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Cauce del río Chusmuy, tramo aguas abajo del punto de descarga.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los procesos que provocan alteración en la calidad del agua, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Contaminación microbiológica del agua superficial.
- Reducción de la calidad para usos recreativos y agrícolas.

Descripción del Impacto

Durante la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), el vertido de efluentes que no cumplen con los límites permisibles de calidad establecidos,

especialmente en cuanto a parámetros microbiológicos como coliformes fecales, *Escherichia coli* y otros patógenos, representa un riesgo significativo para la calidad del cuerpo de agua receptor.

El vertimiento de aguas residuales insuficientemente tratadas de la red baja del alcantarillado que no entra a la planta de tratamiento puede provocar la degradación del ecosistema acuático, afectando organismos sensibles, disminuyendo la biodiversidad y alterando los equilibrios ecológicos naturales. Además, el aumento de la carga microbiológica puede generar fenómenos como la eutrofización, afectaciones en cadenas tróficas acuáticas y la alteración de parámetros físicos y químicos del agua (turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), entre otros).

Desde el punto de vista de los usos humanos del recurso hídrico, la contaminación microbiológica limita o impide el uso del agua para consumo humano, recreación, pesca, riego agrícola y otros fines económicos y sociales. Además, incrementa el riesgo sanitario para las poblaciones que utilizan el río o aguas abajo de este punto, al exponerse a enfermedades de origen hídrico como gastroenteritis, infecciones de piel, hepatitis, entre otras.

Durante la etapa de cierre de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), las actividades de limpieza y retiro de lodos, combinadas con la remoción de estructuras y el desmantelamiento de unidades de tratamiento, pueden dejar expuestas superficies con residuos sueltos o suelos desnudos. Si estas áreas no cuentan con barreras de retención o sistemas de control de escorrentía, las lluvias pueden arrastrar sedimentos y restos de lodos hacia el río. Este arrastre puede provocar turbidez, alteración fisicoquímica del agua e impactos negativos en la biota acuática.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que generan alteración a la calidad del agua se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo F**).

Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 24

IMPACTO OCASIONADO POR ALTERACIÓN EN LA CALIDAD DE AGUA DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN Y CIERRE DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO											MAGNITUD		
	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)		IMPORTANCIA (Im)	
Alteración en la calidad de agua	Operación	Negativo	Alto	Extenso	Mediano plazo	Permanente	Mediano plazo	Mitigable	sinérgico	sinérgico	Simple	Periódico	Alto	Alta
	Cierre	Negativo	Alta	Puntual	Corto plazo	Temporal	Mediano plazo	Mitigable	sinérgico	Simple	No periódico	Media	Alto	Baja

FUENTE 48 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.1.7. Deterioro del Recurso Natural con Valor Económico (Agua y suelo)

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

Zona de influencia agrícola cercana al río Chusmuy.

Actividades que Generan el Impacto

El Deterioro del Recurso Natural con Valor Económico puede ser generado por las siguientes actividades:

- Impacto sobre suelos agrícolas debido a riego con aguas

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Cauce del río Chusmuy, tramo aguas abajo del punto de descarga.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los procesos que provocan Deterioro del Recurso Natural con Valor Económico durante la operación, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Parcelas agrícolas que utilizan agua del río Chusmuy aguas abajo de la descarga.

Descripción del Impacto

Durante la fase de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), el vertido de efluentes residuales no tratados o insuficientemente tratados en cuerpos de agua utilizados para riego agrícola puede provocar la contaminación de las aguas de riego, comprometiendo la calidad del recurso utilizado en la producción de cultivos. La presencia de contaminantes microbiológicos (bacterias, virus, parásitos), así como compuestos químicos puede tener efectos directos y negativos sobre los cultivos.

Entre las consecuencias principales se encuentran la reducción del rendimiento agrícola, el deterioro de la calidad de los productos cosechados (posible contaminación bacteriana de frutas y hortalizas) y la generación de riesgos para la salud de los consumidores, afectando la comercialización de los productos en mercados locales y regionales.

Además, el uso de agua contaminada para riego puede provocar un deterioro progresivo de los suelos agrícolas, alterando su estructura, incrementando la salinidad, introduciendo metales pesados al perfil del suelo, y afectando negativamente su fertilidad a largo plazo.

Estos efectos repercuten directamente en la economía local, especialmente en comunidades rurales cuya principal fuente de ingreso es la producción agrícola, generando pérdidas económicas, inseguridad alimentaria y disminución del valor de las tierras de cultivo.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de procesos que genera el

Deterioro del Recurso Natural con Valor Económico se incluye en la Matriz de

Evaluación de Impactos (**Ver anexo 5**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 25

IMPACTO OCASIONADO POR EL DETERIORO DEL RECURSO NATURAL CON VALOR ECONÓMICO DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
Deterioro del Recurso Natural con Valor Económico	Agua/suelo	OPERACIÓN	Negativo	Alto	Extenso	Mediano plazo	Permanente	Mediano plazo	Mitigable	Sinérgico	Acumulativo	Periódico	Medio	Alta

FUENTE 49 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.2. Impactos Biológicos

5.4.5.2.2.1. *Perturbación de la Biota Acuática*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

Se puede producir en el sistema de descarga de efluentes tratados y no tratados (red baja de la red de alcantarillado) hacia el cuerpo receptor.

Fase de Cierre

Se puede producir en las zonas de limpieza y vaciado de unidades hidráulicas, caminos internos y áreas sin cobertura vegetal dentro del predio y conexión natural o artificial con cuerpos de agua superficiales.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

La Perturbación de la Biota Acuática durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Descarga de efluente tratado al río Chusmuy sin desinfección
- Descarga de efluente proveniente de la red baja sin ser tratada.

Fase de Cierre

La Perturbación de la Biota Acuática durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Limpieza de reactores, tanques y canales.
- Disposición y traslado de lodos residuales.
- Movimiento de suelos en áreas cercanas a drenajes o quebradas.
- Falta de medidas de control de escorrentía y sedimentación.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Tramo del río Chusmuy afectado por la descarga directa de efluentes.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los procesos que provocan perturbación de la Biota Acuática, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Alteración de la biodiversidad acuática.
- Reducción de especies sensibles a la contaminación.
- Aumento de turbidez en el cuerpo de agua.
- Disminución del oxígeno disuelto.
- Posible mortandad o desplazamiento de especies sensibles.

Descripción del Impacto

El vertido continuo de efluentes que contienen altas concentraciones de nutrientes (particularmente nitrógeno y fósforo), patógenos y otros contaminantes orgánicos e inorgánicos hacia un cuerpo de agua receptor puede inducir procesos de eutrofización. Este fenómeno se caracteriza por el crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, que altera significativamente el equilibrio ecológico natural del ecosistema acuático.

La proliferación descontrolada de organismos fotosintéticos genera un aumento inicial del oxígeno disuelto durante el día; sin embargo, durante la noche y en procesos de descomposición de la materia orgánica, se produce un consumo intensivo de oxígeno, lo que lleva a condiciones de hipoxia o incluso anoxia (ausencia total de oxígeno). Estas condiciones son críticas para la supervivencia de muchas especies acuáticas, provocando la muerte de peces, macroinvertebrados y otras formas de vida dependientes del oxígeno.

Además, la alta concentración de nutrientes y materia orgánica puede favorecer el desarrollo de especies oportunistas y resistentes a condiciones de baja calidad de agua, desplazando a especies más sensibles y reduciendo así la diversidad biológica del ecosistema. A largo plazo, estos cambios afectan la estructura trófica, el equilibrio de poblaciones, y la capacidad de resiliencia del ecosistema acuático.

Durante las actividades de cierre, especialmente durante la limpieza intensiva de unidades hidráulicas y el retiro de lodos, existe riesgo de que sedimentos y residuos orgánicos sean movilizados por las lluvias hacia cuerpos de agua cercanos. Esta escorrentía no controlada puede provocar la entrada de sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica al ecosistema acuático, alterando las condiciones fisicoquímicas del hábitat. Como consecuencia, se afecta la biota acuática, particularmente organismos sensibles a cambios en turbidez, oxígeno disuelto y carga contaminante.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que generan perturbación en la biota acuática se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo 5**).

Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 26

IMPACTO OCASIONADO POR LA PERTURBACIÓN EN LA BIOTA ACUÁTICA DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN Y CIERRE DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO											MAGNITUD	
		TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)		
Perturbación en la Biota Acuática	Flora/fauna	OPERACIÓN	Negativo	Alta	Extenso	Corto plazo	Permanente	Mediano plazo	Mitigable	Sinérgico	Acumulativo	Periódico	Alta	Alta
		CIERRE	Negativo	Media	Parcial	Largo plazo	Temporal	Corto plazo	Mitigable	No sinérgico	Simple	No periódico	Alta	

FUENTE 50 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.2.2. *Reducción/ Recuperación de la Cobertura Vegetal*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

Se puede producir en las zonas perimetrales, áreas verdes o no operativas de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Fase de Cierre

Se puede producir en las zonas perimetrales, áreas verdes o no operativas de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

La reducción de cobertura vegetal durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Mantenimiento periódico de áreas verdes sin planificación paisajística.

Fase de Cierre

La recuperación de cobertura vegetal durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Plantación en áreas rehabilitadas.
- Regeneración natural.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Áreas externas del predio de la planta que presentan vegetación espontánea.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los procesos que provocan perturbación de la cobertura vegetal es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Alteración o pérdida de vegetación secundaria.

Descripción del Impacto

Durante la fase de operación de la planta de tratamiento, la eliminación o recorte frecuente de vegetación durante las actividades de cierre de la planta, particularmente en áreas verdes o zonas de restauración, puede generar un impacto negativo en la cobertura vegetal existente, especialmente si estas acciones no se realizan bajo criterios ambientales ni con un enfoque de restauración ecológica. La vegetación cumple funciones clave como la protección del suelo contra la erosión, la regulación micro climática y el mantenimiento de hábitats para diversas especies de fauna local. Su remoción indiscriminada puede interrumpir corredores biológicos, reducir la diversidad vegetal y favorecer la invasión de especies oportunistas. Además, si no se planifica adecuadamente, este tipo de intervención puede retrasar la regeneración natural del ecosistema y aumentar la fragmentación del entorno, afectando negativamente la conectividad ecológica entre áreas naturales cercanas

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que generan alteración o recuperación de la cobertura vegetal se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (Ver anexo 5). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 27

IMPACTO OCASIONADO POR ALTERACIÓN O RECUPERACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN Y CIERRE DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO											MAGNITUD	
		TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)		
Perturbación en la Biota Acuática	Flora/fauna	OPERACIÓN	Negativo	Alta	Extenso	Corto plazo	Permanente	Mediano plazo	Mitigable	Sinérgico	Acumulativo	Periódico	Alta	Alta
		CIERRE	Positivo	Alta	Parcial	Largo plazo	Permanente	Corto plazo	Recuperable	sinérgico	Simple	No periódico	Alta	Medio

FUENTE 51 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.2.3. Afectación a las Poblaciones de Fauna Terrestre

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

Se puede producir en la zona de influencia inmediata alrededor del predio de la planta.

Fase de Cierre

Se puede producir en la zona de influencia inmediata alrededor del predio de la planta.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

La afectación a las poblaciones de fauna terrestre durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Alteraciones del hábitat en áreas adyacentes a la PTAR.

Fase de Cierre

La afectación a las poblaciones de fauna terrestre durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- El movimiento de maquinaria y presencia humana temporal puede desplazar fauna cercana al sitio.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Áreas rurales y periurbanas cercanas a la planta de tratamiento.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los procesos que provocan afectación a las poblaciones de fauna terrestre, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Desplazamiento de especies terrestres.
- Interrupción de rutas de migración o alimentación.

Descripción del Impacto

La fauna silvestre depende en gran medida de señales ambientales como el sonido, la luz natural y la ausencia de perturbaciones humanas para regular sus patrones de actividad, reproducción, alimentación y migración. La presencia continua o intermitente de ruido, proveniente de equipos de bombeo, motores de vehículos, y actividades de mantenimiento, puede interferir con su comunicación acústica (por ejemplo, aves y mamíferos) y provocar su desplazamiento hacia áreas menos perturbadas.

La iluminación artificial nocturna, necesaria para la operación y seguridad de la planta, altera los ritmos circadianos de diversas especies, desorienta a animales nocturnos y afecta ciclos de reproducción, alimentación y migración. Las especies más

sensibles a la luz, como murciélagos, insectos, anfibios y algunas aves, pueden disminuir su presencia o abandonar completamente el área.

Finalmente, el tráfico de vehículos de mantenimiento, aunque moderado, incrementa el riesgo de atropellamiento de fauna de desplazamiento lento (anfibios, reptiles, pequeños mamíferos) y contribuye a la fragmentación de hábitats al generar barreras de movimiento.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que generan afectación a las poblaciones de fauna terrestre se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (Ver anexo 5). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 28

IMPACTO OCASIONADO POR LA AFECTACIÓN A LAS POBLACIONES DE FAUNA TERRESTRE DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
Afectación a las poblaciones	Fauna	OPERACIÓN	Negativo	Baja	Puntual	Corto plazo	Permanente	Corto plazo	Recuperable	No sinérgico	Simple	No periódico	Media	Compatible

nes de														
fauna	CIERRE	Negativo	Media	Parcial	Corto plazo	Temporal	Mediano plazo	Mitigable	sinérgico	Simple	No periódico	Media		
terrestre														Media

FUENTE 52 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.2.4. *Afectación a las Poblaciones de Aves y Murciélagos*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación y Cierre

Se puede producir en el área operativa con luminarias nocturnas o actividad mecánica constante.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

La perturbación a las poblaciones de aves durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Presencia constante de iluminación durante la jornada nocturna.
- Ruidos por actividades mecánicas constantes.
- Atracción de aves de tipo carroñero en la operación de extracción de desechos sólidos en el desarenador.

Fase de Cierre

La recuperación de las poblaciones de aves y murciélagos en zonas con reducción de ruido y luz artificial.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Área de influencia directa con radio de hasta 500 metros.

Efectos Derivados

Fase de Operación

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los procesos que provocan perturbación de las poblaciones de aves y murciélagos, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Desorientación de aves nocturnas y murciélagos.
- Afectación de ciclos reproductivos o de alimentación

Descripción del Impacto

Las fuentes de luz artificial intensa y el ruido continuo presentes durante la operación de la planta pueden alterar significativamente el comportamiento de especies sensibles como murciélagos y aves silvestres que habitan o transitan por el área. Además, la presencia de residuos orgánicos mal gestionados o lodos expuestos puede atraer aves carroñeras como zopilotes o gavilanes, alterando la dinámica ecológica del sitio e incrementando la posibilidad de conflictos con la operación de la planta o con las

comunidades vecinas. Este tipo de alteraciones pueden afectar negativamente la biodiversidad local y deben ser controladas mediante un manejo ambiental adecuado

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que generan afectación a las poblaciones de aves y murciélagos se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo 5**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 29

IMPACTO OCASIONADO POR LA AFECTACIÓN A LAS POBLACIONES DE AVES Y MURCIÉLAGOS DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN Y CIERRE DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	MAGNITUD												
	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)		
Afectación a las Poblaciones de Aves y Murciélagos	Fauna	OPERACIÓN	Negativo	Baja	Puntual	Mediano plazo	Fugaz	Mediano plazo	Mitigable	No sinérgico	Simple	No periódico	Media	Compatible
		CIERRE	Positivo	Baja	Parcial	Largo plazo	Permanente	Corto plazo	Recuperable	sinérgico	Simple	No periódico	Media	Compatible

FUENTE 53 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.3. Impactos Socioeconómicos

5.4.5.2.3.1. *Molestias a la Población por Actividades de Operación y cierre*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

Se puede producir en vías de acceso a la planta y áreas de operación interna.

Fase de Cierre

Se puede producir en vías de acceso a la planta y áreas de operación interna donde se realizan cargas y descargas de material.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

La afectación a las poblaciones durante la operación puede ser generado por las siguientes actividades:

- Tráfico vehicular de operación y mantenimiento de la PTAR.

Fase de Cierre

La afectación a las poblaciones durante el cierre puede ser generado por las siguientes actividades:

- Actividades logísticas de carga y descarga continua de materiales.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Barrios y comunidades próximas a los accesos de la PTAR.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los procesos que provocan afectación a las poblaciones durante la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Aumento del tráfico local.
- Incremento de niveles de ruido y polvo (la calle de principal acceso a la planta de tratamiento no es pavimentada)

Descripción del Impacto

Durante la operación y cierre de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), el movimiento constante de vehículos de mantenimiento, transporte de insumos y retiro de residuos genera una serie de impactos ambientales y sociales en las zonas aledañas a la instalación.

El tránsito frecuente de vehículos pesados y livianos contribuye a la generación de ruido que puede superar los niveles de confort acústico aceptables para áreas rurales

o residenciales, provocando molestias a los residentes cercanos y alteraciones en el comportamiento de la fauna local.

Simultáneamente, en vías no pavimentadas o parcialmente deterioradas, el paso de vehículos levanta emisiones de polvo (material particulado suspendido), lo cual puede deteriorar la calidad del aire, afectar la salud respiratoria de personas vulnerables (niños, ancianos) y depositarse sobre cultivos, viviendas o cuerpos de agua superficiales.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que generan afectación a las poblaciones durante la operación de la planta de tratamiento se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo 5**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 30

IMPACTO OCASIONADO POR LA AFECTACIÓN A LAS POBLACIONES DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN Y CIERRE DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
------------------------	--------------------	--------------------	------	----------------	---------------	-------------	------------------	--------------------	----------------------	--------------	-----------------	-------------------	------------------	----------

Molestias a la Población por Actividades de Operación	Población y salud	OPERACIÓN	Negativo	Medio	Puntual	Largo plazo	Temporal	Corto plazo	Mitigable	Muy sinérgico	Acumulativo	No periódico	Media	BAJA
		CIERRE	Negativo	Alta	Parcial	Corto plazo	Temporal	Corto plazo	Mitigable	sinérgico	Simple	No periódico	Media	Media

FUENTE 54 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.3.2. *Molestias a las Comunidades por Malos Olores*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación.

Fase de Operación

Reactores de tratamiento biológico y lechos de secado de lodos.

Actividades que Generan el Impacto

La afectación a las poblaciones por malos olores durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Procesos anaeróbicos de tratamiento de aguas residuales (RAFA).
- Manejo de lodos en proceso de secado.
- Inadecuado manejo de residuos sólidos en el área de desarenados y cribado.

