

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño de una PTAR para la Mancomuna Monteverde-Jambelí de la Parroquia
Colonche, provincia Santa Elena.

INGE-3047

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Celinne Ahiko Medina Velez

Johan Jesús Melendres Anchundia

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a mis queridos padres, Yéssica Esther Vélez Vélez y Jorge Francisco Medina Crespo, por siempre creer en mí, sobre todo en aquellos momentos en que dude de mí misma, por ser mi ancla, mi lugar seguro. Todo lo que soy es gracias a ustedes

A mi querida mami Esther por ser mi segunda madre, cuya bendición fue mi escudo en los momentos difíciles y a mi padrino Roberto, por su presencia constante, y su apoyo incondicional.

A mi querido papi Abraham, aunque sus ojos no pueden leer estas líneas, mi corazón siente su presencia. Espero este sonriendo, orgulloso al ver este trabajo.

A Lizzy, Puppa María, Aristóteles, Ninnita y Peluche por ser mi dulce compañía en las noches largas y por su amor puro.

Celinne Ahiko Medina Vélez

Dedicatoria

Este proyecto va dirigido primero y ante todo a Dios, por darme fuerza y sabiduría; A mis padres Washington Melendres e Isabel Anchundia por su paciencia y amor incondicional, por todos los consejos, valores y confianza que siempre han depositado en mí; a mi hermano Jinson Melendres por ser un gran ejemplo a seguir y ayudarme en mi crecimiento estudiantil y profesional; a familiares que siempre estuvieron predispuestos a brindar apoyo antes situaciones difíciles y a los amigos que fui formando en el camino. Cada uno de ustedes ha sido parte fundamental de este logro. Este es nuestro logro, y lo celebro con gran alegría.

Johan Jesús Melendres Anchundia

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mis queridos padres por ser mi mayor inspiración y mi guía. A mi querido José Andrés por su gran apoyo, su compañía incansable aligero este agotador pero fructífero trabajo, gracias por llenar de cariño cada etapa de este proceso y ser mi compañero de malas noches; a Lucía por su confianza plena y brindarme una amistad que atesoro profundamente.

Al Tnlg. Wilmer Asencio por la apertura y su gran ayuda en cualquier cosa que necesitáramos, a los operadores de las estaciones Monteverde-Jambelí Sr. Nicanor Gonzabay Tomalá y Sr. Wilton Santiana Lainez por su gran colaboración.

Especial agradecimiento al MsC. Cristian Salas por su guía en este proyecto.

Celinne Ahiko Medina Vélez

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que formaron parte en la elaboración de este trabajo. A familiares por su apoyo constante e incondicional a lo largo de mi vida; a la ESPOL por darme la oportunidad de estar aquí; a los profesores de la carrera por todas las enseñanzas impartidas para mi formación académica.

Especial agradecimiento para el Ing. Cristian Salas Vazquez tutor de este trabajo por su dirección y colaboración en el desarrollo del proyecto integrador.

Johan Jesús Melendres Anchundia

Declaración Expresa


Nosotros Celinne Ahiko Medina Velez y Johan Jesus Melendres Anchundia acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 13 de Octubre del 2025.



Celinne Ahiko Medina Velez



Johan Jesus Melendres Anchundia

Evaluadores

Nombre del Profesor

MsC. Josué Briones

Nombre del Profesor

MsC. Cristian Salas

Resumen

El proyecto de diseño una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para la mancomunidad Monteverde–Jambelí con el fin de sustituir un sistema deficiente de lagunas de oxidación. El objetivo es proponer una alternativa técnica y económicamente viable mediante soluciones basadas en la naturaleza que cumpla la normativa TULSMA VI. Se justifica ante la necesidad de prevenir la contaminación hídrica y proteger la salud pública regional. La metodología utilizada para el diseño fue investigación científica, acompañada de una visita técnica y toma de muestras para la caracterización del agua residual mediante análisis de laboratorio. El diseño comprendió el uso de rejillas manuales, desarenador de flujo horizontal con canaleta de Parshall, laguna de oxidación existente y humedales de flujo subsuperficial horizontal. Para el diseño del sistema se emplearon criterios de diseño de normas internacionales de la CONAGUA y se especificaron materiales como membrana HDPE de 0.75 mm y grava filtrante para rehabilitación de laguna existente y humedal artificial. Para comunas rurales los sistemas descentralizados son una opción idónea debido a su baja complejidad y costo de operación y construcción, además de su adaptabilidad a las condiciones locales. Finalmente, la participación comunitaria es fundamental para el éxito y correcto funcionamiento del sistema propuesto.

Palabras claves: Laguna de Oxidación, Planta de Tratamiento de Agua Residual, Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal, Sistema Descentralizado, visita técnica, caracterización de aguas residuales.