- Inadecuado funcionamiento de los componentes de la planta de tratamiento puede generar malos olores.
- Aguas estancadas en los componentes de la planta de tratamiento.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Barrios y zonas residenciales en un radio de hasta 300 metros de la PTAR.

Efectos Derivados

Si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y controlar los procesos que provocan afectación a la población, es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Percepción de incomodidad por olores desagradables.
- Afectación a la calidad de vida de los residentes cercanos.

Descripción del Impacto

La presencia de olores ofensivos impacta la calidad de vida de las poblaciones que habitan en las inmediaciones de la planta, generando molestias, disminución del confort ambiental y, en algunos casos, quejas comunitarias y conflictos sociales.

Aunque las concentraciones de estos gases suelen ser bajas y no representan un riesgo inmediato para la salud pública en condiciones normales, su percepción constante puede

provocar síntomas leves como cefaleas, náuseas o irritación de las vías respiratorias en personas sensibles.

Los principales focos emisores son los reactores anaerobios, los lechos de secado de lodos, las áreas de almacenamiento de residuos sólidos orgánicos y las zonas de pretratamiento donde se acumula materia en descomposición.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que generan afectación a las poblaciones de por malos olores se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo 5**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 31

IMPACTO OCASIONADO POR LA AFECTACIÓN A LAS POBLACIONES POR MALOS OLORES DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
Afectación a las poblaciones de fauna terrestre	Población y salud	OPERACIÓN	Negativo	Baja	Parcial	Largo plazo	Temporal	Corto plazo	Mitigable	Sinérgico	Acumulativo	No periódico	Media	BAJA

FUENTE 55 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.3.3. Oportunidades de Empleo de Mano de Obra Local

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación y Cierre

Ocurre en áreas operativas y administrativas de la PTAR.

Actividades que Generan el Impacto

Las oportunidades de empleo de mano de obra local durante la fase del proyecto pueden ser generado por las siguientes actividades:

- Contratación de operadores de planta, personal de mantenimiento
- Contratación de personal para las actividades de desmontaje de infraestructura y equipo, actividades de limpieza y restauración.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Municipio de Marcala

Efectos Derivados

Las oportunidades de empleo de mano de obra local es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Generación de empleo directo e indirecto.
- Mejora en el ingreso de las familias locales.

Descripción del Impacto

La operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) requiere de recurso humano capacitado para la ejecución de labores técnicas, administrativas y de mantenimiento. Esta necesidad impulsa la creación de empleos directos para operadores de planta, técnicos de mantenimiento eléctrico y mecánico, personal de laboratorio, encargados de limpieza y seguridad, entre otros.

La contratación de personal local no solo proporciona una fuente estable de ingresos para los residentes del municipio, sino que también fomenta el desarrollo de capacidades técnicas y profesionales a nivel local mediante procesos de capacitación y transferencia de conocimiento. A mediano y largo plazo, esta dinámica contribuye al fortalecimiento del capital humano del municipio, mejorando las oportunidades laborales de sus habitantes en el sector de saneamiento y en actividades relacionadas.

Adicionalmente, el aumento de empleos formales asociados a la operación de la planta genera un efecto multiplicador en la economía local, ya que el ingreso de las familias se traduce en mayor consumo de bienes y servicios dentro de la comunidad, promoviendo el crecimiento de otros sectores económicos como comercio, transporte y servicios básicos.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que generan oportunidad de empleo de mano de obra se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo 5**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 32

IMPACTO OCASIONADO POR LA OPORTUNIDAD DE EMPLEO DE MANO DE OBRA LOCAL DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
Oportunidad de empleo de mano de obra local	Empleo	OPERACIÓN Y CIERRE	Positivo	Baja	Puntual	Corto plazo	Permanente	Corto plazo	Recuperable	Muy sinérgico	Acumulativo	Periódico	Media	BAJA

FUENTE 56 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.3.4. *Estímulo a la Economía Local*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación y cierre

Relación comercial con proveedores locales de bienes y servicios.

Actividades que Generan el Impacto

El estímulo a la economía local durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Demanda de bienes y servicios para la operación y mantenimiento, y en la etapa de cierre.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Zona urbana del municipio de Marcala.

Efectos Derivados

El estímulo en la economía local es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Incremento en la actividad económica local.
- Fortalecimiento de redes comerciales.

Descripción del Impacto

La operación continua de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) genera una demanda sostenida de diversos bienes y servicios, contribuyendo a la dinamización de la economía local. Entre las necesidades operativas que fomentan esta actividad económica se incluyen la contratación de servicios de transporte para el traslado de materiales y personal, la adquisición de suministros industriales (productos químicos, equipos de protección personal, repuestos para maquinaria) y la contratación

de servicios técnicos especializados en mantenimiento, electricidad, fontanería y gestión de residuos.

Esta demanda impulsa la generación de empleo indirecto y oportunidades de negocio en sectores como transporte, comercio, mantenimiento industrial, y servicios de ingeniería. Además, contribuye a fortalecer las capacidades técnicas locales, ya que la necesidad de servicios recurrentes motiva la formación y especialización de mano de obra en el municipio.

En un nivel más amplio, la presencia de una infraestructura de saneamiento adecuada mejora la percepción de calidad de vida en la localidad, lo cual puede atraer inversiones adicionales y favorecer el desarrollo urbano ordenado.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que genera la estimulación de la economía local se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos **(Ver anexo F)**. Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 33

IMPACTO OCASIONADO POR LA ESTIMULACIÓN DE LA ECONOMÍA LOCAL EN LA FASE DE OPERACIÓN DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	FASES DEL PROYECTO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
Estimulación de la Economía Local	Económicos	OPERACIÓN	Positivo	Baja	Puntual	Corto plazo	Permanente			Muy sinérgico	Acumulativo	Periódico	Alta	BAJA

FUENTE 57 ELABORACIÓN PROPIA.

5.4.5.2.3.5. *Calidad visual del paisaje*

Este impacto se manifestará principalmente durante la fase de operación y cierre.

Fase de Operación

Las estructuras visibles de la planta, combinadas con acumulaciones de materiales o lodos, pueden percibirse como elementos discordantes con el entorno natural o urbano.

Fase de Cierre

La eliminación de infraestructuras y la restauración vegetal favorecen la estética del paisaje local.

Actividades que Generan el Impacto

Fase de Operación

El deterioro en la calidad del paisaje durante la fase del proyecto puede ser generado por las siguientes actividades:

- Infraestructura robusta existente
- Residuos visibles

Fase de Cierre

La recuperación en la calidad del paisaje durante la fase del proyecto puede ser generado por la eliminación de infraestructura y las implementaciones de planes de restauración vegetal que favorecen la estética del paisaje local.

Localización del Impacto

Las áreas donde se espera que se manifieste el efecto incluyen: Áreas visibles y que colindan con calles o viviendas desde donde se observa la planta de tratamiento.

Efectos Derivados

Para la fase de operación es posible que se puedan presentar alguno de los siguientes efectos:

- Impacto negativo en la percepción estética del entorno.

- Disminución del valor paisajístico de la zona urbana cercana.

Descripción del Impacto

Las estructuras visibles de la planta de tratamiento, tales como reactores, tanques elevados, zonas técnicas y cerco perimetral, pueden generar un contraste visual con el entorno natural que la rodea.

El deterioro del paisaje es atribuible a estructuras que presentan deterioro, falta de mantenimiento o están acompañadas por acumulaciones de materiales, montículos de lodos secos o residuos visibles, que refuerzan una percepción de abandono o descuido ambiental.

Valoración del Impacto

La Valoración Cuantitativa de la activación de proceso que alteración o recuperación (fase de cierre) de la calidad del paisaje se incluye en la Matriz de Evaluación de Impactos (**Ver anexo 5**). Una descripción cualitativa del impacto por fases se incluye a continuación:

TABLA 34

IMPACTO OCASIONADO POR LA ALTERACIÓN O RECUPERACIÓN DEL PAISAJE EN LA FASE DE OPERACIÓN Y CIERRE DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO		TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pf)	IMPORTANCIA (Im)	MAGNITUD
	FASES DEL PROYECTO													
Calidad Visual del Paisaje	Económicos	OPERACIÓN	Negativo	Baja	Puntual	Largo plazo	Permanente	Mediano plazo	Mitigable	sinérgico	Simple	No periódico	Media	Baja
			CIERRE	Positivo	Baja	Puntual	Largo plazo	Permanente			No sinérgico	Simple	No periódico	

FUENTE 58 ELABORACIÓN PROPIA.

CAPITULO 6. DISCUSIÓN

En el presente capítulo se realizará la discusión de los resultados obtenidos, se analizarán e interpretan los principales hallazgos obtenidos a lo largo del estudio, a la luz de los objetivos planteados, la literatura consultada y el marco teórico que se ha utilizado. La discusión busca no solo contrastar los resultados obtenidos con estudios previos y normativas vigentes, sino también, corroborar el cumplimiento de los objetivos de la investigación; para luego, elaborar las conclusiones respectivas del estudio.

6.1. Cumplimiento de objetivos

En los capítulos 5 y 7 se apreciaron los resultados obtenidos de los instrumentos de recolección y la propuesta de plan de mejora ambiental; para continuar con la investigación, se analizarán los resultados en base a sí estos lograron cumplir con los objetivos propuestos.

El análisis se realizará haciendo énfasis en los objetivos de la investigación, desglosando en qué forma se cumplió o no con los mismos:

6.1.1. Evaluación técnica-operativa del estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales

Corresponde al objetivo 1. Describir el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala del departamento de La Paz en términos de funcionamiento y mantenimiento.

En relación con el primer objetivo específico de investigación, el objetivo fue alcanzado mediante la aplicación de un diagnóstico técnico que fue realizado mediante

visitas de campo, entrevistas con personal operativo, revisión y análisis de documentación operativa y registros técnicos existentes en el municipio. La caracterización de la infraestructura y funcionamiento actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala permitió identificar múltiples deficiencias estructurales, operativas y de gestión que comprometen su eficiencia y sostenibilidad.

En términos de infraestructura se identificó que la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Marcala es una planta de tratamiento compacta que funciona en serie y opera con un sistema de tratamiento compuesto por un pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario, sin embargo, muchas de sus unidades operan por debajo de su capacidad o se encuentran deterioradas. Dentro de estas unidades se encuentra la Caja distribuidora de caudales que opera con solo una entrada de caudal de aguas, y el resto de su componente cuenta con fallas de taponamientos o conexiones irregulares, lo cual genera desequilibrios hidráulicos. Tenemos el desarenador, que a pesar de que es el único sistema de pretratamiento funcional, presenta daños mecánicos y carece de componentes clave para retener el ingreso de sólidos gruesos que pueden afectar las etapas posteriores del tratamiento.

El Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA), demostró requerir de mantenimiento y purga de lodos. Por su parte, el Filtro Percolador y el Sedimentador Secundario, presentaron limitaciones en su capacidad de remoción de materia orgánica y coliformes debido al deterioro de accesorios y acumulación de sólidos. La unidad de desinfección se encuentra fuera de operación, y su diseño compromete su funcionamiento efectivo debido a la poca distancia entre dosificación y la descarga al río. Y luego, tenemos a las estaciones de bombeo que se encuentran fuera de operación, lo que ha causado vertidos directos de aguas residuales sin tratar al río Chusmuy.

Además, se identificó que la planta de tratamiento no cuenta con equipo digital para la medición precisa de caudales, lo que deja a mediciones de caudales manuales e imprecisas.

Se han realizado estudios similares en la región que sustentan la discusión de resultados de este estudio. Ronald Campo (2005), determina los resultados que fueron obtenidos a través de un estudio de 12 plantas de tratamiento de aguas residuales en Honduras, Guatemala y El Salvador. Los resultados indicaron que muchas de las plantas de tratamiento enfrentan problemas similares observados en Marcala, como ser deficiencias en el manejo preventivo, desgaste o deterioro de componentes mecánicos y la falta de protocolos formales de operación, mantenimiento y de seguridad.

FUNCAGUA (2013), destacó que en la región de Centroamérica y República Dominicana existen 704 plantas de tratamiento de aguas residuales, de las cuales muchas operaban por debajo de su capacidad o se encontraban deterioradas. Así como también determinó que en la región se carecen de instrumentos que permitan medir la administración de las aguas residuales y excretas a nivel regional y nacional para la efectividad y cumplimiento legal. Incluso menciona que los países no cuentan con planes de emergencia y riesgo para el saneamiento; y específicamente para las aguas residuales.

Cabe mencionar, que en países de Sudamérica como ser Colombia, se han realizado diagnósticos de plantas de tratamiento de aguas residuales donde coinciden los escenarios por falta de mantenimiento, deficiencias en el manejo preventivo, ausencia de manuales de operaciones, la falta de protocolos de seguridad para el personal que labora en las plantas de tratamiento, así como también, deficiencias en el monitoreo de la calidad de los efluentes (Escobar Gordillo, 2022).

Los hallazgos del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala coinciden con los resultados de estudios similares en la región, evidenciando que las deficiencias que se han presentado en este estudio son problemas comunes que afectan la eficiencia y sostenibilidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Además, estos estudios respaldan la necesidad de implementar medidas de prevención, mitigación y corrección, para fortalecer la gestión operativa y garantizar el funcionamiento adecuado de las plantas de tratamiento.

6.1.2. Determinación de la conformidad de los efluentes con la normativa nacional de calidad del agua

Corresponde al objetivo 2. Identificar qué parámetros químicos, biológicos y físicos muestran los efluentes descargados de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala, departamento de La Paz, y cómo cumplen con los estándares legales.

Para poder identificar qué parámetros químicos, biológicos y físicos muestran los efluentes descargados de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala se realizó una revisión de los datos históricos de la planta de tratamiento y el análisis de muestras de agua en distintos puntos del sistema de tratamiento y el cuerpo receptor en este caso una sección del río Chusmuy que permitió evaluar la calidad del efluente descargado por la planta de tratamiento. Los parámetros evaluados incluyeron la Demanda Biológica de Oxígeno a 5 días (DBO₅), la Demanda química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Los resultados obtenidos de las muestras de agua mostraron que, en el Punto 2 que corresponde a la muestra del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas

Residuales, las concentraciones de DBO₅ y DQO fueron de 14.4 mg/L y 45.1 mg/L, respectivamente, valores que se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la Norma Técnica Nacional de Descarga a Cuerpos Receptores (50 mg/L para DBO₅ y 200 mg/L para DQO). Sin embargo, en el Punto 3 que corresponde a una sección del cuerpo receptor aguas debajo de la planta de tratamiento de aguas residuales, se observó un incremento en estos valores a 19.1 mg/L para DBO₅ y 61.2 mg/L para DQO, lo que indica una influencia del efluente en la calidad del agua del río Chusmuy.

Hay que reconocer que, aunque los valores se mantienen dentro de los límites normativos, el aumento en la carga orgánica puede representar un riesgo acumulativo para el ecosistema acuático, especialmente si se considera la presencia de otros aportes contaminantes, como el observado en el Punto 4 que corresponde al efluente de la red baja de alcantarillado y rastro municipal que no entra a la planta de tratamiento, donde se registraron concentraciones de DBO₅ y DQO de 231 mg/L y 385 mg/L, respectivamente, excediendo los límites establecidos.

De igual forma, comparando los resultados de laboratorio del año 2023 proporcionados por el prestador de servicios Aguas de Marcala en la Tabla 16, se puede afirmar que la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala cumple con los parámetros fisicoquímicos establecidos por la normativa ambiental, demostrando una eficiencia en la remoción de materia orgánica y sólidos en los efluentes que logran ser tratados por el sistema provenientes de red alta del alcantarillado. Sin embargo, no cumple con los aspectos microbiológicos, específicamente en la eliminación de coliformes fecales, esto se alude a la inoperatividad de unidades dentro del sistema de tratamiento de la planta.

Estos hallazgos coinciden con estudios realizados en otras regiones. Por ejemplo, en Costa Rica se observó que, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Los Tajos, a pesar de contar con un tratamiento primario, el efluente descargado al cuerpo receptor presentaba niveles elevados de contaminación (Mora-Aparicio, Alfaro-Chinchilla, Pérez-Molina, & Vega-Guzmán, 2022).

En Honduras, se han realizado estudios similares. Por ejemplo, se ha realizado la evaluación de la calidad de aguas residuales de la agroindustria pecuaria de Zamorano, en el cual se obtuvo que los niveles de DBO y DQO en los efluentes tratados cumplían con la normativa para dicho rubro (Fuentes Peducasse, 1995), caso similar a los resultados obtenidos en la planta de tratamiento de Marcala con relación a la Norma Técnica. No obstante, se identificó que aun los efluentes cumpliendo con la normativa se necesitaban implementar medidas adicionales para mejorar la eficiencia del tratamiento y garantizar la sostenibilidad del sistema.

Similar a este, Diaz y Murillo (2022) realizaron un estudio sobre la contaminación por aguas residuales en la Cuenca del Río Chamelecón, donde se identificó contaminación por coliformes fecales y materia orgánica en el río Chamelecón, atribuida a la descarga de aguas residuales sin tratamiento adecuado. Aunque los niveles de DBO y DQO en Marcala se encuentran dentro de los límites permisibles, el incremento observado en estos parámetros aguas debajo de la descarga implica una influencia directa del efluente en la calidad del Río Chusmuy.

Los estudios mencionados coinciden en señalar que, aunque las plantas de tratamiento de aguas residuales logran reducir la carga contaminante de las aguas residuales estando dentro de los parámetros, ciertos parámetros en los efluentes descargados aún impactan la calidad del agua de los cuerpos receptores.

De igual forma, cabe mencionar que para efectos de este estudio se realizó una muestra puntual de los efluentes, por lo que se recomienda realizar un monitoreo continuo de los efluentes de forma constante durante un periodo prolongado para tener datos y sus variaciones en tiempo real, asegurar su cumplimiento normativo y optimizar la operación de la planta.

En el caso de Marcala, se recomienda implementar medidas adicionales para mejorar la eficiencia del tratamiento, así como establecer un programa de monitoreo continuo para evaluar y mitigar los efectos acumulativos en el ecosistema acuático.

6.1.3. Evaluación del impacto ambiental de los efluentes sobre cuerpos receptores conforme a lineamientos de la EIA

Corresponde al objetivo 3. Analizar a través de la evaluación de impacto ambiental (EIA) cómo afectan los efluentes descargados por la planta de tratamiento de aguas residuales, en el municipio de Marcala, departamento de La Paz, a la calidad del agua en el cuerpo receptor cercano.