Abstract

The project involves designing a Wastewater Treatment Plant (WWTP) for the Monteverde–Jambelí association to replace a deficient oxidation pond system. The objective is to propose a technically and economically viable alternative using nature-based solutions that comply with TULSMA VI regulations. This is justified by the need to prevent water pollution and protect regional public health. The methodology employed for the design was scientific research, accompanied by a technical visit and collection of samples for the characterization of wastewater through laboratory analysis. The design included the use of manual screens, a horizontal flow sand trap with a Parshall flume, an existing oxidation pond, and horizontal subsurface flow wetlands. The system was designed using CONAGUA international standards, and materials such as 0.75 mm HDPE membrane and filter gravel were specified for the rehabilitation of the existing pond and artificial wetland. For rural communities, decentralized systems are an ideal option due to their low complexity and low operating and construction costs, as well as their adaptability to local conditions. Finally, community participation is essential for the success and proper functioning of the proposed system.

Keywords: Oxidation Pond, Wastewater Treatment Plant, Horizontal Subsurface Flow Wetland, Decentralized System, technical visit, wastewater characterization.

Tabla de contenido

Capítulo 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	3
1.2. Descripción del Problema	5
1.3. Justificación del Problema	7
1.4. Objetivos	9
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	9
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	9
Capítulo 2	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1. Revisión de literatura	12
2.2. Área de estudio	16
2.2.1. <i>Topografía</i>	17
2.2.2. <i>Tipo de terreno</i>	18
2.2.3. <i>Edafología (estudio del suelo)</i>	18
2.2.4. <i>Taxonomía del suelo</i>	19
2.2.5. <i>Humedad</i>	19
2.2.6. <i>Climatología</i>	19
2.2.7. <i>Vegetación</i>	20
2.2.8. <i>Hidrografía</i>	20
2.2.9. <i>Precipitación</i>	21
2.2.10. <i>Condiciones sociales/económicas</i>	22
2.3. Trabajo de campo y laboratorio	22
2.3.1. <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)</i>	27
2.3.2. <i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i>	28

2.3.3.	<i>Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Volátiles Totales (SVT)</i>	30
2.3.4.	<i>Coliformes totales y fecales</i>	33
2.3.5.	<i>NPK (Nitrógenos Orgánico + Nitrógeno amoniacal)</i>	35
2.4.	<i>Análisis de resultados</i>	36
2.4.1.	<i>Cálculo de resultados</i>	36
2.5.	<i>Análisis de Resultados</i>	42
2.6.	<i>Análisis de alternativas</i>	45
2.6.1.	<i>Primera alternativa: Rejillas + Desarenador + Laguna Anaerobia + Laguna Facultativa.</i>	46
2.6.2.	<i>Segunda alternativa: Rejillas+ Desarenador+ Laguna Anaerobia+ Humedal subsuperficial (HSSH)</i>	46
2.6.3.	<i>Tercera alternativa: Rejillas+ Desarenador+ Reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) + Humedal subsuperficial híbrido (HSSFHV)</i>	47
Capítulo 3	51
3.	DISEÑO Y ESPECIFICACIONES	52
3.1	<i>Análisis y estudios preliminares</i>	52
3.2	<i>Periodo de Diseño</i>	52
3.3	<i>Población de Diseño</i>	52
3.3.1	<i>Método Aritmético</i>	54
3.3.2	<i>Método Geométrico</i>	57
3.3.3	<i>Método Exponencial</i>	60
3.3.4	<i>Comparación de Métodos de Proyección</i>	63
3.4	<i>Caudal de Diseño</i>	65
3.4.1	<i>Caudal Medio</i>	66
3.4.2	<i>Caudal Infiltración</i>	67
3.4.3	<i>Caudal Ilícito</i>	68

3.4.4	<i>Caudal Medio Diario</i>	69
3.4.5	<i>Caudal Máximo Horario</i>	69
3.5	Diseño Etapas de PTAR	70
3.5.1	<i>Pretratamiento</i>	70
3.5.2	<i>Tratamiento primario</i>	91
3.5.3	<i>Tratamiento Secundario</i>	102
Capítulo 4	118
4.	ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	119
4.1.	Descripción del proyecto (máximo de 300 palabras)	119
4.2.	Línea base ambiental	120
4.2.1	<i>Medio físico y calidad hídrica</i>	120
4.2.2	<i>Medio biótico y ecosistemas</i>	121
4.2.3	<i>Medio socioeconómico y salud</i>	123
4.3.	Actividades del proyecto	124
4.4.	Identificación de impactos ambientales	125
4.4.1	<i>Impactos Positivos</i>	126
4.4.2	<i>Impactos Negativos</i>	127
4.4.3	<i>Matriz de Leopold</i>	127
4.5.	Valoración de impactos ambientales	131
4.6.	Propuestas de medidas de prevención/mitigación	134
4.6.1	<i>Perdida de vegetación y fauna por desbroce y limpieza</i>	134
4.6.2	<i>Excavación para zanjas y vasos</i>	134
4.6.3	<i>Colocación de geomembrana en laguna de estabilización y humedal artificial.</i> 134	
4.6.4	<i>Implementación de Humedales Artificiales</i>	134
4.6.5	<i>Retiro de Instalaciones temporales</i>	135