En relación con el tercer objetivo específico de investigación, el objetivo fue alcanzado mediante el análisis de los parámetros físico, químicos y biológicos como resultados de las muestras de agua en puntos estratégicos del recurso hídrico de Marcala; estos puntos incluyeron como se menciona en la discusión del objetivo anterior: Punto 1 en aguas arriba del punto de descarga, Punto 2 en el efluente tratado que sale de la planta, Punto 3 en aguas abajo del punto de descarga y el Punto 4 en un área donde convergen la descarga adicional sin tratamiento correspondiente a la red baja y el rastro municipal. Se evaluaron los parámetros clave: DBO₅, DQO y sólidos

suspendidos totales (SST), todos ellos indicadores de calidad del agua y de carga contaminante.

Los resultados obtenidos evidencian que, si bien el efluente de la planta cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental nacional ($DBO < 50 \text{ mg/L}$; $DQO < 200 \text{ mg/L}$), se registra un aumento significativo en la concentración de DBO_5 y DQO entre el Punto 1 ubicado aguas arriba de la planta de tratamiento y el Punto 3 ubicado aguas debajo de la planta de tratamiento. Esto refleja una alteración en la calidad del agua del cuerpo receptor atribuible a la descarga del efluente tratado.

El aumento del 72% en la DBO_5 y del 70% en la DQO entre los puntos de entrada y salida del río sugiere una mayor demanda de oxígeno disuelto por parte del ecosistema acuático para degradar la materia orgánica introducida, lo cual podría afectar negativamente a las especies sensibles y reducir la capacidad de autodepuración del río a mediano plazo. Por otra parte, la descarga sin tratamiento del Punto 4 mostró concentraciones extremadamente altas de contaminantes, lo que representa un aporte significativo de contaminación al río Chusmuy. Este punto de vertido no tratado incrementa el riesgo de deterioro acumulativo de la calidad del agua, especialmente en condiciones de bajo caudal o ausencia de precipitaciones.

Sumado a esto, mediante el levantamiento de línea base ambiental y social se logró identificar que el impacto y deterioro de este recurso hídrico no recae en su totalidad a la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala, sino también, a otras actividades productivas que se realizan en áreas de cercanía a la Planta de Tratamiento, como ser el Rastro Municipal, vertimiento directo de aguas residuales de colonias y barrios del Casco Urbano de Marcala, y beneficios de café cercanos, entre los cuales se

desconoce de manera cuantificable cuál es su aportación en la carga orgánica del Río Chusmuy,

Para respaldar el análisis, se presentan estudios similares que evidencian impactos de las descargas de efluentes tratados o sin tratar en cuerpos de agua receptores. Por ejemplo, investigaciones sobre el río Choluteca han demostrado que las descargas de aguas residuales son una fuente contaminación orgánica, junto con otros factores como ser las industrias que carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales, el crecimiento desordenado y la eliminación inadecuada de desechos, han dado como resultado un aumento en los microorganismos patógenos, alteraciones de las propiedades del agua y una disminución en la biodiversidad acuática (Ponce de Montoya, 2008).

Obando Hernandez y Gallegos Lozano (2025), evidenciaron una notable variabilidad en la calidad del agua del río Guacerique. Las diferencias en pH, temperatura, oxígeno disuelto y otros indicadores sugieren de la influencia de factores ambientales y actividades humanas específicas en la calidad del agua. Además, subrayan el impacto de la contaminación en el ecosistema acuático por contaminación fecal y orgánica.

Según Rodriguez S (2017), en países de la región Centroamericana, como ser Costa Rica, existen ríos como el Tárcoles que es considerado uno de los más contaminados, como resultado de las descargas de aguas residuales y desechos sólidos sin tratamiento adecuado. Este escenario ha generado impacto negativo en la calidad del agua, la biodiversidad y la salud de las poblaciones cercanas.

Los estudios e investigaciones mencionadas coinciden en que las descargas de efluentes, incluso cuando cumplen parcialmente con la normativa, pueden tener un

impacto significativo en la calidad del agua de los cuerpos receptores. En el caso del río Chusmuy en Marcala, el incremento observado revela que el sistema natural de recepción se está viendo presionado por la descarga constante de efluentes, situación que podría agravarse si no se implementan mecanismos de mejora del tratamiento y control del resto de fuentes contaminantes. Por lo tanto, se recomienda establecer un programa de monitoreo continuo y tomar medidas correctivas tanto en la planta como en otras fuentes de descarga directa.

6.1.4. Aplicación de herramientas de gestión de proyectos en la mejora operativa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el municipio de Marcala

Corresponde al objetivo 4. Determinar si la integración de herramientas de gestión de proyectos puede mejorar la planificación, optimización e implementación de medidas para el funcionamiento eficiente de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala, departamento de La Paz.

En relación con el cumplimiento del cuarto objetivo específico, se logra determinar mediante el desarrollo de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) integral de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Marcala. Esta evaluación fue aplicada no solo como un requisito normativo ambiental y en concordancia a los documentos estándar para su aplicación, sino también como una herramienta clave en la gestión de proyectos. En su efecto, la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), al realizar el levantamiento de línea base ambiental y social, identificar impactos potenciales, proponer medidas de manejo ambiental y estructurar

procesos de seguimiento y monitoreo, representan un mecanismo estratégico para anticipar riesgos, optimizar recursos y fortalecer la sostenibilidad de los proyectos.

La integración del enfoque de la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) en el proceso de evaluación de impacto ambiental y mejora de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala permitió estructurar técnicamente las fases del proyecto, desde la identificación de riesgos hasta la planificación de acciones correctivas. Por ejemplo, la estructura desglosada del trabajo (EDT) fue aplicada para organizar el plan de mejora ambiental, mientras que el análisis de interesados facilitó el análisis de influencia y estrategias de participación con actores municipales y comunitarios. Asimismo, se desarrolló una matriz de riesgos operativos y ambientales para priorizar medidas preventivas, de mitigación y correctivas en concordancia con las áreas de conocimiento de la guía, en términos de alcance, costos, calidad, cronograma, recursos, uso de matrices de riesgos ambientales y registro de interesados.

La complementariedad de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) con el uso de otras herramientas específicas de la gestión de proyectos, permitió estructurar la evaluación de manera lógica y orientada a resultados, fortaleciendo la capacidad de planificación ambientalmente estratégica del sistema de saneamiento municipal como lo es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala.

La existencia de estudios similares, destacan la Evaluación de Impacto Ambiental como una herramienta integral para la gestión de proyectos, en la que la metodología aplicada permite identificar y mitigar impactos negativos durante las fases de operación y mantenimiento del proyecto (Molina Bravo, 2014).

Podemos concluir que la Evaluación de Impacto Ambiental es un componente clave dentro del ciclo de vida de un proyecto, junto a otras herramientas de la gestión de proyectos, son fundamentales para mejorar la planificación, optimización e implementación de medidas aterrizadas a una realidad como en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

**CAPITULO 7. PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA
AMBIENTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE MARCALA EN EL
DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

En este capítulo, a partir de los resultados obtenidos en la evaluación de impacto ambiental, se formula una propuesta específica de plan de mejora ambiental orientada a prevenir, mitigar o corregir los impactos negativos detectados, así como a potenciar los efectos positivos.

7.1. Introducción

La gestión adecuada de las aguas residuales se ha consolidado como una prioridad para la protección de ambiente y la salud pública. Honduras, se enfrenta a limitaciones importantes en cobertura y calidad de los servicios de saneamiento, lo que compromete no llegar a cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente aquellos vinculados a agua limpia, sostenibilidad ambiental y protección a la salud. A nivel nacional, persisten brechas estructurales en la recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales. A medida de poder reducir de manera significativa los impactos ambientales y sanitarios derivados de la inadecuada gestión de los efluentes, se realizan esfuerzos para poder fortalecer el funcionamiento de las estructuras existentes para el tratamiento de aguas residuales y que estas reduzcan en la medida de lo posible su impacto en el medio ambiente.

En este contexto, el municipio de Marcala, en el departamento de La Paz, refleja en pequeña escala uno de los escenarios con los que cuenta el país. En el año 2015 fue construida la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Marcala, que inicialmente beneficiaba a 13,766 habitantes. La obra fue construida a un costo de 33,148,855.62 lempiras. La inversión de este sistema fue realizada por el gobierno de Honduras, a través del Instituto de Desarrollo Comunitario, Agua y Saneamiento (IDECOAS-FHIS) (Proceso Digital, 2015).

Los servicios de agua potable y saneamiento del sector urbano fueron concebidos a la alcaldía municipal de Marcala y luego traspasado a la entidad descentralizada Aguas de Marcala. En este caso particular, la administración por ley de la planta de tratamiento de aguas residuales pertenece a Aguas de Marcala, y como titular es Municipio.

Toda actividad, servicio o proyecto trae consigo un impacto ambiental y social, por mínimo que sea en su etapa de operación, por lo que es necesario desarrollar un Plan de Mejora Ambiental con el propósito de lograr la sostenibilidad de los recursos, y evitar su deterioro a corto, mediano y largo plazo.

Con la finalidad de no comprometer la calidad de los recursos y representar un riesgo ambiental significativo. Por tanto, se hace necesario presentar una propuesta de Plan de Mejora Ambiental que permita proponer acciones técnicas y de gestión orientadas a fortalecer el funcionamiento actual de la planta de tratamiento de aguas residuales, asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, y seguir contribuyendo a la sostenibilidad del sistema de saneamiento del municipio.

Este Plan de Mejora Ambiental deberá ser una herramienta de planificación para el manejo de los recursos naturales de la zona de influencia del proyecto, previniendo y minimizando los impactos negativos que puedan generarse en la etapa de operación y cierre.

7.1.1. Descripción del proyecto y su localización

Este estudio se centra en la evaluación ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) ubicada en el barrio La Tejera en el municipio de Marcala,

departamento de La Paz, la cual constituye la una de las infraestructuras principales para el manejo de las aguas residuales generadas en el Casco Urbano del municipio.

La planta de tratamiento de aguas residuales ha sido diseñada bajo un esquema compacto y modular, compuesta por varias unidades que operan en conjunto para asegurar el tratamiento del agua residual. El sistema de tratamiento comienza con una caja distribuidora de caudales (CDC), encargada de regular y distribuir el flujo de entrada hacia las unidades de tratamiento. Luego, se cuenta con la etapa de pretratamiento, compuesta por un desarenador, cuya función es remover sólidos gruesos y partículas sedimentales como arena, grava y otros materiales inorgánicos que puedan introducirse y afectar la operación de las unidades posteriores.

La etapa de tratamiento primario biológico está conformada por el Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) compuesto por dos cámaras, diseñado para promover la digestión anaerobia de la materia orgánica contenida en el agua residual y permitir la reducción de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Posteriormente, el efluente es conducido hacia un Filtro Percolador, para recibir un tratamiento biológico aerobio que utiliza un lecho de material de piedra recubierto por una biopelícula bacteriana.

En siguiente componente, denominado Sedimentador Secundario, se facilita la separación de sólidos biológicos suspendidos generados en el filtro percolador. Además, el sistema cuenta con una unidad de desinfección, orientada inicialmente a reducir la carga microbiológica del efluente antes de su disposición final al río, con el propósito de cumplir con los parámetros exigidos por la Norma Técnica de Descarga de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores vigente en Honduras.

Para el manejo de lodos, la planta de tratamiento cuenta con tres patios de secado que permiten la deshidratación natural de los biosólidos producidos, los cuales posteriormente son manejados o reutilizados. El conjunto, cuenta con dos estaciones de bombeo con sus respectivas casetas de control. Si bien, actualmente se encuentra fuera de servicio, su función principal es transportar el agua desde el alcantarillado sanitario hacia la planta de tratamiento, y la distribución de las aguas residuales entre las diferentes unidades de tratamiento.

7.1.2. Objetivos del Plan de Mejoramiento Ambiental

Objetivo General:

Prevenir, controlar o mitigar los potenciales impactos ambientales adversos que puedan ser generados en las zonas de influencia directa e indirecta de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala, en el departamento de La Paz.

Objetivos específicos:

- Establecer las medidas de manejo y control ambiental acordes a los impactos ambientales identificados.
- Garantizar a largo plazo la presencia en calidad y cantidad de los recursos naturales existentes en el área de influencia del proyecto.
- Establecer las responsabilidades y obligaciones de los ejecutores y beneficiados de las actividades propuestas en cada componente de este Plan de Mejora Ambiental

7.1.3. Identificación, caracterización y valoración de los principales impactos identificados

La metodología empleada en la identificación, caracterización y valoración de los principales impactos ambientales, donde se identifican los efectos que las actividades durante la fase de operación y cierre de la planta de tratamiento de aguas residuales causa sobre el medio ambiente y seleccionando los impactos por su nivel de importancia y que aplican para la evaluación, está centrada en el uso de la Matriz Causa/Efecto o Matriz de Relación Proyecto – Ambiente.

Con los efectos identificados se establece una lista larga de impactos la cual se compara con las acciones y efectos generados en la fase de operación y cierre de la planta de tratamiento de aguas residuales, posteriormente la lista es analizada por el especialista ambiental quien escoge los efectos de mayor probabilidad de ocurrencia.

Se identificaron y evaluaron los impactos ambientales y sociales generados por las actividades del proyecto, y se preparó un cuadro síntesis donde se indican los impactos sobre los medios físico-biológico y socioeconómico.

Con la identificación de los efectos de mayor impacto y probabilidad de ocurrencia, se elaboró una lista reducida de impactos, los cuales fueron sometidos a una descripción y evaluación más rigurosa mediante una matriz multicriterio de evaluación de impactos.

7.1.4. Metodología utilizada para la valoración de impactos

La metodología de valoración de impactos utilizada para este estudio es la Matriz Multicriterio. Cada impacto identificado fue valorado según un conjunto de

atributos predefinidos; como intensidad, extensión, momento de ocurrencia, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación, periodicidad e importancia. A estos atributos se le ha asignado un valor cuantitativo entre uno (1) y tres (3), de acuerdo con su grado de afectación ambiental. Los impactos negativos y positivos se evaluaron bajo esquemas diferenciados, reconociendo que en los casos positivos no se aplican los criterios de reversibilidad ni recuperabilidad. Este enfoque permitió establecer de forma objetiva el nivel de incidencia de cada impacto, el cual se estandarizó mediante fórmulas matemáticas permitiendo su clasificación según la magnitud estimada.

La descripción completa del procedimiento metodológico aplicado para esta evaluación se detalla en el capítulo 4 de esta tesis, donde se explica la construcción de los criterios, la ponderación utilizada y la lógica detrás de la fórmula aplicada. Los resultados obtenidos fueron sistematizados en una matriz de evaluación de impactos presentada en la sección 5.4 del capítulo 5, donde se identifican y califican los impactos más significativos generados durante la fase de operación y cierre de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala. Esta herramienta no solo permitió clasificar los impactos según su magnitud, sino también ofrecer una base técnica sólida para sustentar las propuestas contenidas en el Plan de Mejora Ambiental, orientadas a mitigar los efectos negativos identificados y potenciar los positivos.

7.1.5. Medidas de mitigación propuestas y duración en la implementación

Se entiende como medidas de mitigación a la implementación de estrategias, obras, y acciones dirigidas a eliminar o minimizar los impactos negativos que pueden ocurrir durante las etapas de operación y cierre de un proyecto logrando mantener la

calidad del ambiente y aprovechando las oportunidades que abren los proyectos. Las medidas de mitigación no neutralizan el impacto, sino que lo reducen, permitiendo que los efectos estén dentro de las normas ambientales del país.

7.1.6. Cronograma de ejecución de las acciones de los Planes propuestos y responsable de ejecutarlas.

El cronograma de ejecución preparado y presentado como propuesta en el documento establece las medidas de mitigación y el tiempo durante el cual se ejecutarán las diferentes medidas, esta información se encuentra tabulada para una fácil y expedita comprensión y así mismo su puesta en funcionamiento.

Consta de 30 medidas diseñadas para evitar afectaciones en el medio ambiente del área de influencia del proyecto, así mismo existen medidas que se deben considerar en la etapa de cierre del proyecto.

7.2. Descripción del proyecto

La descripción técnica y operativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala se encuentra desarrollada en el Capítulo 5, sección 5.4 específicamente en el apartado correspondiente a la evaluación de impacto ambiental. En esta sección, se presenta una descripción detallada del área del proyecto y su influencia directa, incluyendo, parámetros espaciales y geográficos relevantes para el análisis ambiental. De igual forma, se presenta el flujograma de actividades del sistema de tratamiento, que permite comprender la secuencia lógica de los procesos hasta la disposición final del efluente tratado al río. Se describe también la infraestructura física

de la planta de tratamiento, así como los aspectos clave relacionados con la gestión de residuos sólidos y desechos líquidos generados en la etapa de operación y cierre, elementos fundamentales para la valoración integral de los impactos ambientales asociados al funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala.

7.3. Identificación, caracterización y valoración de impactos ambientales

La identificación, caracterización y valoración de impactos ambientales derivados de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala, se desarrollan en profundidad en el Capítulo 5, sección 5.4 de esta tesis. En esta sección se analizaron de manera sistemática los principales componentes ambientales potencialmente afectados, abarcando tanto aspectos físico-naturales como sociales y culturales.

Esta evaluación detallada ha servido como base para determinar las medidas de prevención, mitigación o compensación y sustenta las decisiones propuestas en el Plan de Mejora Ambiental.

7.4. Evaluación de impactos y síntesis

La valoración de impactos ambientales identificados y sus síntesis se desarrolla en la sección 5.4 del Capítulo 5, donde se integran de manera cuantitativa y cualitativa los resultados obtenidos a partir de la identificación y valoración de los impactos ambientales y socioeconómicos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales. En esta sección se aplicaron criterios técnicos establecidos para determinar el

nivel de significancia de cada impacto, clasificándolos según atributos definidos metodológicamente en el Capítulo 4. Se realizó una síntesis comparativa que permite visualizar el equilibrio entre impactos negativos y positivos, estableciendo cuales son prioritarios en términos de atención ambiental y requerimientos de intervención.

El análisis final permitió la elaboración de una matriz resumen en la que se destacan los impactos más relevantes en cada componente ambiental y social, así como su grado de importancia según la escala de magnitud utilizada. La sección concluye con una interpretación integrada de los resultados, logrando orientar la toma de decisiones y el diseño del Plan de Mejora Ambiental presentado posteriormente. La síntesis de los impactos son un puente entre el diagnóstico ambiental y la propuesta técnica para mitigar los efectos adversos identificados durante la evaluación.