4.7. Resultados de medidas	135
Capítulo 5	137
5. PRESUPUESTO	138
5.1. Estructura Desglosada de Trabajo	138
5.2. Especificaciones Técnicas	138
5.2.1 Obras preliminares	139
5.2.2 Movimientos de tierra e impermeabilización	146
5.2.3 Infraestructura de tratamiento	153
5.2.4 Estructuras metálicas	181
5.2.5 Obras complementarias y accesos	183
5.2.6 Instalaciones eléctricas y de seguridad	190
5.2.7 Varios	195
5.3. Cantidades de obra	196
5.4. Cronograma	203
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	208
6.1. Conclusiones	208
6.2. Recomendaciones	209
Bibliografía	212
8. PLANOS Y ANEXOS	217

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

PDyOT Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

ODS Objetivo de Desarrollo Sostenible

OMS Organización Mundial de la Salud

UNICEF Fondo de la Naciones Unidas para la Infancia

CAF Banco de Desarrollo de América

INEC Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

SENAGUA Secretaría Nacional del Agua

UTM Universal Transversal de Mercator

CPE Código de Práctica Ecuatoriano

INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización

RAS Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento

DQO Demanda Química de Oxígeno

NPK Nitrógeno Amoniacal + Nitrógeno Orgánico

N Nitrógeno

UASB Upflow Anaerobic Sludge Blanket

HSSH Humedal Sub Superficial Horizontal

LST Caldo Lauril Triptosa

BGBB Caldo Lactosa Bili-Verde Brillante

CT Coliformes Totales

CF Coliformes Fecales

ST	Sólidos Totales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SVT	Sólidos Volátiles Totales
HDPE	Polietileno de Alta Densidad

Simbología

mg/L	Miligramo por litro
pH	Potencial de Hidrógeno
mL	Mililitro
°C	Grados centígrados
g	Gramos
NMP	Número máximo probable
l/hab/día	Litro por habitante por día
l/s	Litro por segundo
m ³ /s	Metro cúbico por segundo
Ha	Hectárea
mm	milímetro
m/s	metro por segundo
m	metro
m ²	metro cuadrado
kg/cm ³	kilogramo por centímetro cúbico
s	segundo
m ² /s	metro cuadrado por segundo

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Zona de Estudio (Comuna Monteverde y Jambelí).....	17
Figura 2 Estación de Bombeo Número 4 (Monteverde).....	23
Figura 3 Aguas Residuales Estación de Bombeo 4.	23
Figura 4 Recolección de muestra puntual de agua residual, estación 4.	24
Figura 5 Socialización con Operadores de Estaciones de Bombeo Comuna Monteverde y Jambelí.	25
Figura 6 Agua residual tomada de la estación 4.....	26
Figura 7 Lagunas de Oxidación Existentes para Comuna Monteverde y Jambelí.....	27
Figura 8 Mapa de Curva de Sedimentación.....	30
Figura 9 Ejemplo de resultados obtenidos por el espectrofotómetro.	38
Figura 10 Población y Vivienda Parroquia Colonche.....	54
Figura 11 Desarenador horizontal con canal de Parshall.....	79
Figura 12 Partes y Configuración del Canal de Parshall.....	88
Figura 13 <i>Typha domingensis</i> (totora/espadaña).....	104
Figura 14. Límites máximos permisibles a un cuerpo de agua dulce.....	110
Figura 15. Ejemplo de tresbolillo.....	116
Figura 16 Esquema conceptual de convergencia de caudales hacia la PTAR propuesta.....	119
Figura 17 Valoración de especies según UICN.....	122
Figura 18. Fase del proyecto a ejecutarse.....	138

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Régimen Pluviométrico de Parroquia Colonche de los últimos 10 años.....	23
Tabla 2 Valores NMP 10 tubos de 10 mL.....	42
Tabla 3 Valores NMP 5 tubos por disoluciones.....	42
Tabla 4 Resultados de Ensayos de Laboratorio.....	45
Tabla 5 Método de Análisis para cada parámetro.....	45
Tabla 6 Criterios de Evaluación para obtener Alternativa ganadora.....	50
Tabla 7 Evaluación de las Alternativas en base a los criterios.....	51
Tabla 8 Datos Antecedente Población Comunas Monteverde y Jambelí.....	55
Tabla 9 Métodos de Calculo Permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema.....	55
Tabla 10 Tasa de Crecimiento Poblacional (Comportamiento Parroquial).....	57
Tabla 11 Proyección Poblacional Método Aritmético.....	59
Tabla 12 Tasa de Crecimiento Poblacional (Comportamiento Parroquial).....	60
Tabla 13 Proyección Poblacional (Método Geométrico).....	62
Tabla 14 Tasa de Crecimiento Poblacional (Comportamiento Parroquial).....	64
Tabla 15 Proyección Poblacional (Método Exponencial).....	65
Tabla 16 Porcentajes de Error Método de Proyección (Comuna Monteverde).....	66
Tabla 17 Porcentajes de Error Método de Proyección (Comuna Jambelí).....	67
Tabla 18 Población de Comuna Monteverde y Jambelí (Método Seleccionado).....	67
Tabla 19 Poblaciones de Diseño.....	68

Tabla 20 Dotaciones Recomendadas.....	69
Tabla 21 Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales.	70
Tabla 22 Aporte máximos por conexiones erradas con sistema pluvial.	72
Tabla 23 Tamaño Aperturas Rejas o Rejillas.....	74
Tabla 24 Criterio de Diseño de rejas y rejillas.....	74
Tabla 25 Parámetros Iniciales para Dimensionamiento de Rejilla.	76
Tabla 26 Parámetros Finales para Dimensionamiento de Rejilla.....	81
Tabla 27 Parámetros dimensionamiento Desarenador de Flujo Horizontal.....	89
Tabla 28 Fórmulas Canales de Parshall.....	91
Tabla 29 Dimensiones de la canaleta Parshall, de acuerdo con la configuración de la Figura 12.	93
Tabla 30 Valores externos Dimensionamiento de Canal de Parshall.....	95
Tabla 31 Datos requeridos para el dimensionamiento.	96
Tabla 32 Valores de diseño para cargas volumétricas en función de la temperatura (CONAGUA).	97
Tabla 33 Porcentaje de remoción esperado CONAGUA.....	97
Tabla 34. Dimensiones obtenidas de la laguna.....	104
Tabla 35. Volumen de la laguna previamente calculado.	105
Tabla 36. 1/3 volumen de la laguna calculado.	105
Tabla 37. Tabla de datos recopilados de la laguna y coeficientes adaptados (DBO).....	107
Tabla 38. Resumen de parámetros geométricos e hidráulicos para la configuración rectangular (8 módulos).	111
Tabla 39. Comprobación de la capacidad hidráulica a través de la Ley de Darcy.....	112
Tabla 40. Tabla de datos a utilizar para comprobación de cumplimiento de NTK, ajustada por temperatura.	113
Tabla 41. Parámetros de diseño para el modelo de remoción de Sólidos Suspendedos Totales (SST).....	116
Tabla 42. Parámetro de diseño y coeficientes cinéticos para remoción de coliformes fecales.	118
Tabla 43. Tabla de datos recopilados de la laguna y coeficientes adaptados (DQO).	120
Tabla 44. Tabla de muestra de actividades de proyecto.	130
Tabla 45. Identificación de impactos ambientales existentes.	131
Tabla 46. Matriz de impacto ambiental obtenida.....	135
Tabla 47. Tabla de criterios de evaluación obtenido.	137
Tabla 48. Tabla de valoración de Impacto Ambiental.	138
Tabla 49. Puntaje obtenido de Impacto Ambiental	139
Tabla 50. Resumen de rubros y cantidades	207
Tabla 51. Precio total del proyecto.....	209
Tabla 52. Cuadro comparativo de inversión por tecnología de tratamiento secundario (Benchmarking)	213
Tabla 53. Cronograma de actividades esperado.....	214
Tabla 54. Identificación de actividades críticas.	215

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Detalle de las rejillas de limpieza manual
- PLANO 2 Detalle y dimensiones del desarenador Parshall
- PLANO 3 Detalle de la algua de estabilización
- PLANO4 Detalle del humedal subsuperficial de flujo horizontal.

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

El acceso universal al agua potable y saneamiento básico seguro es un derecho humano y un pilar fundamental de la salud pública a nivel mundial constituye la base de una vida digna y segura. Con el objetivo de supervisar el progreso global hacia el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6): “*Agua limpia y saneamiento*”, organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Fondo de la Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y Banco de Desarrollo de América (CAF) documentan los avances y brechas. Esta documentación se publica a través de boletines de prensa, informes técnicos o estudios regionales como “*Estado Mundial de Saneamiento*”, cuyos resultados reflejan la magnitud de la crisis sanitaria y ambiental.

Pese a los avances logrados por distintas iniciativas tomadas desde el II Foro Mundial del Agua (2000), las deficiencias persisten (Moran, 2024) . Datos recientes indican que más de 2.2 mil millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura y alrededor de 3.5 mil millones no cuentan con servicios de saneamiento gestionados de forma segura (UNICEF & OMS, 2019).

Esta brecha de acceso se agrava por debilidades técnicas, regulatorias y financieras que limitan realizar una correcta gestión en el tratamiento de aguas residuales. Ya en 2015 se documentaba que menos del 30% de las aguas residuales recibía algún tipo de tratamiento antes de ser descargada al medio ambiente (Arroyo , *et al*, 2015).