ILUSTRACIÓN 27

MATRIZ RESUMEN DE IMPACTOS PARA LA FASE DE OPERACIÓN DEL PROYECTO.

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	TIPO	VALORACIÓN Estandarizada	MAGNITUD
OPERACIÓN				
Perturbación de la Biota Acuática	Flora/Fauna	Negativo	0.88	ALTA
Deterioro del Recurso Natural con Valor Económico	Agua	Negativo	0.77	ALTA
Alteración de la Calidad de Agua	Agua	Negativo	0.73	ALTA
Incremento de Desechos Sólidos	Suelo	Negativo	0.69	ALTA
Contaminación de los Suelos	Suelo	Negativo	0.54	MEDIA
Alteración de la Calidad del Aire	Aire	Negativo	0.50	MEDIA
Afectación/Recuperación de Suelos Forestales y Agroforestales	Suelo	Negativo	0.42	BAJA
Estímulo a la Economía Local	Económicos	Positivo	0.41	BAJA
Oportunidades de Empleo de Mano de Obra Local	Empleo	Positivo	0.36	BAJA
Molestias a la Población por Actividades de Operación	Población y Salud	Negativo	0.35	BAJA
Molestias a las Comunidades por malos olores	Población y Salud	Negativo	0.35	BAJA
Calidad Visual del Paisaje	Paisaje	Negativo	0.31	BAJA
Ocurrencia de Procesos Erosivos y Sedimentación	Suelo	Negativo	0.27	BAJA
Riesgo de Contaminación de Aguas y Suelos por Vertidos Accidentales	Agua	Negativo	0.23	COMPATIBLE
Afectación a las Poblaciones de Fauna Terrestre	Fauna	Negativo	0.19	COMPATIBLE
Afectación a las Poblaciones de Aves y Murciélagos	Fauna	Negativo	0.15	COMPATIBLE
Aumento de las Emisiones de Ruido	Aire	Negativo	0.04	COMPATIBLE
Reducción de la Cobertura Vegetal	Flora	Negativo	0.00	COMPATIBLE

FUENTE 59 ELABORACIÓN PROPIA

ILUSTRACIÓN 28

MATRIZ RESUMEN DE IMPACTOS PARA LA FASE DE CIERRE DEL PROYECTO

INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	TIPO	VALORACIÓN Estandarizada	MAGNITUD
CIERRE				
Incremento de Desechos Sólidos	Suelo	Negativo	0.50	MEDIA
Recuperación de la Cobertura Vegetal	Flora	Positivo	0.50	MEDIA
Afectación a las Poblaciones de Fauna Terrestre	Fauna	Negativo	0.50	MEDIA
Molestias a las Comunidades por Actividades de Cierre	Población y Salud	Negativo	0.50	MEDIA
Disminución del Cambio de Uso del Suelo	Suelo	Positivo	0.45	BAJA
Perturbación de la Biota Acuática	Flora/ fauna	Negativo	0.45	BAJA
Alteración de la Calidad de Agua	Agua	Negativo	0.42	BAJA
Alteración de la Recarga de Acuíferos	Agua	Negativo	0.42	BAJA
Aumento de las Emisiones de Ruido	Aire	Negativo	0.38	BAJA
Ocurrencia de Procesos Erosivos y Sedimentación	Suelo	Negativo	0.38	BAJA
Contaminación de los Suelos	Suelo	Negativo	0.38	BAJA
Modificación del Relieve	Relieve	Negativo	0.38	BAJA
Recuperación de la Calidad Visual del Paisaje	Paisaje	Positivo	0.27	BAJA
Probabilidad de Ocurrencia de Incendios	Flora/ fauna	Negativo	0.27	BAJA
Alteración de la Calidad del Aire	Aire	Negativo	0.19	COMPATIBLE
Recuperación de Suelos Forestales y Agroforestales	Suelo	Negativo	0.18	COMPATIBLE
Recuperación de las Poblaciones de Aves y Murciélagos	Fauna	Positivo	0.09	COMPATIBLE
Disminución de la Compactación de los Suelos	Suelo	Positivo	0.05	COMPATIBLE

FUENTE 60 ELABORACIÓN PROPIA.

7.5. Propuesta de Plan de Mejora Ambiental

Mediante este programa de mejora ambiental se pretende establecer la implementación de las medidas para controlar o mitigar los principales impactos identificados en el proyecto. Para cada una de las medidas establecidas dentro de este programa de mejora ambiental se definirán las siguientes: Tipología, Medida de Control Ambiental - Social, Ubicación Especifica, Temporalidad, Descripción Cualitativa, Descripción Cuantitativa, Responsable, y Costo.

El contenido o información básica de las tablas que constituyen los programas de Medidas de Control Ambiental (MCA) la siguiente información:

Tipología: se refiere a la caracterización de la Medida de Control Ambiental, esta puede ser:

- Preventiva: para evitar la generación de un impacto sobre un medio.
- Mitigadora: para atenuar la acción del impacto sobre el medio específico.
- Compensatoria: cuando el impacto es irreversible.

Medida de Control Ambiental: Mención de la medida y/o acción que se pretende prevenir, mitigar o compensar.

Ubicación Especifica: se refiere a la ubicación específica dentro o fuera del proyecto, donde se pretende implementar la medida de control ambiental.

Temporalidad: Indicara la fecha expresada en días, meses o años de inicio y finalización de la medida de control ambiental, esta acompañará a un cronograma que permita visualizar el avance de la medida con respecto al avance del proyecto.

Descripción Cualitativa: Descripción específica de la tecnología o técnica utilizada en la medida, esta debe permitir al evaluador conocer rápidamente la tecnología o técnica aplicada para el diseño de la medida de control ambiental.

Descripción Cuantitativa: Descripción breve y medición de componentes físicos de la medida de control ambiental, se deberá enlistar cada uno de los componentes físicos. Se deberá enlistar cada uno de los componentes con sus dimensiones y características cuantitativas.

Responsable: Persona encargada o responsable de la implementación de las medidas dentro de la administración estructural del proyecto.

Costo: Se refiere al costo de la realización, construcción y operación de las medidas de control.

TABLA 35

SIMBOLOGÍA DE PLAN DE MEJORA AMBIENTAL PARA LA ETAPA DE OPERACIÓN Y CIERRE DEL PROYECTO.

Simbología	
Etapa de Operación	
Etapa de Cierre	

TABLA 36

PROGRAMA DE MEDIDAS DE CONTROL AMBIENTAL EN LA ETAPA DE OPERACIÓN.

Tipología	Medida de Control Ambiental – social (MCA)	Ubicación específica	Temporalidad	Descripción Cualitativa	Descripción Cuantitativa	Responsable	Costo Estimado
Prevención	Cumplimiento de la norma técnica nacional para descarga de aguas residuales	Efluente de la PTAR	Semestral	Evita la contaminación del cuerpo receptor	Cumplimiento de parámetros: DBO, DQO, SST, coliformes	Aguas de Marcala	L 20,000 anuales
Prevención	Revisión técnica preventiva de equipos y componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales	Área de la Planta de Tratamiento con sus elementos y equipos.	Trimestral	Evita fallos operativos y emisiones accidentales.	4 mantenimientos por año	Aguas de Marcala	L 12,000 anuales
Prevención	Recolección adecuada de desechos	Área operativa de la PTAR	Permanente	Evita contaminación	1 recipiente por estación de trabajo	Aguas de Marcala	L 5,000 anuales

Tipología	Medida de Control Ambiental – social (MCA)	Ubicación específica	Temporalidad	Descripción Cualitativa	Descripción Cuantitativa	Responsable	Costo Estimado
	sólidos del personal de mantenimiento			y acumulación de basura			
Prevención	Capacitación periódica al personal técnico en limpieza y operación	Planta completa	Anual	Mejora el funcionamiento técnico y previene fallos	1 capacitación anual documentada	Municipalidad / Universidades / SERNA	L 15,000 anuales
Prevención	Vigilancia del cercado para evitar ingreso de animales o personas	Toda la planta	Permanente	Seguridad y control de intrusos	Inspección quincenal de cercado	Aguas de Marcala	L 3,000 anuales
Prevención	Implementación del manual de operación y mantenimiento	Toda la planta	Inicio del proyecto y actualizaciones	Estandariza procedimientos y mejora gestión	1 documento validado y disponible	Aguas de Marcala / SERNA	L 7,000
Prevención	Implementación del manual de operación y mantenimiento	Toda la planta	Actualizaciones de la planta de tratamiento	Estandariza procedimientos y mejora gestión	1 documento validado y disponible	Aguas de Marcala / SANAA	L 7,000
Prevención	Prevención de mezcla de aguas	Sistemas de captación pluvial	Durante lluvias	Evita sobrecarga y	Separación física y drenaje adecuado	Operador	L 5,000 iniciales + mantenimiento

Tipología	Medida de Control Ambiental – social (MCA)	Ubicación específica	Temporalidad	Descripción Cualitativa	Descripción Cuantitativa	Responsable	Costo Estimado
	lluvias con aguas residuales			alteración del tratamiento			
Mitigación	Implementación de barreras vegetales contra el polvo y ruido	Perímetro de la planta	Inicio y mantenimiento semestral	Disminución de la dispersión de partículas y contaminación acústica.	Instalación de 100 m de setos vivos	Municipalidad / Operador	L 8,000
Mitigación	Implementación de cortinas vegetales para control de olores y paisaje	Perímetro de la Planta	Inicio y mantenimiento semestral	Reducción de olores y mejora visual	Plantación de 150 m lineales de seto doble	Municipalidad / MAMCEPAZ	L 12,000
Mitigación	Control y disposición adecuada de lodos en sitio autorizado	Lechos de secado	Cada 4 semanas	Previene proliferación de vectores y contaminación	Secado mínimo de 6 semanas antes de disposición	Municipalidad / UMA	L 10,000 por ciclo
Mitigación	Manejo y limpieza de materiales flotantes y sólidos en tanques	Tanques y canales de salida	Semanal	Evita obstrucciones y mejora eficiencia	Limpieza programada cada 7 días	Aguas de Marcala	L 8,000 anuales

Tipología	Medida de Control Ambiental – social (MCA)	Ubicación específica	Temporalidad	Descripción Cualitativa	Descripción Cuantitativa	Responsable	Costo Estimado
Corrección	Monitoreo semestral de calidad de aguas del cuerpo receptor	Río aguas arriba y aguas abajo	Semestral	Verifica eficiencia del sistema y cumplimiento de la norma	3 puntos de muestreo + análisis fisicoquímico	Aguas de Marcala / Laboratorio autorizado	L 25,000 anuales
Involucramiento social en la fase de operación							
Social / Participación	Creación de un comité comunitario de vigilancia ambiental	Zona de influencia directa	Durante la operación	Fortalece el control social y la rendición de cuentas	1 comité formado con representantes locales	Municipalidad / MAMCEPAZ	L 7,000
Educación	Talleres comunitarios de educación ambiental	Comunidades cercanas a la PTAR	Trimestral	Promueve conciencia ambiental y colaboración ciudadana	4 talleres al año con al menos 20 participantes cada uno	SERNA / MAMCEPAZ	L 10,000
Transparencia	Divulgación periódica de resultados de monitoreo	Centros comunales y redes sociales	Semestral	Aumenta la transparencia y la confianza comunitaria	2 informes por año presentados en asambleas locales	Aguas de Marcala / SERNA	L 3,000
Total							L 157,000

FUENTE 61 ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 37

PROGRAMA DE MEDIDAS DE CONTROL AMBIENTAL EN LA ETAPA DE CIERRE.

Tipología	Medida de Control Ambiental (MCA)	Ubicación específica	Temporalidad	Descripción Cualitativa	Descripción Cuantitativa	Responsable	Costo Estimado
Prevenición	Sellado de pozos, tanques y estructuras abiertas	Toda la PTAR	Durante el cierre	Evita accidentes y acumulación de agua	Sellado de al menos 5 estructuras	Aguas de Marcala	L 8,000
Prevenición	Implementación de señalización de cierre	Perímetro de la planta	Durante el cierre	Previene el ingreso no autorizado	Colocación de 5 señales visibles	Aguas de Marcala	L 2,500
Mitigación	Disposición final de lodos remanentes según normativa	Lechos de secado	Durante el cierre	Previene contaminación de suelo y aguas subterráneas	5 m ³ de lodos tratados y dispuestos	Municipalidad / UMA	L 10,000

Tipología	Medida de Control Ambiental (MCA)	Ubicación específica	Temporalidad	Descripción Cualitativa	Descripción Cuantitativa	Responsable	Costo Estimado
Mitigación	Retiro de residuos peligrosos y almacenamiento temporal	Áreas de mantenimiento y bodegas	Antes del cierre	Previene riesgos a la salud y al ambiente	3 tambores con residuos gestionados	Municipalidad / SERNA	L 6,000
Mitigación	Reubicación de materiales reutilizables	Áreas técnicas y almacenes	Durante el cierre	Aprovecha recursos y reduce residuos	10 equipos o materiales reutilizados	Operador	L 5,000
Corrección	Desmantelamiento controlado de estructuras obsoletas	Zona técnica de la PTAR	Durante el cierre	Evita riesgos estructurales y libera el terreno	Retiro de 100% de equipos no reutilizables	Municipalidad / Operador	L 30,000
Corrección	Limpieza y restauración de cauces afectados por escorrentía	Área de descarga al río Chusmuy	Durante eventos o al cierre	Recuperación de condiciones naturales del cauce	Intervención de 50 m lineales	Municipalidad / MAMCEPAZ	L 15,000

Tipología	Medida de Control Ambiental (MCA)	Ubicación específica	Temporalidad	Descripción Cualitativa	Descripción Cuantitativa	Responsable	Costo Estimado
Corrección	Limpieza profunda de tanques y canales	Reactores, sedimentadores y canales	Antes del abandono	Evita contaminación por residuos remanentes	Limpieza de al menos 3 estructuras clave	Aguas de Marcala	L 15,000
Corrección	Evaluación final de impacto ambiental del cierre	Área total de la PTAR	Posterior al cierre	Verifica cumplimiento de medidas del PMA	1 informe técnico presentado	SERNA / Consultor ambiental	L 18,000
Compensación	Restauración de cobertura vegetal	Zonas intervenidas	Después del cierre	Recupera la función ecológica del área	Plantación de 300 árboles nativos	Municipalidad / MAMCEPAZ	L 20,000
Compensación	Participación comunitaria en cierre y monitoreo	Zona de influencia	Durante y después del cierre	Fomenta transparencia y vigilancia social	2 reuniones comunitarias realizadas	Municipalidad / MAMCEPAZ	L 4,000
Involucramiento social en la fase de cierre/abandono							

Tipología	Medida de Control Ambiental (MCA)	Ubicación específica	Temporalidad	Descripción Cualitativa	Descripción Cuantitativa	Responsable	Costo Estimado
Consulta	Consulta comunitaria previa al cierre de la planta	Zona de influencia directa	1 mes antes del cierre	Incorpora la voz de la comunidad en decisiones finales	1 consulta pública documentada	Municipalidad / SERNA	L 5,000
Restauración participativa	Programa de voluntariado para reforestación	Áreas degradadas por la PTAR	Durante el cierre	Involucra a la comunidad en acciones de restauración ambiental	30 voluntarios en jornada de plantación	Municipalidad / MAMCEPAZ/ ONGs	L 4,000
Rendición de cuentas	Entrega de informe de cierre a la comunidad	Centro comunal	Al finalizar el cierre	Brinda transparencia sobre acciones realizadas y resultados	1 informe público entregado y socializado	Aguas de Marcala / SERNA	L 2,000
						Total	L 144,500

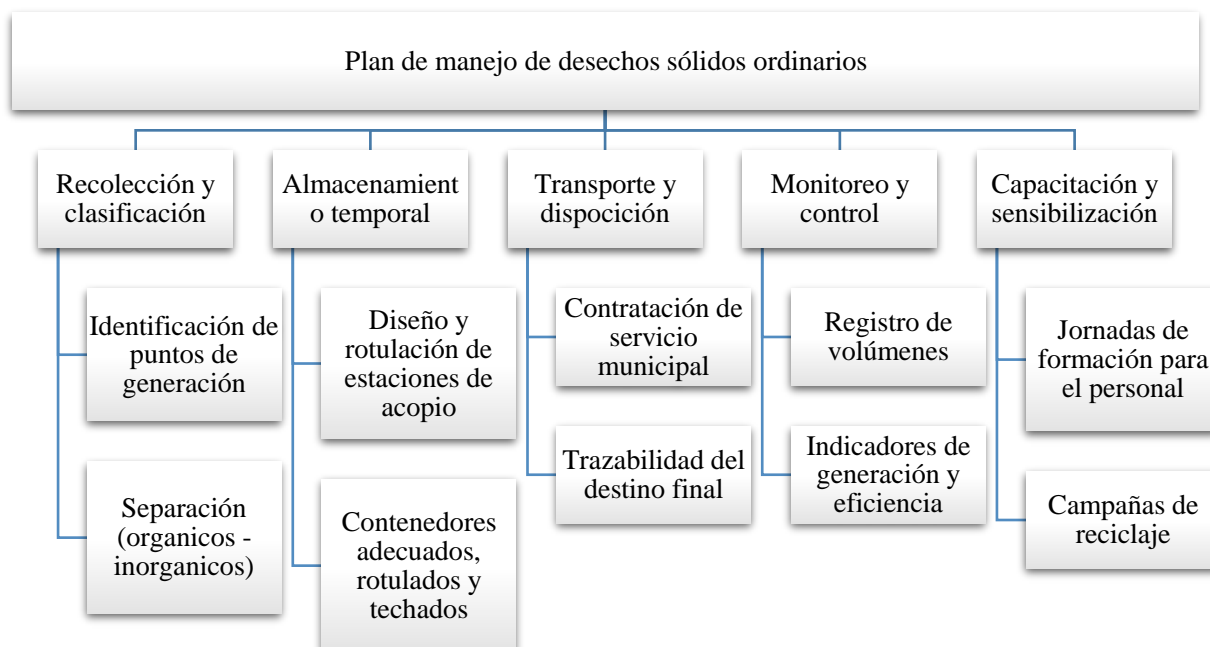
7.6. Planes de manejo específicos

7.6.1. Plan de Manejo de Desechos Sólidos Ordinarios

Este plan determina los procedimientos para la recolección, clasificación, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos no peligrosos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala (por ejemplo, basura del cribado, material vegetal, papel, etc.).