La combinación de sistemas de saneamiento deficientes y la exposición a agua contaminada, son factores peligrosos y determinantes en la transmisión de enfermedades gastrointestinales, como el cólera, la disentería y diversas parasitosis. Estas afecciones impactan con mayor severidad a niños menores de 5 años, además afectan de manera desproporcionada a poblaciones con altos índices de vulnerabilidad socioeconómica, contexto en los que el acceso al saneamiento básico se convierte en necesidad no satisfecha.

A pesar de los compromisos internacionales para garantizar el acceso y gestión sostenible del agua y saneamiento hacia 2030, los organismos competentes han advertido que el cumplimiento de esta meta se encuentra alarmantemente rezagado. Esta situación es particularmente crítica América Latina & El Caribe (UNICEF & OMS, 2020), donde el crecimiento demográfico proyectado representa un desafío adicional, para la materialización de estos servicios.

El dilema regional es evidente, América Latina & El Caribe, aunque poseen cerca del 30% de agua dulce del planeta, carecen de acceso libre al agua y saneamiento. Si bien la cobertura de agua potable aumentó del 83% en el mismo periodo (Monje, *et al*, 2016), estos promedios ocultan profundas desigualdades internas.

Ecuador refleja con claridad estas limitaciones: existen brechas de cobertura, y se tienen problemas en la calidad, gestión y tratamiento seguro de las aguas residuales que han persistido en el tiempo, con una brecha enorme en zonas rurales. Esta desigualdad territorial se observa en la mayoría de las provincias siendo más notorias al compararla con las principales zonas urbanas del país. A modo de ejemplo, en Santa Elena, según el censo elaborado en 2022 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) e informes sectoriales de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), se refleja esta situación sumamente alarmante.

En zonas urbanas de Santa Elena, más del 80 % de la población cuenta con accesos a un sistema de alcantarillado Sanitario; Sin embargo, en zonas rurales, este porcentaje se reduce drásticamente a un valor del 30 %. Para contrarrestar esta brecha, se requiere de manera urgente adoptar soluciones que permitan una gestionables amigable y sostenible de aguas residuales en comunas rurales, donde el saneamiento básico es limitado, a pesar de ser una necesidad fundamental para una vida digna.

1.1. Antecedentes

La provincia de Santa Elena es una de las zonas más áridas del país. Cuentan con un clima cálido y seco, con temperaturas promedio de 18 a 26 °C y precipitaciones muy bajas; factores que condicionan la disponibilidad del agua y gestión de los recursos hídricos. Dentro de la provincia se encuentran las comunas Monteverde y Jambelí, pertenecientes a la parroquia Colonche.

Las comunas Monteverde y Jambelí son pequeñas comunidades costeras, sus principales actividades son la pesca artesanal, turismo y agricultura a baja escala, siendo estas actividades de las cuales depende la mayoría de la comunidad local. Las condiciones socioeconómicas junto con la falta de acceso a servicios básicos hacen que la gestión de agua y saneamiento sea una limitación y desafío constante para la población local.

La institución encargada de la provisión de servicios de agua potable y alcantarillado en Santa Elena es la empresa pública AGUAPEN EP, que ha tratado de implementar diversos proyectos de saneamiento y abastecimiento con colaboración del Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Elena (GADSE) y el Banco de Desarrollo del Ecuador (BDE). Sin embargo, estos proyectos no han sido culminado, por lo que presentan deficiencia y varias restricciones en sistemas existente. Las comunas Monteverde y Jambelí son un claro ejemplo donde la totalidad de las aguas residuales no es recolectada ni tratada de manera adecuada.

En las comunas mencionadas se han registrado intervenciones incompletas en el proceso de instalación de un Sistema de Alcantarillado sanitario. En 2013 la Ilustre Municipalidad de Santa Elena (IMSE), mediante el proceso LPN-BID-GADMSE-0002-2013, licitó la construcción del “Sistema de Alcantarillado Sanitario para la comuna Monteverde-Jambelí (Municipalidad de Santa Elena, 2013), cuyo objetivo fue dotar a la población con una red básica para la conducción y tratamiento de aguas residuales.

En el año 2016, las actas de Concejo Municipal de Santa Elena abordaron reiteradamente la necesidad de solucionar la problemática del alcantarillado Monteverde - Jambelí, reflejando la persistencia del problema y la necesidad del seguimiento técnico por parte de las instituciones competentes (Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Elena, 2016).

Posteriormente, a nivel de planificación, el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial cantonal (Gobierno Autónomo Descentralizado de Colonche, 2023) realizó el seguimiento de la segunda etapa de la construcción del sistema de alcantarillado Monteverde – Jambelí. Como resultado, se determinó que el sistema de alcantarillado se encuentra incompleto con estaciones de bombeo en ejecución, pero aún no funcionales. Además, las Comunas Monteverde y Jambelí cuentan con una laguna de oxidación que se encuentra ubicado en la comuna Jambelí.

Un informe más reciente desarrollado por el BDE (Banco de Desarrollo del Ecuador) informó que el Sistema Monteverde - Jambelí alcanzó un 70 % de avance, con 10 estaciones de Bombeo, de las cuales 4 pertenecen a la comuna Monteverde. Adicionalmente, también existe una laguna de oxidación operativa, la cual se encuentra ubicada en la zona intermedia entre la comuna Monteverde - Jambelí. No obstante, el presente informe indicó que dicho sistema aún presenta obras complementarias pendiente, lo que provoca que su funcionamiento integral no esté garantizado (Banco de Desarrollo del Ecuador , 2022).

En la provincia de Santa Elena, las lagunas de oxidación constituyen el sistema de tratamiento predominante debido a su bajo costo y simplicidad en términos de infraestructura y operación. Sin embargo, su eficiencia puede variar por factores como las condiciones climáticas y capacidad de carga del sistema, lo que afecta directamente a la calidad del efluente y compromete la protección de cuerpos receptores. Por ello, surge la necesidad de diseñar una PTAR que se ajuste a las condiciones locales (Rodríguez Tomalá, 2014), en este caso, para Monteverde.

Las comunas Monteverde y Jambelí, cuentan con una planta depuradora natural común, conformada por laguna de oxidación, destinada al tratamiento de aguas residuales generadas por la población de ambas comunidades. Sin embargo, este sistema presenta deficiencias operativas, ya sea por mal funcionamiento o uno debajo de su capacidad de diseño. Esto genera que el sistema a futura pueda ocasionar afectaciones al medio ambiente y riesgos en la salud pública, vulnerando el derecho fundamental de la comunidad local a vivir en un entorno amigable y una vida digna.

1.2. Descripción del Problema

La comuna Monteverde enfrenta un problema estructural y sostenido en la gestión de aguas residuales domésticas. Actualmente, el territorio no dispone de un sistema de alcantarillado integral que cubra a toda la población. Se estima que solo el 40% de los habitantes de la comuna cuentan con algún tipo de conexión parcial a la red existente. La comuna Jambelí presenta una situación similar, según el PDyOT (Gobierno Autónomo Descentralizado de Jambelí, 2018) , el 50% de la población está conectados a pozos sépticos, 26% no está conectado a ningún sistema, 13% conectados a pozos ciegos, 5% tienen de descarga al mar y el 4% tienen letrina.

La comuna Monteverde y Jambelí cuentan con pozos sépticos cuya descarga final es en una laguna de oxidación común. Esta laguna pensada inicialmente como una solución de bajo costo operativo y funcionamiento para comunidades rurales no fueron dimensionadas de manera adecuada, lo que genera deficiencias que afectan su desempeño y eficiencia.

Como consecuencia de estas limitaciones, el sistema presenta baja eficiencia en remoción de contaminantes y genera una emisión constante de malos olores, perceptible en zonas cercanas a la laguna, generando malestar, quejas comunitarias y preocupaciones en el ámbito sanitario. Además, la operación deficiente incrementa el riesgo de contaminación a cuerpos de aguas

cercanos que rodean la comuna poniendo en riesgo ecosistemas, biodiversidad local e incluso al turismo.

Todos los problemas de esta situación se pueden cuantificar. Los efluentes descargados por la laguna de oxidación no cumplen con los parámetros de calidad establecidos por la INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), específicamente los establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Libro VI. El sistema existente no garantiza una depuración adecuada lo que puede generar problemas ambientales y legales a futuro.

El problema central, radica en la falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales que sea eficiente, sostenible y técnicamente adecuado a las condiciones locales de ambas comunidades. Se requiere el diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que considere el crecimiento poblacional, características geográficas y climáticas del sector, así como la capacidad económica y técnica de las comunas. Optimizar el proceso de depuración garantizará que los efluentes cumplan con la normatividad vigente.

El problema actual es observable, susceptible a medición y posterior análisis. Los diferentes efectos provocados por la pueden ser evaluados por diversos estudios de laboratorio para caracterización y calidad del agua residual. Además de la inspección técnica de la infraestructura existente. A nivel social los impactos en la comunidad pueden medirse a través, de encuestas y reportes de satisfacción ciudadana. Por lo mencionado anteriormente, el problema puede ser tratado desde una perspectiva científica y técnica.

Las principales restricciones para la ejecución del proyecto se centran con la disponibilidad presupuestaria del GAD de Santa Elena, la capacidad técnica y disposición de zonas aptas para la construcción de la planta. Además, debe considerarse que Monteverde y Jambelí están ubicados en una zona costera, con nivel freático alto y clima árido. Estos factores

exigen que el sistema propuesto sea de bajo mantenimiento, con requerimientos energéticos mínimo y bajo costo de implementación.