ILUSTRACIÓN 29

ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS ORDINARIOS



FUENTE 63 ELABORACIÓN PROPIA.

7.6.2. Plan de Manejo de Desechos Sólidos tóxicos y peligrosos

El plan de manejo de desechos sólidos tóxicos y peligrosos, determina las acciones necesarias para la manipulación segura, almacenamiento y disposición final de residuos peligrosos como aceites usados, trapos contaminados, filtros, solventes, entre otros.

ILUSTRACIÓN 30

ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS TÓXICOS Y PELIGROSOS



FUENTE 64 ELABORACIÓN PROPIA.

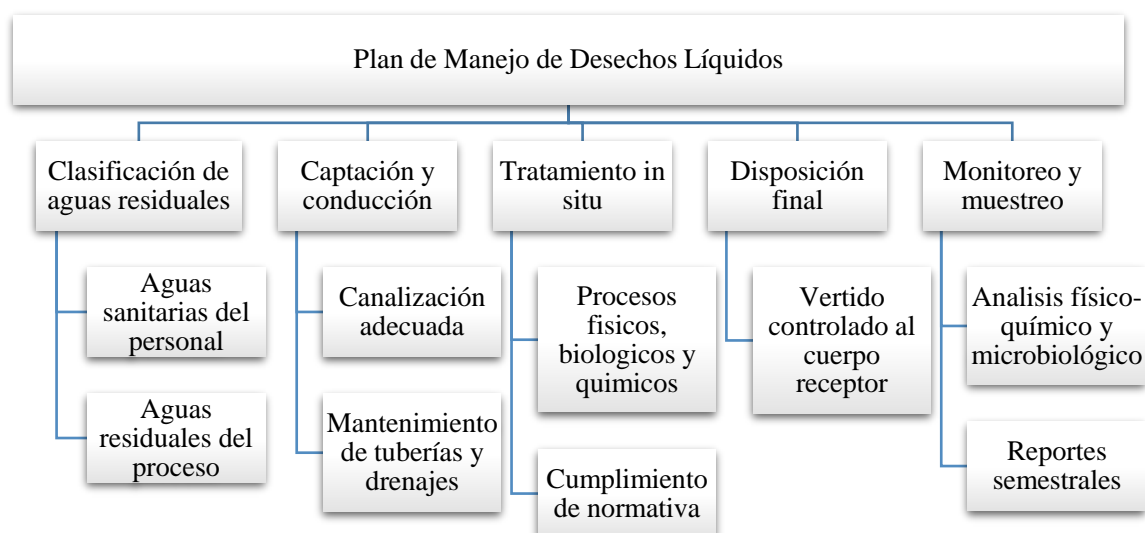
7.6.3. Plan de Manejo de Desechos Líquidos

Este plan tiene el propósito de regular el tratamiento, control y disposición de los líquidos residuales generados en la operación y mantenimiento de la planta, incluyendo el manejo de aguas residuales, lixiviados y aguas de limpieza.

ILUSTRACIÓN 31

ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO PARA EL PLAN DE MANEJO DE DESECHOS

LÍQUIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



FUENTE 65 ELABORACIÓN PROPIA.

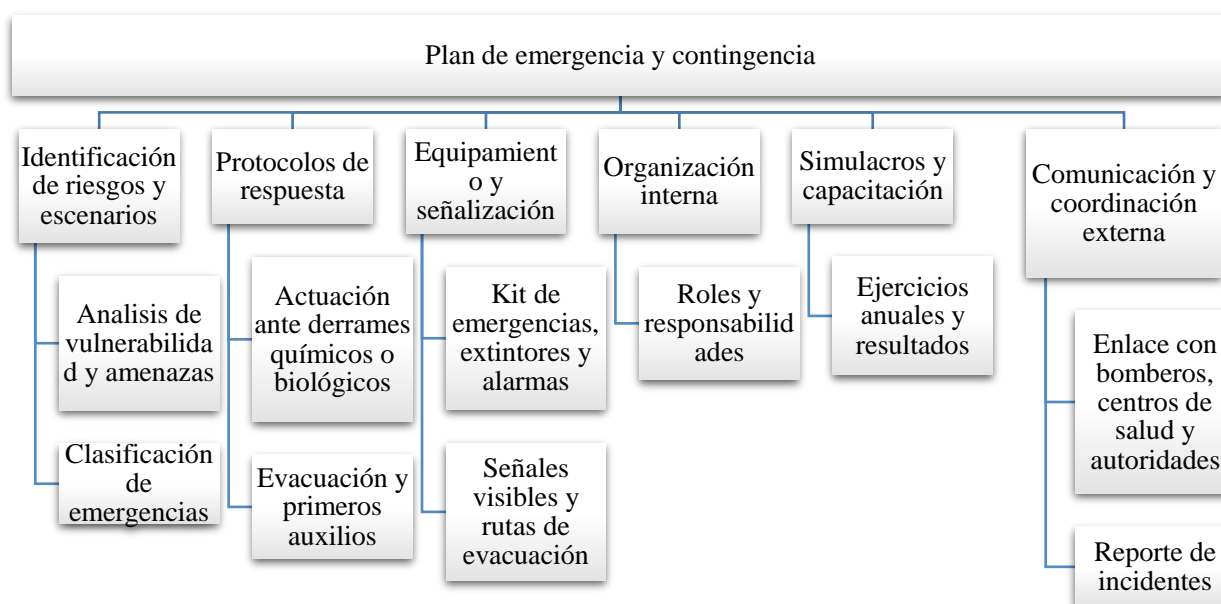
7.6.4. Plan de emergencia y contingencia

Este plan establece el conjunto de acciones preventivas y reactivas ante eventos no deseados que puedan poner en riesgo a la salud humana, el ambiente o la

infraestructura de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala (derrames, incendios, fallas eléctricas, inundaciones).

ILUSTRACIÓN 32

ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO PARA EL PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA



FUENTE 66 ELABORACIÓN PROPIA.

7.6.5. Monitoreo y evaluación interna de implementación de la propuesta de plan de mejora ambiental y de los planes de manejo

Este apartado determina los mecanismos propuestos mediante los cuales se verificará, de forma sistemática y continua, el cumplimiento efectivo de las acciones contempladas en el Plan de Mejora Ambiental (PMA) que sido propuesto y en los planes de manejo específicos implementados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala en base a criterio técnico.

El objetivo del monitoreo y la evaluación interna es asegurar la eficacia ambiental de las medidas adoptadas, así como detectar de forma oportuna los incumplimientos o áreas de mejora. Además, proporciona insumos clave para la toma de decisiones, los procesos de auditoría ambiental y la participación ciudadana informada.

Por lo tanto, para efectos de esta tesis se proponen los siguientes indicadores clave:

TABLA 38

INDICADORES DE MONITOREO DEL PLAN DE MEJORA AMBIENTA PROPUESTO

Actividad Monitoreada	Indicador	Frecuencia	Responsable
Cumplimiento de medidas de mitigación	Porcentaje de acciones ejecutadas vs planificadas	Mensual	Operador PTAR / UMA
Manejo de residuos sólidos ordinarios	Volumen de residuos dispuestos correctamente (kg/mes)	Mensual	Operador PTAR
Disposición de residuos peligrosos	Número de entregas a empresa autorizada con acta de recepción	Trimestral	UMA / SERNA

Actividad Monitoreada	Indicador	Frecuencia	Responsable
Calidad del efluente tratado	DBO, DQO, SST, coliformes (mg/L o NMP)	Semestral	Laboratorio autorizado / Aguas de Marcala
Reforestación ejecutada	Cantidad de árboles plantados vs programados	Semestral	Municipalidad / MAMCEPAZ
Capacitaciones ambientales	Número de jornadas realizadas y participantes	Trimestral	Municipalidad / Operador
Implementación del plan de emergencia	Número de simulacros realizados y tiempo de respuesta	Anual	Operador PTAR
Divulgación comunitaria	Cantidad de reportes presentados a la comunidad	Semestral	Municipalidad / MAMCEPAZ
Limpieza de canales y tanques	Frecuencia y volumen de limpieza ejecutada	Mensual	Operador PTAR

Actividad	Indicador	Frecuencia	Responsable
Monitoreada			
Actualización del Plan de Mejora Ambiental	Número de actualizaciones técnicas realizadas	Anual	UMA / Consultor ambiental

FUENTE 67 ELABORACIÓN PROPIA.

7.6.6. Análisis Costo-Beneficio

El análisis de la relación costo-beneficio del Plan de Mejora Ambiental en fase operativa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala ha permitido determinar la viabilidad económica y estratégica de su implementación. El plan contempla un total de 16 medidas de control ambiental y social, clasificadas en tipologías de prevención, mitigación, corrección e involucramiento social, con una proyección de ejecución en un horizonte de tres años.

El costo total estimado anual de las medidas asciende a L157,000.00, acumulando una inversión de L471,000.00 para el periodo 2025–2027 (Anexo 8). Esta inversión incluye acciones clave como el cumplimiento de la norma técnica nacional para descargas de efluentes, mantenimiento preventivo de equipos, control de lodos, capacitación técnica, participación comunitaria, monitoreo de calidad de agua y educación ambiental.

Al aplicar una tasa de descuento del 10 %, se estimó un Valor Presente Neto (VPN) total de L390,435.76, lo que representa el valor actual de los beneficios proyectados durante el periodo de análisis. La relación beneficio/costo resulta positiva,

indicando que por cada lempira invertido se generan beneficios ambientales, sociales e institucionales relevantes. Las medidas con mayor impacto económico, como el monitoreo semestral del cuerpo receptor (VPN: L62,171.30) y las capacitaciones técnicas (VPN: L37,302.78), se justifican por su contribución al cumplimiento normativo, a la eficiencia operativa y a la sostenibilidad del sistema.

La consistencia de los beneficios anuales y la distribución equilibrada de los costos entre diferentes áreas de intervención refuerzan la pertinencia del plan. Adicionalmente, la inversión en medidas de educación ambiental, transparencia y vigilancia comunitaria (VPN conjunto superior a L49,000.00) fortalece la gobernanza ambiental y promueve la participación ciudadana en la gestión del saneamiento.

El Plan de Mejora Ambiental en operación de la planta de tratamiento de aguas residuales presenta una relación costo-beneficio favorable y sostenible. Sus beneficios superan ampliamente los costos directos de implementación, respaldando su ejecución desde un enfoque técnico, económico y social. Este análisis contribuye a sustentar la priorización presupuestaria, el diseño de políticas públicas locales y la toma de decisiones para la mejora continua del sistema de saneamiento en el municipio.

CAPITULO 8. CONCLUSIONES

Estado actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de

Marcala: El diagnóstico técnico permitió constatar que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala opera con múltiples deficiencias estructurales, operativas y de gestión, que comprometen su eficiencia y sostenibilidad. Se evidenció deterioro en varias unidades del sistema, incluyendo la caja distribuidora, el desarenador, el Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA), el filtro percolador, el sedimentador secundario y la unidad de desinfección, muchas de las cuales operan fuera de su capacidad o están inactivas. La falta de mantenimiento adecuado, ausencia de protocolos formales, y deficiencias en la medición de caudales reflejan una gestión insuficiente del sistema. Estos hallazgos coinciden con estudios regionales que indican que los problemas observados son comunes en plantas similares, evidenciando una necesidad urgente de fortalecimiento institucional y técnico en el manejo de plantas de tratamiento.

Parámetros fisicoquímicos y biológicos del efluente y su cumplimiento

normativo: Las muestras de agua tomadas del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) indicaron cumplimiento con los límites permisibles de DBO₅, DQO y SST establecidos en la normativa hondureña. Sin embargo, el aumento de estos parámetros aguas abajo y el incumplimiento en el control microbiológico, particularmente de coliformes fecales, evidencian que la eficiencia del tratamiento no es óptima. Además, se identificaron fuentes adicionales de descarga sin tratamiento (como el rastro municipal y la red baja del alcantarillado) que deterioran la calidad del cuerpo receptor. Estos resultados son consistentes con otros estudios, que demuestran que el

cumplimiento normativo no siempre garantiza la protección efectiva del ambiente acuático.

Impacto de los efluentes en el cuerpo receptor (Río Chusmuy): A través de este estudio se comprobó que los efluentes descargados por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) generan un impacto en la calidad del agua del río Chusmuy, reflejado en el incremento significativo de parámetros como la DBO₅ y la DQO aguas abajo de la descarga. Este deterioro se agrava con vertidos no tratados provenientes de otras fuentes urbanas y productivas, como el rastro municipal y beneficios de café. El impacto acumulativo sobre el cuerpo receptor puede comprometer su capacidad de autodepuración y la salud del ecosistema acuático. Estos resultados refuerzan la importancia de abordar de manera integral todas las fuentes de contaminación, no solo la planta de tratamiento, mediante mecanismos de control, monitoreo y regulación efectiva.

Uso de herramientas de gestión de proyectos para mejorar la planificación y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Marcala, La Paz: La integración de herramientas de gestión de proyectos, especialmente aquellas propuestas por la Guía del PMBOK, demostró ser efectiva para estructurar de manera lógica y estratégica las acciones de mejora ambiental. El uso de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como herramienta técnica y de gestión, junto con la elaboración de la Estructura de Desglose Trabajo (EDT), análisis de interesados y matrices de riesgos, permitió optimizar la identificación de impactos y priorizar medidas de mitigación y seguimiento. Se concluye que la combinación de la EIA con enfoques de gestión de proyectos refuerza la planificación y la toma de decisiones en plantas de

tratamiento, contribuyendo a una gestión más eficiente, participativa y sostenible del saneamiento en contextos municipales como el de Marcala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

: Rodríguez, D. J., Serrano, H. A., Delgado, A., & Nolasco, D. y. (2020). De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe. *De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe*. Washington, DC, USA: Banco Mundial. Recuperado el marzo de 2025, de <http://www.worldbank.org/>

Acosta Faneite, S. F. (2023). Los enfoques de investigación en las Ciencias Sociales. *Los enfoques de investigación en las Ciencias Sociales*, 3, 82-95. Maracaibo, Venezuela: Revista Latinoamericana Ogmios Revista de Investigación en Ciencias Sociales. doi:<https://doi.org/10.53595/rlo.v3.i8.084>

Astorga Gättgens, A. (2009). Manual de evaluación y control ambiental: Manual técnico del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. *Manual de evaluación y control ambiental: Manual técnico del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental*. Honduras: Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA).

BID y LIS-water. (diciembre de 2022). Evaluación y elaboración de hoja de ruta para ERSAPS. *Evaluación y elaboración de hoja de ruta para ERSAPS*. Lisboa: ERSAPS. Obtenido de https://www.ersaps.hn/documentos/Plan%20Fortalecimiento/Informe_RegWAS_Honduras_versi%C3%B3n_ejecutiva_final.pdf

- Campos, R. (2005). Evaluación de la operación, mantenimiento y mejoramiento de 12 plantas de tratamiento de aguas residuales en Guatemala, El Salvador y Honduras. *Evaluación de la operación, mantenimiento y mejoramiento de 12 plantas de tratamiento de aguas residuales en Guatemala, El Salvador y Honduras*. CATIE. Obtenido de https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1945/Evaluacion_de_la_operacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Canter, L. (1982). Environmental impact assessment. *Impact assessment, 1*, 6-40.
doi:<https://doi.org/10.1080/07349165.1982.9725447>
- Ceja, Z. T. (enero de 2019). Tratamiento de aguas residuales. *Tratamiento de aguas residuales, 028*. Ciudad de Mexico, Mexico: INCYTU. Recuperado el 2024, de https://foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf
- COMSA. (septiembre de 2022). Diagnóstico ambiental y biodiversidad COMSA. *Diagnóstico ambiental y biodiversidad COMSA*. COMSA.
- Congreso Nacional. (14 de diciembre de 2009). Ley General de Aguas. *Ley General de Aguas*. Tegucigalpa, Honduras: La Gaceta. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/ley-general-de-aguas-2009.pdf
- CRS. (2024). Planteamiento del Problema de Saneamiento. *Planteamiento del Problema de Saneamiento*. Honduras.

Díaz, K., & Murillo, M. (Octubre de 2022). Contaminación por aguas residuales en la Cuenca del Río Chamelecón. *Contaminación por aguas residuales en la Cuenca del Río Chamelecón*. Tegucigalpa, Honduras: ResearchGate.

Echeverría Melendez, A. (Noviembre de 2014). Diagnóstico del Sector Agua y Saneamiento Municipio de Marcala, La Paz. *IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO PARTICIPATIVO DE FORMULACIÓN Y SOCIALIZACIÓN DE POLÍTICAS MUNICIPALES EN AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN LOS MUNICIPIOS DE MARCALA Y SANTA MARIA DEPARTAMENTO DE LA PAZ ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO FHIS-PIR*. Honduras: CONASA. Obtenido de https://conasa.hn/wp-content/uploads/2017/04/DA-MARCALA-LA-PAZ.pdf?utm_source=chatgpt.com

EPA. (septiembre de 1999). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con cloro. *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con cloro(832-F-99-062)*. Washington, D.C., United States: Environmental Protection Agency (EPA). Recuperado el 2024, de <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/cs-99-062.pdf>

Escobar Gordillo, M. J. (2022). Elaboración del diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de las veredas: Rionegro, Media Naranja y Chicharronal, municipio de Corinto (Cauca). *Elaboración del diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de las veredas: Rionegro, Media Naranja y Chicharronal, municipio de Corinto (Cauca)*. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD - CEAD Palmira. Obtenido de

<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/48945/1/MiguelJavierEscobarGordillo.pdf>

Espinoza Freire, E. E. (2018). La hipótesis en la investigación. *La hipótesis en la investigación*, 16, 1, 122-139. Ecuador: Revista Mendive. Recuperado el Marzo de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-76962018000100122&lng=es&tlng=es

FAO. (1969). Los suelos de Honduras. *Los suelos de Honduras*. Honduras: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Fiallos, C. (2025). Número de conexiones registrados en en alcantarillado sanitario de Marcala. (G. d. Marcala, Ed.) La Paz, Honduras: Aguas de Marcala.

Filipenco, D. (21 de Abril de 2025). Water pollution in the world: major causes and statistics. *Water pollution in the world: major causes and statistics*. DevelopmentAid. Obtenido de <https://www.developmentaid.org/news-stream/post/152754/>

FOCARD-APS. (2013). Gestión de las Excretas y Aguas Residuales: Situación Actual y Perspectivas Honduras. *Gestión de las Excretas y Aguas Residuales: Situación Actual y Perspectivas Honduras*, 7. Honduras: CONASA. Recuperado el 8 de septiembre de 2024

Fuentes Peducasse, M. A. (1995). EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE LA AGROINDUSTRIA PECUARIA DE ZAMORANO . *EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE LA AGROINDUSTRIA PECUARIA DE ZAMORANO* . Honduras: Escuela Agricola Panamericana Zamorazo.

- FUNCAGUA. (arzo de 2013). Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en Centroamérica y República Dominicana: Diagnóstico Regional. *Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en Centroamérica y República Dominicana: Diagnóstico Regional*. FUNCAGUA. Obtenido de https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/05/2013.-Gesti%C3%B3n-de-las-Excretas-y-aguas-residuales-en-Centroam%C3%A9rica-y-Rep%C3%BAblica-Dominicana.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Gardner, J. (2021). A brief history of wastewater treatment. *A brief history of wastewater treatment*. Nyruralwater.org. Recuperado el 2024, de https://www.nyruralwater.org/sites/default/files/Gardner_Winter_2021-BriefHistoryWasteWater-Treatment.pdf
- Garrote, P. R., & Rojas, M. d. (14 de Febrero de 2015). *La Validación Por Juicio de Expertos: Dos Investigaciones Cualitativas en Lingüística Aplicada*. Obtenido de <https://www.nebrija.com/revista-linguistica/la-validacion-por-juicio-de-expertos-dos-investigaciones-cualitativas-en-linguistica-aplicada.html>
- Glasson, J., Therivel, R., & Chadwick, A. (2012). Introduction to Environmental Impact Assessment. *Introduction to Environmental Impact Assessment*, 4, 4-27. Routledge.
- Gómez Orea, D., & Gómez Villarino, M. (2013). Evaluación de impacto ambiental. *Evaluación de impacto ambiental*, 155. Madrid, España: Ediciones Mundiprensa. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9VOuAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=impacto+ambiental&ots=PR5atRqBpf&sig=HdHlbTcSF_CmOogfQ9A0SYH9DY0#v=onepage&q=impacto%20ambiental&f=false

- Halder, G., Bearman, G., Sanogo, K., & Stevens, M. (s.f.). Water sanitation, access, use and self-reported diarrheal disease in rural Honduras. *Water sanitation, access, use and self-reported diarrheal disease in rural Honduras*, 13. Rural and Remote Health. doi:<https://doi.org/10.22605/RRH2413>
- Henry, J. G. (1999). Principios para el tratamiento de aguas residuales. En J. G. Henry, & G. W. Heinke, *Ingeniería Ambiental* (págs. 440-450). Mexico: Practice Hall.
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Mexico: Practice Hall Hispanoamericana. S.A.
- Hernández Mendoza, S., & Duana Avila, D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*, 9, 17, 51-53. Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA. doi:<https://doi.org/10.29057/icea.v9i17.6019>
- Hernandez Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. *Metodología de la Investigación*, 6ta Edición, 40-44. Mexico D.F., Mexico: McGRAW-HILL/ INTERAMERICANA S.A. DE C.V. Recuperado el 2024
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). Metodología de la Investigación Sexta Edición. *Metodología de la Investigación Sexta Edición*, Sexta Edición. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Herrera, C., & Peralta, I. (Marzo de 2024). INFORME - DIAGNOSTICO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE MÁRCALA, DEPARTAMENTO DE LA PAZ. *INFORME - DIAGNOSTICO*

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE MÁRCALA, DEPARTAMENTO DE LA PAZ. Tegucigalpa, Honduras: SANAA.

Hreiz, R., Latifi, M., & Roche, N. (December de 2015). Optimal design and operation of activated sludge processes: State-of-the-art. *Optimal design and operation of activated sludge processes: State-of-the-art*, 281, 900-920. Chemical Engineering Journal. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.125>

INE. (2018). Perfil sociodemográfico de Marcala, La Paz. *Perfil sociodemográfico de Marcala, La Paz*. Instituto Nacional de Estadística (INE). Obtenido de <https://temp.ine.gob.hn/wp-content/uploads/2025/02/Marcala-La-Paz-2018.pdf>

Instituto del Agua. (19 de enero de 2024). Antecedentes Tratamiento de Aguas Residuales: Historia y Evolución Crucial para Nuestro Medio Ambiente. *Antecedentes Tratamiento de Aguas Residuales: Historia y Evolución Crucial para Nuestro Medio Ambiente*. Instituto del Agua. Recuperado el septiembre de 2024, de <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/antecedentes-tratamiento-de-aguas-residualesaguas-residuales/>

Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible. (mayo de 2016). Manual de Capacitación sobre la Evaluación del Impacto Ambiental. *Manual de Capacitación sobre la Evaluación del Impacto Ambiental*. Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IISD). Obtenido de <https://www.iisd.org/learning/eia/es/wp-content/uploads/2016/06/ES-EIA-Manual.pdf>

- JMP. (2022). Datos de hogares por nivel de servicio. *Datos de hogares por nivel de servicio*. WHO UNICEF. Recuperado el 9 de septiembre de 2024, de <https://washdata.org/data/household#!/table?geo0=country&geo1=HND>
- Juan Pérez, J. I. (2017). Identificación y evaluación de impactos ambientales en el Campus Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec, Toluca México. *Identificación y evaluación de impactos ambientales en el Campus Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec, Toluca México*, 27(3), 36-56. Mexico: Acta Universitaria. doi:10.15174/au.2017.1249
- Legislativo, P. (8 de octubre de 2003). LEY MARCO DEL SECTOR AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO. *LEY MARCO DEL SECTOR AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO*. Honduras: La Gaceta. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1Y4C4g145cCMoAUQkY8Vgazl0qJgmqTKo/view>
- Martínez, O., Fiallos, D., Obando, D., & Uclés, M. (2021). Plan Municipal de Adaptación al Cambio Climático del Municipio de Marcala, La Paz-Honduras 2021-2026. *Plan Municipal de Adaptación al Cambio Climático del Municipio de Marcala, La Paz-Honduras 2021-2026*. Obtenido de <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/e6ac403a-b587-4194-97e9-2eb120b168aa/content>
- Molina Bravo, E. (Agosto de 2014). Estudio de Impacto Ambiental: Planta de tratamiento de la Comuna Valdivia. Gobierno Autonomo Descentralizado del Cantón Santa Elena. Obtenido de <https://maesantaelena.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/11/eia-planta-de-tratamiento-comuna-valdivia.pdf>

Mora-Aparicio, C., Alfaro-Chinchilla, C., Pérez-Molina, J. P., & Vega-Guzmán, I. (2022). Aporte ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos. *Aporte ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos*, 36, 511-527. Uniciencia. doi:<https://dx.doi.org/10.15359/ru.36-1.33>

MORALES RAMÍREZ, D., & ROUX RODRÍGUEZ, R. (enero de 2015). ESTUDIO DE IMPACTO SOCIAL: ANTECEDENTES Y LÍNEA BASE PARA SAN FERNANDO, TAMAULIPAS. *ESTUDIO DE IMPACTO SOCIAL: ANTECEDENTES Y LÍNEA BASE PARA SAN FERNANDO, TAMAULIPAS*, XXV, 111-130. Ciudad Victoria, Mexico: Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM.

Municipalidad de Marcala, La Paz. (2015). Plan de Desarrollo Municipal 2016-2021: Marcala, La Paz, Honduras. *Plan de Desarrollo Municipal 2016-2021: Marcala, La Paz, Honduras*. Mancomunidad de Municipios Lencas de La Sierra de La Paz (MAMLESIP).

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2019). Marcala, La Paz: Perfil sociodemográfico municipal 2018. *Marcala, La Paz: Perfil sociodemográfico municipal 2018*. Tegucigalpa, Francisco Morazán, Honduras : Instituto Nacional de Estadística (INE). Obtenido de <https://temp.ine.gob.hn/wp-content/uploads/2025/02/Marcala-La-Paz-2018.pdf>

Oakley, S. M. (junio de 2011). Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica: Un manual de experiencias, diseño, operación y sostenibilidad.

Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica: Un manual de experiencias, diseño, operación y sostenibilidad. USAID/ CCAD.

Obando Hernández, M. J., & Gallegos Lozano, J. C. (2025). Análisis del índice de calidad del agua del Río Guacerique, ubicado en Tegucigalpa, Honduras. *Análisis del índice de calidad del agua del Río Guacerique, ubicado en Tegucigalpa, Honduras.* Repositorio Institucional UNITEC. Obtenido de <https://repositorio.unitec.edu/handle/123456789/13285>

Ortiz B., P. E. (septiembre de 2020). Introducción al tratamiento de Aguas Residuales. *Introducción al tratamiento de Aguas Residuales.* Honduras: CONASA/SANAA.

Ortiz B., P. E. (septiembre de 2020). Introducción al tratamiento de las Aguas Residuales. *Introducción al tratamiento de las Aguas Residuales.* Honduras: CONASA/SANAA.

Pan American Health Organization (PAHO). (2022). Health in the Americas 2022: Regional Outlook and Country Profiles. *Health in the Americas 2022: Regional Outlook and Country Profiles.* Pan American Health Organization (PAHO). Obtenido de <https://iris.paho.org/handle/10665.2/57185>

Perevochtchikova, M. (enero de 2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales*, 22, 2, 283–312. Ciudad de Mexico, Mexico: Gestión y política pública. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001

Plazas, J., Lema, A., & Leon, J. (2009). UNA PROPUESTA ESTADÍSTICA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO. *Scielo*, 62(1). Recuperado el 2024, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a19v62n1.pdf>

PNUD, & SERNA. (2001). Especies de preocupación especial de Honduras. *Especies de preocupación especial de Honduras*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) & Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). Obtenido de https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/hn/Especies_Preocupacion_Especial_Honduras.pdf?utm_source=chatgpt.com

Poder Legislativo. (3 de febrero de 2024). REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY MARCO DEL SECTOR AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO. *REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY MARCO DEL SECTOR AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO*. Tegucigalpa, Honduras: La Gaceta.

Ponce de Montoya, B. (Septiembre de 2008). Análisis de la contaminación del Río Choluteca y sus efectos sobre la población a su paso por Tegucigalpa. *Análisis de la contaminación del Río Choluteca y sus efectos sobre la población a su paso por Tegucigalpa*. Revista Ciencia y Tecnología.

Proceso Digital. (7 de agosto de 2015). Inaugura sistema de alcantarillado y saneamiento de agua en Marcala, La Paz. *Inaugura sistema de alcantarillado y saneamiento de agua en Marcala, La Paz*. Revista Proceso Digital. Obtenido de <https://proceso.hn/nicaragua-se-ubica-en-el-fondo-de-la-tabla-en-la-clasificacion-mundial-de-prensa-2025/>

Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (2024). Progresos en la proporción de los flujos de aguas residuales domésticas e industriales tratadas de manera adecuada. *Progresos en la proporción de los flujos de aguas residuales domésticas e industriales tratadas de manera adecuada*(CC BY-NC-SA 3.0 IGO.). Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS) 2024. Obtenido de https://www.unwater.org/sites/default/files/2025-02/SDG6_Indicator_Report_631_Progress-on-Wastewater-Treatment_2024_SP.pdf

Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (2024). Progresos en la proporción de los flujos de aguas residuales domésticas e industriales tratadas de manera adecuada. *Progresos en la proporción de los flujos de aguas residuales domésticas e industriales tratadas de manera adecuada*(CC BY-NC-SA 3.0 IGO). Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS) 2024. Obtenido de <http://apps.who.int/iris>

Project Management Institute. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. Project Management Institute. Obtenido de <https://www.pmi.org/standards/pmbok>

Real Academia Española. (2024). Calidad. *Calidad*, 23. Diccionario de la lengua española. Obtenido de <https://dle.rae.es/calidad?m=form>

- Rodríguez, D. J., Serrano, H. A., Delgado, A., & Nolasco, D. y. (2020). De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe . *De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe*. Washington, DC, USA: Banco Mundial. Obtenido de <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/4f1d1637-77ce-5814-a39a-320bebe96069/content>
- Rodriguez, D. J., Serrano, H. A., Delgado, A., Nolasco, D., & Saltiel, G. (2020). From Waste to Resource: Shifting paradigms for smarter wastewater interventions in Latin America and the Caribbean. *From Waste to Resource: Shifting paradigms for smarter wastewater interventions in Latin America and the Caribbean*. DC, Washington, United States: World Bank.
- Rodriguez, E. (septiembre de 2025). Resultados de Encuesta de Saneamiento en el Casco Urbano de Marcala. *Resultados de Encuesta de Saneamiento en el Casco Urbano de Marcala*. Marcala, La Paz, Honduras: Unidad Técnica Municipal de Agua y Saneamiento de la Alcaldía Municipal de Marcala.
- Rodriguez, E. (Febrero de 2025). Situación de Saneamiento en el municipio de Marcala en el departamento de La Paz. (A. Galeas, Entrevistador)
- Rodriguez, M. (2001). Los Sistemas de Información Geográfica: una herramienta de analisis en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA). *Los Sistemas de Información Geográfica: una herramienta de analisis en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA)*, 1-34. Universidad de Alicante. Departamento de Sociología I y Teoría de La Educación.

- Rodríguez, S. (1 de Marzo de 2017). Tárcoles: El río más contaminado de Centroamérica. *Tárcoles: El río más contaminado de Centroamérica*. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA). Obtenido de <https://aida-americas.org/es/blog/tarcoles-el-rio-mas-contaminado-de-centroamerica>
- Rojas Benavides, A. (mayo-agosto de 2011). Calidad de vida, calidad ambiental y sustentabilidad como conceptos urbanos complementarios. *Calidad de vida, calidad ambiental y sustentabilidad como conceptos urbanos complementarios*, 21, 176-207. Mérida, Venezuela: Fementum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/705/70538663003.pdf>
- Ruiz Bolívar, C. (octubre de 2015). Instrumentos y Tecnicas de Investigación Educativa: Un Enfoque Cuantitativo y Cualitativo para la Recolección y Análisis de Datos. *Instrumentos y Tecnicas de Investigación Educativa: Un Enfoque Cuantitativo y Cualitativo para la Recolección y Análisis de Dato*. Texas, Estados Unidos: DANAGA Training and Consulting. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57894592/Instrumentos_y_Tecnicas_de_Investigacion_Educativa_-_Carlos_Ruiz-Bolivar-libre.pdf?1543619884=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DInstrumentos_y_Tecnicas_de_Investigacion.pdf&Expires=1743553064
- Sachs, J. D., Lafortune, G., & Grayson, F. (Jun de 2024). Sustainable Development Report 2024: Honduras country profile [Dashboard]. SDG Index & Dashboards. Dublin, Irland: Sustainable Development Solutions Network (SDSN). doi:<https://doi.org/10.25546/108572>

- Sachs, J., Lafortune, G., Kroll, C., & Woelm, F. (2022). Crisis to Sustainable Development: the SDGs as Roadmap to 2030 and Beyond. Sustainable Development Report 2022. *Crisis to Sustainable Development: the SDGs as Roadmap to 2030 and Beyond. Sustainable Development Report 2022.* Cambridge, United States: Cambridge University Press. Obtenido de <https://www.sustainabledevelopment.report/reports/sustainable-development-report-2022/>
- SANAA. (Marzo de 2024). Informe - Diagnostico: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Marcala, departamento de La Paz. *Informe - Diagnostico: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Marcala, departamento de La Paz.* Honduras: Dirección de Ingeniería SANAA.
- Sánchez, E. N. (2016). COMPENDIO DE LEGISLACION AMBIENTAL DE HONDURAS TOMO I. *COMPENDIO DE LEGISLACION AMBIENTAL DE HONDURAS TOMO I.* Honduras: Abogado Edwin Natanahel Sanchez Navas.
- Saza-Quintero, A.-F., Sierra-Barón, W., & Gómez-Acosta, A. (10 de Noviembre de 2021). Comportamiento proambiental y conocimiento ambiental en universitarios: ¿el área de conocimiento hace la diferencia? *Comportamiento proambiental y conocimiento ambiental en universitarios: ¿el área de conocimiento hace la diferencia?, 14, 1.* Medellín: CES Psicol .
doi:<https://doi.org/10.21615/cesp.14.1.6>
- Secretaría de Estado en los Despachos de Derechos Humanos. (2025). Marcala. *Marcala.* Observatorio de Derechos Humanos (ODH). Recuperado el Marzo de 2025, de <https://odh.sedh.gob.hn/category/view/71/marcala>

Secretaría de Recursos Naturales (SERNA). (10 de Mayo de 2021). Tabla de Categorización Ambiental. *Tabla de Categorización Ambiental*, 87. Tegucigalpa, Honduras: La Gaceta.

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). (14 de Septiembre de 2015). Reglamento del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SINEIA). *Reglamento del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SINEIA)*. Tegucigalpa M.D.C., Honduras: Tribunal Superior de Cuentas. Obtenido de https://www.tsc.gob.hn/web/leyes/Reglamento_sistema_nacional_de_evaluacion_impacto_ambiental.pdf

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. (13 de mayo de 2020). Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales. *Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales*, 3. Tegucigalpa, Honduras: La Gaceta. Obtenido de <https://www.cnpml-honduras.org/wp-content/uploads/2021/08/reglamento-de-Aguas-Residuales-1.pdf>

SERNA. (14 de septiembre de 2015). Reglamento del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. Tegucigalpa M.D.C., La Gaceta, Honduras. Recuperado el 2024, de https://www.tsc.gob.hn/web/leyes/Reglamento_sistema_nacional_de_evaluacion_impacto_ambiental.pdf

Servicio Autonomo Nacional de Acueductos y Alcantarilado (SANAA). (marzo de 2024). Informe - Diagnostico: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Marcala, departamento de La Paz. *Informe - Diagnostico: Planta de*

Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Marcala, departamento de La Paz. Honduras: Dirección de Ingeniería SANAA.

Sierra Ramirez, C. A. (2011). Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico. *Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico, 1*, 47. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=calidad+del+agua+definici%C3%B3n&ots=ceZNRjYOap&sig=oDHVBkxdWDieDdPW8xFKDd06Nn8#v=onepage&q=calidad%20del%20agua%20definici%C3%B3n&f=false>

The Nature Conservancy. (2025). Honduras - Contaminación de aguas residuales. The Nature Conservancy . Recuperado el Marzo de 2025, de https://reefresilience.org/es/case-studies/honduras-wastewater-pollution/?utm_source=chatgpt.com#

Tribunal Superior de Cuentas (TSC). (2016). Manual de la Unidad de Auditoría Interna Municipal de Marcala. *Manual de la Unidad de Auditoría Interna Municipal de Marcala*. Municipalidad de Marcala. Obtenido de <https://www.tsc.gob.hn/wp-content/uploads/03-2016-UAIM-MMLP-B-2.pdf>

UN Water. (25 de agosto de 2024). Progress on Wastewater Treatment – 2024 Update. *Progress on Wastewater Treatment – 2024 Update*. UN Water Website.