Las variables de interés consideradas en el proyecto son la población de diseño, período de diseño, caudal medio y máximo horario, carga orgánica generada por la comunidad local, dotación, límites máximos permisibles y condiciones locales. Otra variable de interés es que para el diseño deben cumplirse criterios de seguridad, protección ambiental y normativa vigente.

La comuna Monteverde actúa como cliente del proyecto. La encargada de la coordinación y gestión de proyectos para el desarrollo local es una junta comunal elegida de manera democrática. Se debe contar con el diseño de un sistema basado en tecnologías modernas para tratamiento de aguas residuales domésticas para zonas rurales, con el fin de mejorar la salubridad del agua y fomentar el desarrollo económico con un enfoque eco amigable y sostenible.

La falta de un sistema eficiente de tratamiento de aguas residuales representa más que una falla técnica; constituye un problema social y ambiental a nivel regional. Esta situación compromete la calidad de vida de la ciudadanía, afecta el equilibrio ecológico del territorio y vulnera derechos fundamentales establecidos, como el derecho a vivir en un ambiente sano.

1.3. Justificación del Problema

Las comunas enfrentan una problemática ambiental y sanitaria que requiere intervención. En la actualidad, no cuentan con un sistema integral de alcantarillado ni una planta de tratamiento que procese los efluentes generados por residencias domésticas de las comunidades. Esta situación genera diferentes impactos negativos para los recursos hídricos del medio ambiente como en la salud pública. Al existir una infiltración y descarga inadecuada de aguas residuales, se contaminan cuerpos de agua cercanos, aumentando el riesgo de propagación de enfermedades, vulnerando el derecho fundamental de la población a vivir en un ambiente sano y sus recursos naturales, de los cuales depende la economía local.

Actualmente, la comuna Monteverde tiene como actividad económica principal de sustento a la pesca artesanal. Sin embargo, la comuna proyecta a convertirse en un balneario turístico a futuro para obtener ingresos por actividades como el turismo. En la comuna Jambelí se tiene la misma situación, con la diferencia de que, en Jambelí, el turismo es cada vez más significativo para la economía local.

Este crecimiento va a implicar un incremento en demanda de todos los servicios básicos, uno de estos es el saneamiento. Esto provocará un deterioro en el sistema de tratamiento que actualmente ya presenta problemas de infiltración. El sistema actual de laguna de oxidación no cubre con las necesidades presentes y futuras, lo que a futura puede resultar en distintos problemas sanitario y ambientales.

La emisión de malos olores y contaminación de cuerpos de agua serían los efectos más perceptibles. Esto tendría un impacto negativo en la imagen turística y actividad pesquera de Monteverde y Jambelí, al afectar la confianza en la calidad de productos marinos, lo que podría provocar pérdida de vidas acuáticas, lo cual se traduce en daños a la economía local.

Por todo lo mencionado anteriormente, el diseño e implementación de una Planta de tratamiento, es una solución ambiental y técnica de alta necesidad. Esto permitirá la correcta recolección y tratado del agua residual de ambas comunas previo a su deposición final, disminuyendo impactos negativos hacia la comunidad.

Una PTAR eficiente y bien diseñada ofrece diversos beneficios, uno de estos es que reduce el impacto ambiental hacia el agua y suelo, lo que genera un impacto positivo en la salud pública. Otro beneficio es que al tener un entorno limpio se fomenta actividades como el turismo y la pesca responsable. Finalmente, si garantiza el cumplimiento de normativa vigente evita el riesgo de sanciones administrativas. En conjunto, impulsa un desarrollo integral y sostenible.

El proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas: el ODS 6: Agua limpia y saneamiento, que promueve la gestión sostenible del recurso

hídrico, y el ODS 3: Salud y bienestar, orientado a garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos (Organización de las Naciones Unidas, 2025).

En síntesis, el diseño e implementación de una PTAR común para las comunas Monteverde y Jambelí constituye una acción necesaria para lograr un equilibrio entre el progreso económico, ambiental y el bienestar social. Esto consolidará a estas comunidades como un modelo ejemplar de desarrollo sostenible para comunidades aledañas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales en la Comuna Monteverde y Jambelí, mediante ensayos de laboratorio, investigación científica de nuevas tecnologías de tratamiento aplicando la normativa Nacional e Internacional vigente, para prevenir la contaminación de fuentes cercanas, asegurando la calidad del agua tratada bajo un enfoque sostenible.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Analizar la calidad del agua en diferentes puntos de la comuna, mediante la toma de muestras, aplicando las normas nacionales e internacionales para la identificación de todos los parámetros que no cumplen con los estándares establecidos.
2. Evaluar el estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales existente en las comunas Monteverde y Jambelí, mediante visita técnica y revisión de normativas, para la identificación de deficiencias e impactos ambientales por falta de un tratamiento adecuado.
3. Investigar diversas tecnologías de tratamiento de aguas residuales, mediante investigación científica y análisis comparativo de su eficiencia técnica, económica y

ambiental, con el fin de identificar alternativas más adecuadas para aplicar a la comuna Monteverde.