UNEP. (2002). Environmental impact assessment training resource manual. *Environmental impact assessment training resource manual, 2*. (B. Sadler, & M. McCabe, Edits.) Geneva, UK: United Nations Environment Programme. Obtenido de <https://digitallibrary.un.org/record/574137?v=pdf>

UNEP. (2016). A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment.

A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment, LI.

Nairobi, Kenya : United Nations Environment Programme. Recuperado el septiembre de 2024

UNIDAD DE AUDITORÍA INTERNA MUNICIPAL. (octubre de 2016). INFORME

N° 03-2016-UAIM-MMLP-A. *INFORME N° 03-2016-UAIM-MMLP-A*.

Marcala, La Paz, Honduras: UNIDAD DE AUDITORÍA INTERNA

MUNICIPAL DE MARCALA, LA PAZ. Obtenido de

<https://www.tsc.gob.hn/wp-content/uploads/03-2016-UAIM-MMLP-A-2.pdf>

United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO).

(2023). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: special focus on gender. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: special focus on gender*, 38-57. New York, USA:

United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization

(WHO). Obtenido de [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/jmp-2023_layout_v3launch_5july_low-reswhowebite.pdf?sfvrsn=c52136f5_3&download=true)

[documents/jmp-2023_layout_v3launch_5july_low-](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/jmp-2023_layout_v3launch_5july_low-reswhowebite.pdf?sfvrsn=c52136f5_3&download=true)

[reswhowebite.pdf?sfvrsn=c52136f5_3&download=true](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/jmp-2023_layout_v3launch_5july_low-reswhowebite.pdf?sfvrsn=c52136f5_3&download=true)

United Nations Water. (2023). Indicator 6.3.1: Proportion of wastewater safely treated.

Indicator 6.3.1: Proportion of wastewater safely treated. SDG 6 Data Portal.

Recuperado el 2025, de <https://sdg6data.org/en/indicator/6.3.1>

Universidad Nacional Autónoma de Honduras. (Noviembre de 2022). Perfil

Sociodemográfico de Marcala, La Paz 2022. *Perfil Sociodemográfico de*

Marcala, La Paz 2022. Tegucigalpa, Honduras: IIES-UNAH.

Vega Mora, L. (2013). Dimensión Ambiental, Desarrollo Sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Desarrollo. *Dimensión Ambiental, Desarrollo Sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Desarrollo*, 8. (M. M. (Eds.), Ed., & L. A. (LACCEI), Recopilador) Cacún, Mexico. Obtenido de <https://laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP256.pdf>

World Commission on Environment and Development. (1987). Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development [Brundtland Report]. *Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development [Brundtland Report]*. United Nations. Obtenido de <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>

World Health Organization. (2022). Drinking-water. *Drinking-water*. World Health Organization. Obtenido de <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/drinking-water>

World Population Review. (2024). Honduras Population (Live). *Honduras Population (Live)*. World Population Review. Recuperado el 9 de septiembre de 2024, de <https://worldpopulationreview.com/countries/honduras>

WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos)/ONU-Agua. (2018). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*, 16. Place de Fontenoy, Paris, Francia: UNESCO. Recuperado el septiembre de 2024

ANEXOS

ANEXO A. Formato de instrumentos de recolección de información

Formato de Lista de Chequeo

Lista de Chequeo para Recolección de Información – Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Nº	TEMA	DESCRIPCIÓN	¿INCLUIDO?	OBSERVACIONES
1	Información General del Proyecto	Verificar nombre del proyecto, ubicación, capacidad instalada de tratamiento (L/día), y año de inicio de operaciones.	[]	
2	Responsable Técnico del Proyecto	Identificar nombre, cargo, profesión, y datos de contacto del responsable técnico, así como el	[]	

	equipo técnico involucrado.	
3	Infraestructura y Tecnología	Revisar la [] descripción general del funcionamiento de la planta, flujograma, tipo de tratamiento y tecnologías utilizadas.
4	Maquinaria y Recursos Humanos	Confirmar el listado [] de maquinaria utilizada, tiempo de uso diario y el número total de trabajadores (directos e indirectos).
5	Manejo de Desechos	Verificar estimación [] de residuos sólidos y agua tratada generados por día/mes, manejo y

	disposición final de residuos y efluentes tratados.
6 Impactos Ambientales	Identificar si existen [] problemas relacionados con olores, ruidos o emisiones, y si se implementan programas de monitoreo y medidas de mitigación.
7 Seguridad y Amenazas Naturales	Confirmar la [] existencia de un plan de emergencia, amenazas naturales identificadas (inundaciones, sismos, etc.), y protocolos de actuación.

8	Relación con Comunidades Cercanas	Verificar si existen interacciones con las comunidades cercanas, registro de quejas y si se ha realizado consulta o participación pública.	[]
9	Normativas y Permisos	Confirmar si la planta cuenta con licencia ambiental vigente y si cumple con las normas nacionales de tratamiento de aguas residuales, desechos y emisiones.	[]
10	Planes de Mejora y Sostenibilidad	Verificar la existencia de planes para mejoras operativas, tecnológicas y necesidades de	[]

inversión o
capacitación.

*Formato de Consentimiento Informado***UNIVERSIDAD CATÓLICA DE HONDURAS****“Campus Sagrado Corazón de Jesús”****Descripción:**

Buen día. Soy estudiante de la Maestría en Gestión de Proyectos en la UNICAH. Con fines académicos y de forma confidencial, mediante el siguiente cuestionario, se pretende conocer el impacto ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala, La Paz. Se agradece su valiosa colaboración llenando, con sincera y precisa veracidad, las siguientes interrogantes.

Consentimiento informado:

Su participación en este grupo focal es voluntaria y usted puede decidir no responder alguna pregunta o retirarse en cualquier momento sin que esto le genere consecuencias. La información que usted proporcione será utilizada exclusivamente con fines de análisis en el marco de este estudio y sus respuestas se manejarán de forma anónima y confidencial.

Si está de acuerdo en participar en este grupo focal, por favor marque la siguiente opción:

Acepto participar de manera voluntaria en esta encuesta y comprendo que mis respuestas serán utilizadas únicamente con fines académicos.

Nombre:

Puesto:

Firma/ sello:

*Formato de Guía de Grupo Focal***Guía de Grupo Focal – Evaluación del Desempeño Ambiental de la PTAR de
Marcala**

Objetivo: Obtener una visión colectiva sobre el funcionamiento, sostenibilidad y desempeño ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales de Marcala, La Paz, con aportes técnicos, institucionales y comunitarios de actores clave.

Participantes:

- Técnico Eraldo Rodríguez – UTMAS
- Lic. Nain Melgar – Unidad Ambiental Municipal
- Ing. Harold Montoya – MAMCEPAZ
- Ing. Sarahí Morales – Water for People
- Otros actores relacionados con la operación, seguimiento y gestión del sistema

Moderador: Alice Galeas; Estudiante de la Maestría en gestión de proyectos

Duración estimada: 60 – 90 minutos

Fecha / Lugar: Municipalidad de Marcala

1. Introducción (10 min)

- Agradecimiento y bienvenida

- Presentación del objetivo del grupo focal
- Explicación de la dinámica (confidencialidad, interacción abierta, grabación si se autoriza)
- Ronda de presentación breve: nombre, cargo, institución, vínculo con la planta

2. Bloques temáticos y preguntas generadoras

I. Infraestructura y operación técnica de la planta

Enfoque desde la UTMAS y aspectos técnicos generales

1. ¿Cómo perciben el estado actual de la planta en términos de infraestructura y operación?
2. ¿Qué tipo de desafíos técnicos han observado (por ejemplo, manejo de lodos, energía, fallas de equipos, etc.)?
3. ¿Se están aplicando planes de mantenimiento preventivo y correctivo? ¿Cómo se gestionan?
4. ¿Se lleva un control técnico de caudales tratados o calidad de descarga? ¿Existe disponibilidad de datos?
5. ¿Consideran que el personal actual tiene las capacidades necesarias para operar la planta?

6. ¿Qué creen que se necesitaría para asegurar su funcionamiento sostenido en el tiempo?

II. Impacto ambiental y monitoreo

Enfoque desde la Unidad Ambiental Municipal y actores que monitorean o gestionan aspectos ambientales

1. ¿Qué tipo de monitoreo ambiental se realiza actualmente en relación con la planta?
2. ¿Cómo valoran el cumplimiento de la normativa ambiental en cuanto al tratamiento y descarga?
3. ¿Han identificado impactos ambientales en el entorno natural o social? ¿Cuáles?
4. ¿Qué tipo de denuncias o percepciones comunitarias han recibido sobre la operación de la planta?
5. ¿Qué rol juega cada institución en el seguimiento ambiental?
6. ¿Qué medidas de mejora o acciones correctivas consideran necesarias?

III. Gobernanza, sostenibilidad institucional y regional

Enfoque desde MAMCEPAZ y la articulación interinstitucional

1. ¿Qué tipo de apoyo técnico o institucional se está brindando desde entidades como MAMCEPAZ u otras?
2. ¿Cómo perciben la sostenibilidad financiera y operativa del sistema actual?

3. ¿Qué barreras institucionales o de gobernanza podrían estar limitando su buen funcionamiento?
4. ¿Existen planes de rehabilitación, ampliación o fortalecimiento de la planta a mediano o largo plazo?
5. ¿Qué lecciones aprendidas podrían aplicarse en otras experiencias regionales?

IV. Recomendaciones finales y perspectivas conjuntas

1. Desde su experiencia, ¿cuáles serían las prioridades más urgentes para mejorar el sistema?
2. ¿Qué acciones concretas recomiendan para asegurar su sostenibilidad técnica, ambiental e institucional?
3. ¿Qué rol debería tener la comunidad o sociedad civil en la gestión y vigilancia del sistema?
4. ¿Desean agregar algún otro comentario o recomendación que no se haya mencionado?

3. Cierre (5 min)

- Agradecimiento por la participación
- Recordatorio de cómo se usará la información recopilada
- Ofrecer resumen de resultados si los participantes lo solicitan

ANEXO B. Constancias de revisión de instrumentos de recolección de información por expertos.

Formato de Constancia de Revisión del Instrumento de Investigación

CONSTANCIA DE REVISIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. Datos del Revisor

Nombre completo: Ricardo Manuel Ehrler Pineda

Especialidad / Cargo: Máster en Gestión Ambiental/ Asistente en Compromiso/Gestión del Cambio Climático

Correo electrónico: ricardomehrler8@hotmail.com

II. Alcance de la Revisión

El revisor ha examinado el instrumento de investigación, atendiendo los siguientes criterios:

1. Validez de contenido (¿cubre todas las dimensiones relevantes?)
2. Claridad y pertinencia de cada ítem
3. Consistencia en la redacción y formato
4. Sugerencias de mejora

III. Conclusión

- El instrumento cumple con los criterios de validez de contenido y forma.
- El instrumento requiere ajustes de acuerdo con las recomendaciones señaladas.

IV. VII. Firma del Revisor

Ricardo Manuel Ehrler Pineda 

Nombre y firma

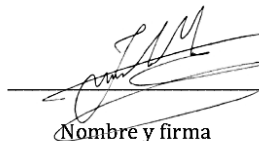
*Formato de Constancia de Revisión del Instrumento de Investigación***CONSTANCIA DE REVISIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN****I. Datos del Revisor**Nombre completo: Juan Antonio Meza OrdoñezEspecialidad / Cargo: AmbienteCorreo electrónico: Jmeza57@yahoo.com**II. Alcance de la Revisión**

El revisor ha examinado el instrumento de investigación, atendiendo los siguientes criterios:

1. Validez de contenido (¿cubre todas las dimensiones relevantes?)
2. Claridad y pertinencia de cada ítem
3. Consistencia en la redacción y formato
4. Sugerencias de mejora

III. Conclusión

- El instrumento cumple con los criterios de validez de contenido y forma.
- El instrumento requiere ajustes de acuerdo con las recomendaciones señaladas.

IV. VII. Firma del Revisor

Nombre y firma

Formato de Constancia de Revisión del Instrumento de Investigación

CONSTANCIA DE REVISIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. Datos del Revisor

Nombre completo: Joseph Alexander Rodríguez Escoto

Especialidad / Cargo: Ingeniero Ambiental

Correo electrónico: jrodries97@gmail.com

II. Alcance de la Revisión

El revisor ha examinado el instrumento de investigación, atendiendo los siguientes criterios:

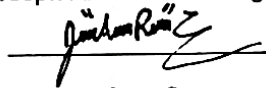
1. Validez de contenido (¿cubre todas las dimensiones relevantes?)
2. Claridad y pertinencia de cada ítem
3. Consistencia en la redacción y formato
4. Sugerencias de mejora.

III. Conclusión

- El instrumento cumple con los criterios de validez de contenido y forma.
- El instrumento requiere ajustes de acuerdo con las recomendaciones señaladas.

IV. VII. Firma del Revisor

Joseph Alexander Rodríguez



Nombre y firma

Formato de Constancia de Revisión del Instrumento de Investigación

CONSTANCIA DE REVISIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. Datos del Revisor

Nombre completo: Andres Alberto Urtecho Echeverria

Especialidad / Cargo: Project Manager

Correo electrónico: andres.urtecho@crs.org

II. Alcance de la Revisión

El revisor ha examinado el instrumento de investigación, atendiendo los siguientes criterios:

1. Validez de contenido (¿cubre todas las dimensiones relevantes?)
2. Claridad y pertinencia de cada ítem
3. Consistencia en la redacción y formato
4. Sugerencias de mejora

III. Conclusión

El instrumento cumple con los criterios de validez de contenido y forma.

El instrumento requiere ajustes de acuerdo con las recomendaciones señaladas.

IV. VII. Firma del Revisor



Nombre y firma

ANEXO C. Consentimientos informados firmados

Formato de Guía de Grupo Focal

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE HONDURAS

No. 1

"Campus Sagrado Corazón de Jesús"

Descripción:

Buen día. Soy estudiante de la Maestría en Gestión de Proyectos en la UNICAH. Con fines académicos y de forma confidencial, mediante el siguiente cuestionario, se pretende conocer el impacto ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala, La Paz. Se agradece su valiosa colaboración llenando, con sincera y precisa veracidad, las siguientes interrogantes.

Consentimiento informado:

Su participación en este grupo focal es voluntaria y usted puede decidir no responder alguna pregunta o retirarse en cualquier momento sin que esto le genere consecuencias. La información que usted proporcione será utilizada exclusivamente con fines de análisis en el marco de este estudio y sus respuestas se manejarán de forma anónima y confidencial.

Si está de acuerdo en participar en esta encuesta, por favor marque la siguiente opción:

Acepto participar de manera voluntaria en esta encuesta y comprendo que mis respuestas serán utilizadas únicamente con fines académicos.

Nombre: *Eraldo Rodríguez Díaz*

Puesto: *Coordinador Unidad Técnica en Agua y Saneamiento*

Firma/ sello:

Formato de Guía de Grupo Focal

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE HONDURAS

No. 1

"Campus Sagrado Corazón de Jesús"

Descripción:

Buen día. Soy estudiante de la Maestría en Gestión de Proyectos en la UNICAH. Con fines académicos y de forma confidencial, mediante el siguiente cuestionario, se pretende conocer el impacto ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Márcala, La Paz. Se agradece su valiosa colaboración llenando, con sincera y precisa veracidad, las siguientes interrogantes.

Consentimiento informado:

Su participación en este grupo focal es voluntaria y usted puede decidir no responder alguna pregunta o retirarse en cualquier momento sin que esto le genere consecuencias. La información que usted proporcione será utilizada exclusivamente con fines de análisis en el marco de este estudio y sus respuestas se manejarán de forma anónima y confidencial.

Si está de acuerdo en participar en esta encuesta, por favor marque la siguiente opción:

Acepto participar de manera voluntaria en esta encuesta y comprendo que mis respuestas serán utilizadas únicamente con fines académicos.

Nombre: Harol Lionel Montoya Vázquez.

Puesto: Coordinador intermunicipal de Agua y Saneamiento
UTIAS- MAMCEPATZ

Firma/ sello:

Formato de Guía de Grupo Focal

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE HONDURAS

No. 1

"Campus Sagrado Corazón de Jesús"

Descripción:

Buen día. Soy estudiante de la Maestría en Gestión de Proyectos en la UNICAH. Con fines académicos y de forma confidencial, mediante el siguiente cuestionario, se pretende conocer el impacto ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala, La Paz. Se agradece su valiosa colaboración llenando, con sincera y precisa veracidad, las siguientes interrogantes.

Consentimiento informado:

Su participación en este grupo focal es voluntaria y usted puede decidir no responder alguna pregunta o retirarse en cualquier momento sin que esto le genere consecuencias. La información que usted proporcione será utilizada exclusivamente con fines de análisis en el marco de este estudio y sus respuestas se manejarán de forma anónima y confidencial.

Si está de acuerdo en participar en esta encuesta, por favor marque la siguiente opción:

Acepto participar de manera voluntaria en esta encuesta y comprendo que mis respuestas serán utilizadas únicamente con fines académicos.

Nombre: *Hasler Nain Melgar Benitez*

Puesto: *Jefe UMA*

Firma/ sello:



Formato de Guía de Grupo Focal**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE HONDURAS****No. 1****“Campus Sagrado Corazón de Jesús”****Descripción:**

Buen día. Soy estudiante de la Maestría en Gestión de Proyectos en la UNICAH. Con fines académicos y de forma confidencial, mediante el siguiente cuestionario, se pretende conocer el impacto ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Marcala, La Paz. Se agradece su valiosa colaboración llenando, con sincera y precisa veracidad, las siguientes interrogantes.

Consentimiento informado:

Su participación en este grupo focal es voluntaria y usted puede decidir no responder alguna pregunta o retirarse en cualquier momento sin que esto le genere consecuencias. La información que usted proporcione será utilizada exclusivamente con fines de análisis en el marco de este estudio y sus respuestas se manejarán de forma anónima y confidencial.

Si está de acuerdo en participar en esta encuesta, por favor marque la siguiente opción:

Acepto participar de manera voluntaria en esta encuesta y comprendo que mis respuestas serán utilizadas únicamente con fines académicos.

Nombre: Sarahí Morales

Puesto: Coordinadora de Saneamiento Sostenible
Water for People

Firma/ sello: Sarahí Morales

ANEXO D. Matriz de Causa- Efecto/ Proyecto - Ambiente

TABLA 39 MATRIZ DE CAUSA - EFECTO DE IMPACTOS

Medio y sus Componentes	IMPACTOS POTENCIALES ▼	OPERACIÓN													CIERRE							
		Recepción y conducción de aguas residuales	Pretratamiento (desarenado, cribado)	Tratamiento primario (RAFA o sedimentación primaria)	Tratamiento secundario (filtro percolador o biológico)	Sedimentación secundaria (clarificación)	Manejo de lodos (extracción, secado en lechos)	Manejo de lixiviados	Dosificación de químicos (desinfección)	Descarga del efluente tratado al cuerpo receptor	Operación de estaciones de bombeo	Mantenimiento rutinario de infraestructura	Manejo de residuos sólidos	Control de emisiones atmosféricas	Consumo de energía eléctrica (estaciones de bombeo, red eléctrica)	CONTEO	Restauración de Áreas	Procedimiento de Desmantelamiento (Retiro y disposición de lodos)	Limpieza del Sitio	Restauración de Zonas Modificadas por el Proyecto	Remoción de Estructuras	Actividades post Cierre
FÍSICOS BIOLÓGICOS	Alteración de la Calidad del Aire		x				x	x				x	x		5	x	x	x	x	x	x	6
	Aumento de las Emisiones de Ruido	x												x	2	x	x	x	x	x	x	6
	Activación de Procesos Erosivos y de Sedimentación														0	x	x	x	x	x	x	6
	Incremento de Desechos Sólidos		x				x					x			3	x	x	x	x	x	x	6
	Afectación/Recuperación de Suelos Forestales y Agroforestales						x					x			2	x	x	x	x	x	x	6
	Compactación de los Suelos														0						x	1
	Posibilidad de Contaminación de los Suelos		x				x					x			3	x	x	x	x	x	x	6

	Cambio de Uso del Suelo															0	X	X	X	X	X	X	6	
	Modificación del Relieve															0	X	X		X	X		4	
	Riesgo de Alteración de la Calidad de Agua	x							x							2	X	X	X	X	X	X	6	
	Reducción/Recuperación de la Cobertura Vegetal															0	X	X	X	X	X	X	6	
	Reducción y Fragmentación/Recuperación de Hábitat								x							1	X	X	X	X	X	X	6	
	Incremento de la Probabilidad de Ocurrencia de Incendios															0		X				X	X	3
	Afectación a las Poblaciones de Fauna Terrestre						x						x			2	X	X	X	X	X	X	6	
	Alteración en las Poblaciones de Aves y Murciélagos															0	X	X	X	X	X	X	6	
	Deterioro del Recurso Natural con Valor Económico	x	x				x						x			5							0	
	Perturbación de la Biota Acuática	x														2							0	
	NÚMERO DE IMPACTOS GENERADOS POR ACTIVIDAD	4	4	0	0	0	6	1	0	4	0	0	6	1	1		13	14	12	13	14	14	6	
SOCIO ECONÓMICOS	Molestias a la Población por Actividades Operativas y de Cierre						x						x	x		4	X	X	X	X	X	X	6	
	Tráfico Peatonal y Vehicular															0					X	X	X	3
	Molestias a las Comunidades por malos olores		x				x	x						x	x		5							0

Oportunidades de Empleo de Mano de Obra Local	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	14	X	X	X	X	X	X	6
Potencial Afectación al Patrimonio Arqueológico																0							0
Estímulo a la Economía Local	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	14	X	X	X	X	X	X	6
Infraestructura y Servicios de Salud																0							0
Infraestructura y Servicios Básicos	x	x	x	x												4							0
Infraestructura Social																0							0
Deterioro/Recuperación de la Calidad Visual del Paisaje																0	X	X	X	X	X	X	6
NÚMERO DE IMPACTOS GENERADOS POR ACTIVIDAD	3	4	3	3	2	4	3	2	3	2	2	4	4	2		4	4	4	5	5	5		

ANEXO E. Matriz de Evaluación de Impacto Ambiental – Fase de Operación

TABLA 40 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL -FASE DE OPERACIÓN

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS PROYECTO PTAR MARCALA													(-)	(+)	
Tesis de maestría													I max	39	33
Preparado por: Alice Galeas													I min	13	11
Revisado y aprobado por: Carla Rivera													0.1 - 0.24		COMPATIBLE
Elaborado por: Alice Galeas													0.25 - 0.49		BAJA
													0.5 - 0.69		MEDIA
													0.7 - 1.0		ALTA
INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIA (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD (Pr)	IMPORTANCIA (Im)	VALORACIÓN	VALORACIÓN Estandarizada	MAGNITUD
FASE DE OPERACIÓN															
Alteración de la Calidad del Aire	Aire	Negativo													
Valoración			3	2	3	2	1	1	1	1	3	2	26	0.5	MEDIA
Aumento de las Emisiones de Ruido	Aire														
Valoración		Negativo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	14	0.04	COMPATIBLE
Ocurrencia de Procesos Erosivos y Sedimentación	Suelo														
Valoración		Negativo	1	1	1	3	1	1	2	1	3	1	20	0.27	BAJA
Incremento de Desechos Sólidos	Suelo														
Valoración		Negativo	3	1	3	3	2	2	1	3	3	3	31	0.69	ALTA
Afectación/Recuperación de Suelos Forestales y Agroforestales	Suelo														
Valoración		Negativo	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	24	0.42	BAJA
Contaminación de los Suelos	Suelo														
Valoración		Negativo	2	1	2	3	2	2	2	1	3	3	27	0.54	MEDIA
Alteración de la Calidad de Agua	Agua														
Valoración		Negativo	3	3	2	3	2	2	2	1	3	3	32	0.73	ALTA
Riesgo de Contaminación de Aguas y Suelos por Vertidos Accidentales	Agua/Suelo														
Valoración		Negativo	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	19	0.23	COMPATIBLE
Deterioro del Recurso Natural con Valor Económico	Agua/suelo														
Valoración		Negativo	3	3	2	3	2	2	2	3	3	2	33	0.77	ALTA
Reducción de la Cobertura Vegetal	Flora														
Valoración		Negativo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	0.00	COMPATIBLE
Perturbación de la Biota Acuática	Flora/fauna														
Valoración		Negativo	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	36	0.88	ALTA
Afectación a las Poblaciones de Fauna Terrestre	Fauna														
Valoración		Negativo	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	18	0.19	COMPATIBLE
Afectación a las Poblaciones de Aves y Murciélagos	Fauna														
Valoración		Negativo	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	17	0.15	COMPATIBLE
Molestias a la Población por Actividades de Operación	Población y Salud														
Valoración		Negativo	2	1	1	2	1	2	3	3	1	2	22	0.35	BAJA
Molestias a las Comunidades por malos olores	Población y Salud														
Valoración		Negativo	1	2	1	2	1	2	2	3	1	2	22	0.35	BAJA
Oportunidades de Empleo de Mano de Obra Local	Empleo														
Valoración		Positivo	1	1	3	3	0	0	3	3	3	2	19	0.36	BAJA
Estímulo a la Economía Local	Económicos														
Valoración		Positivo	1	1	3	3	0	0	3	3	3	3	20	0.41	BAJA
Calidad Visual del Paisaje	Paisaje														
Valoración		Negativo	1	1	1	3	2	2	2	1	1	2	21	0.31	BAJA

ANEXO F. Matriz de Evaluación de Impacto Ambiental – Fase de Cierre/ Abandono

TABLA 41 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL - FASE DE CIERRE/ ABANDONO

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS PROYECTO PTAR MARCALA													(-)	(+)							
Tesis de maestría Preparado por: Alice Galeas Revisado y aprobado por: Carla Rivera borado por: Alice Galeas		Baja (1) Medial(2)		Corto Plazo (3) Mediano Plazo (2)			Corto Plazo (1) Mediano Plazo (2)			No sinérgico (1) Sinérgico (2)		Periódico (3)		I max 39	I min 13	33	11				
		Alta (3)		Puntual (1) Parcial (2) Extenso(3)		Largo Plazo (1)		Fugaz (1) Temporal (2) Permanente (3)		Irreversible (3)		Recuperable (1) Mitigable (2) Irrecuperable (3)		Muy sinérgico (3)		No Periódico (1)		Baja (1) Media (2) Alta (3)		0.1 - 0.24	COMPATIBLE
		Fabiola Lava Negativo										Simple (1) Acumulativo (3)								0.25 - 0.49	BAJA
																				0.5 - 0.69	MEDIA
																				0.7 - 1.0	ALTA
INDICADOR DE IMPACTO ▼	ELEMENTO DEL MEDIO	TIPO	INTENSIDAD (I)	EXTENSIÓN (E)	MOMENTO (M)	PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (R)	RECUPERABILIDAD (Rc)	SINERGIAS (S)	ACUMULACIÓN (A)	PERIODICIDAD(Pt)	IMPORTANCIA (Im)	VALORACIÓN	VALORACIÓN Estandarizada	MAGNITUD						
FASE DE CIERRE																					
Valoración de la Calidad del Aire	Aire																				
Valoración		Negativo	1	1	3	1	1	1	1	1	1	2	18	0.19	COMPATIBLE						
Incremento de las Emisiones de Ruido	Aire																				
Valoración		Negativo	3	1	3	2	1	2	1	1	1	2	23	0.38	BAJA						
Ocurrencia de Procesos Erosivos y Sedimentación	Suelo																				
Valoración		Negativo	2	1	3	2	2	2	1	1	1	2	23	0.38	BAJA						
Acumulo de Desechos Sólidos	Suelo																				
Valoración		Negativo	3	2	3	2	1	2	1	1	1	3	26	0.50	MEDIA						
Recuperación de Suelos Forestales y Agroforestales	Suelo																				
Valoración		Positivo	2	2	1	3			2	1	1	3	15	0.18	COMPATIBLE						
Disminución de la Compactación de los Suelos	Suelo																				
Valoración		Positivo	2	2	3	1				1	1	2	12	0.05	COMPATIBLE						
Contaminación de los Suelos	Suelo																				
Valoración		Negativo	2	1	3	2	2	2	1	1	1	2	23	0.38	BAJA						
Disminución del Cambio de Uso del Suelo	Suelo																				
Valoración		Positivo	2	1	3	3	0	0	1	1	1	2	21	0.45	BAJA						
Modificación del Relieve	Relieve																				
Valoración		Negativo	1	1	3	1	3	3	1	1	1	3	23	0.38	BAJA						
Valoración de la Calidad de Agua	Agua																				
Valoración		Negativo	3	1	3	2	1	2	2	1	1	2	24	0.42	BAJA						
Valoración de la Recarga de Acuíferos	Agua/Suelo																				
Valoración		Negativo	3	1	3	2	1	2	2	1	1	2	24	0.42	BAJA						
Operación de la Cobertura Vegetal	Flora																				
Valoración		Positivo	3	2	1	3	0	0	2	1	1	3	22	0.50	MEDIA						
Perturbación de la Biota Acuática	Flora																				
Valoración		Negativo	2	2	1	2	1	2	1	1	1	3	21	0.45	BAJA						
Probabilidad de Ocurrencia de Accidentes	Flora																				
Valoración		Negativo	1	1	3	2	1	1	2	1	1	1	20	0.27	BAJA						
Afectación a las Poblaciones de Fauna Terrestre	Fauna																				
Valoración		Negativo	2	2	3	2	2	2	2	1	1	2	26	0.50	MEDIA						
Recuperación de las Poblaciones de Aves y Murciélagos	Fauna																				
Valoración		Positivo	1	2	1	3	0	0	2	1	1	2	13	0.09	COMPATIBLE						
Molestias a las Comunidades por Actividades de Cierre	Población y Salud																				
Valoración		Negativo	3	2	3	2	1	2	2	1	1	2	26	0.50	MEDIA						
Recuperación de la Calidad Visual del Paisaje	Paisaje																				
Valoración		Positivo	1	1	1	3	0	0	1	1	1	3	17	0.27	BAJA						

ANEXO G. Matriz de análisis de interesados**TABLA 42** MATRIZ DE ANÁLISIS DE INTERESADOS

No.	Nombre del actor / grupo	Tipo de actor	Rol en el proyecto	Nivel de influencia	Nivel de interés	Posición frente al proyecto
1	Municipalidad de Marcala	Gobierno local	Tomador de decisiones y contraparte técnica	Alto	Alto	Favorable
2	Unidad Técnica Ambiental	Pública	Fiscalización y acompañamiento técnico	Medio	Alto	Neutral
3	Comunidad cercana al río Chusmuy	Comunidad organizada	Receptor del impacto ambiental	Bajo	Alto	Favorable
4	Aguas de Marcala (prestador de servicio)	Entidad operadora	Responsable de operación técnica	Alto	Medio	Favorable
5	SERNA	Institución gubernamental	Entidad normativa y reguladora	Alto	Medio	Favorable

6	MAMCEPAZ	Organización social	Vigilancia ambiental y participación comunitaria	Medio	Alto	Favorable
----------	----------	------------------------	---	-------	------	-----------

ANEXO H. Matriz de análisis de Costo- beneficio del Plan de mejora ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Marcala

Tipología	Medida de Control Ambiental – social (MCA)	Responsable	Costo Estimado (Lempiras)	Año 1	Año 2	Año 3	Total 3 años	VPN Año 1	VPN Año 2	VPN Año 3	VPN Total
Prevención	Cumplimiento de la norma técnica nacional para descarga de aguas residuales	Aguas de Marcala	L 20,000.00	L 20,000.00	L 20,000.00	L 20,000.00	L 60,000.00	L 18,181.82	L 16,528.93	L 15,026.30	L 49,737.04
Prevención	Revisión técnica preventiva de equipos y componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales	Aguas de Marcala	L 12,000.00	L 12,000.00	L 12,000.00	L 12,000.00	L 36,000.00	L 10,909.09	L 9,917.36	L 9,015.78	L 29,842.22
Prevención	Recolección adecuada de desechos sólidos del personal de mantenimiento	Aguas de Marcala	L 5,000.00	L 5,000.00	L 5,000.00	L 5,000.00	L 15,000.00	L 4,545.45	L 4,132.23	L 3,756.57	L 12,434.26
Prevención	Capacitación periódica al personal técnico en limpieza y operación	Municipalidad / Universidades / SERNA	L 15,000.00	L 15,000.00	L 15,000.00	L 15,000.00	L 45,000.00	L 13,636.36	L 12,396.69	L 11,269.72	L 37,302.78
Prevención	Vigilancia del cercado para evitar ingreso de animales o personas	Aguas de Marcala	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 9,000.00	L 2,727.27	L 2,479.34	L 2,253.94	L 7,460.56

Tipología	Medida de Control Ambiental – social (MCA)	Responsable	Costo Estimado (Lempiras)	Año 1	Año 2	Año 3	Total 3 años	VPN Año 1	VPN Año 2	VPN Año 3	VPN Total
Prevención	Implementación del manual de operación y mantenimiento	Aguas de Marcala / SERNA	L 7,000.00	L 7,000.00	L 7,000.00	L 7,000.00	L 21,000.00	L 6,363.64	L 5,785.12	L 5,259.20	L 17,407.96
Prevención	Implementación del manual de operación y mantenimiento	Aguas de Marcala / SANAA	L 7,000.00	L 7,000.00	L 7,000.00	L 7,000.00	L 21,000.00	L 6,363.64	L 5,785.12	L 5,259.20	L 17,407.96
Prevención	Prevención de mezcla de aguas lluvias con aguas residuales	Operador	L 5,000.00	L 5,000.00	L 5,000.00	L 5,000.00	L 15,000.00	L 4,545.45	L 4,132.23	L 3,756.57	L 12,434.26
Mitigación	Implementación de barreras vegetales contra el polvo y ruido	Municipalidad / Operador	L 8,000.00	L 8,000.00	L 8,000.00	L 8,000.00	L 24,000.00	L 7,272.73	L 6,611.57	L 6,010.52	L 19,894.82
Mitigación	Implementación de cortinas vegetales para control de olores y paisaje	Municipalidad / MAMCEPAZ	L 12,000.00	L 12,000.00	L 12,000.00	L 12,000.00	L 36,000.00	L 10,909.09	L 9,917.36	L 9,015.78	L 29,842.22
Mitigación	Control y disposición adecuada de lodos en sitio autorizado	Municipalidad / UMA	L 10,000.00	L 10,000.00	L 10,000.00	L 10,000.00	L 30,000.00	L 9,090.91	L 8,264.46	L 7,513.15	L 24,868.52
Mitigación	Manejo y limpieza de materiales flotantes y sólidos en tanques	Aguas de Marcala	L 8,000.00	L 8,000.00	L 8,000.00	L 8,000.00	L 24,000.00	L 7,272.73	L 6,611.57	L 6,010.52	L 19,894.82
Corrección	Monitoreo semestral de calidad de aguas del cuerpo receptor	Aguas de Marcala /	L 25,000.00	L 25,000.00	L 25,000.00	L 25,000.00	L 75,000.00	L 22,727.27	L 20,661.16	L 18,782.87	L 62,171.30

Tipología	Medida de Control Ambiental – social (MCA)	Responsable	Costo Estimado (Lempiras)	Año 1	Año 2	Año 3	Total 3 años	VPN Año 1	VPN Año 2	VPN Año 3	VPN Total
		Laboratorio autorizado									
Social / Participación	Creación de un comité comunitario de vigilancia ambiental	Municipalidad / MAMCEPAZ	L 7,000.00	L 7,000.00	L 7,000.00	L 7,000.00	L 21,000.00	L 6,363.64	L 5,785.12	L 5,259.20	L 17,407.96
Educación	Talleres comunitarios de educación ambiental	SERNA / MAMCEPAZ	L 10,000.00	L 10,000.00	L 10,000.00	L 10,000.00	L 30,000.00	L 9,090.91	L 8,264.46	L 7,513.15	L 24,868.52
Transparencia	Divulgación periódica de resultados de monitoreo	Aguas de Marcala / SERNA	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 9,000.00	L 2,727.27	L 2,479.34	L 2,253.94	L 7,460.56
TOTAL			L 157,000.00				L 471,000.00				L 390,435.76