4. Analizar diversas tecnologías de tratamiento de aguas residuales, mediante la investigación científica de casos de estudio exitoso y sus posibles impactos ambientales con el fin de determinar la solución óptima aplicable en la comuna Monteverde y Jambelí, dentro del contexto del ODS 3 y ODS 6.

Capítulo 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Revisión de literatura

El agua residual es aquella que proviene del uso doméstico, comercial, industrial o de cualquier actividad humana. Estas aguas tienen una composición que altera su calidad natural, haciéndola nociva para el consumo humano si no recibe un tratamiento previo (Comisión Nacional del Agua , 2015). Por este motivo, surge la necesidad de Plantas de Tratamiento de aguas residuales, en las cuales se lleva a cabo el proceso de remoción de contaminantes presentes en el agua utilizada, con el fin de obtener un efluente que puede ser descargado sin dañar el medio ambiente o que pueda ser reutilizado (Eddy & Metcalf, 2014).

Generalmente, una planta de tratamiento de aguas residuales consta de cuatro etapas. En primer lugar, el pretratamiento, donde se eliminan trapos, palos, materiales flotantes y otros elementos que pueden afectar las etapas posteriores. Luego, en el tratamiento primario, se remueve una parte de los sólidos suspendidos y materia orgánica presente. Posteriormente, en el tratamiento secundario, se elimina materia orgánica biodegradable y nutrientes como nitrógeno y fósforo. Finalmente, el tratamiento terciario y manejo de lodos, aplicado cuando se requiere la reutilización o reúso del agua tratada (Eddy & Metcalf, 2014).

El tratamiento de aguas residuales sigue siendo una tarea pendiente en América Latina, ya que su cobertura varía considerablemente. A nivel regional, se estima que menos del 20% del volumen total de aguas residuales municipales generadas llegan efectivamente a una Planta de Tratamiento (Noyola *et al*, 2013).

Esta limitación torna imperativo explorar enfoques alternativos, como complementar los sistemas centralizados con soluciones descentralizadas, para ampliar la cobertura en el tratamiento de aguas residuales domésticas (Anda Sanchez, 2017).

Los sistemas descentralizados se pueden definir como instalaciones de pequeña escala ubicadas cerca del lugar donde se genera el agua residual. Estos sistemas permiten tratar el agua

residual de manera local, reduciendo costos de infraestructura, facilitando el reúso de agua tratada y ofreciendo flexibilidad en el uso de tecnologías, ya que pueden emplear sistemas naturales como lagunas o humedales artificiales (Milićević, *et al*, 2024).

Durante el año 2024 se evidenció un incremento en los estudios sobre tecnologías descentralizadas para el tratamiento de aguas residuales, debido a que los desafíos en el saneamiento básico han aumentado. Brasil, con 17 de artículos y México con 10 artículos, son los países que han realizado una investigación más exhaustiva sobre esta temática. Otros países como Ecuador, Bolivia y Colombia presentan un menor número de estudios, lo que evidencia la necesidad de ampliar y fortalecer la producción científica e investigativa en los demás países de Latinoamérica.

Además, se consideró el contexto en el que se realizaron los trabajos, se observó que muchos estudios presentan un enfoque combinado, abordando más de un tipo de entorno y contexto. Esto refleja la necesidad de disponer de soluciones adaptables a diferentes realidades territoriales (Saldías & Rodríguez, 2025)

Analizando las tecnologías aplicadas en América Latina para el tratamiento descentralizado de aguas residuales, las más utilizadas son los humedales construidos en distintas configuraciones, como flujo superficial, subsuperficial horizontal Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB, vertical e híbrido, seguidos de los reactores anaeróbicos, especialmente el Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), ampliamente utilizados en climas tropicales. De la misma manera, las lagunas de estabilización continúan siendo una de las tecnologías más empleada en zonas rurales (Da Silva, Sarti, Maintinguer, Kaiser, & Da Silva, 2007).

Los humedales construidos son reconocidos ampliamente como una solución basada en la Naturaleza. Presentan diversas ventajas frente a otras tecnologías en contextos urbanos y rurales en América Latina; su simplicidad operativa y sus bajos requerimientos tecnológicos destacan, lo

que permite su implementación en comunidades con infraestructura y capacidad técnica limitadas (Rubi Perez, Schiffmann, & Hack, 2024).

En una revisión de casos brasileños, se documentó que los Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal lograron una remoción promedio de DQO del 76.5 % y de DBO₅ de 81.5%, mientras que los Humedales de Flujo Subsuperficial Vertical alcanzaron tasas de 61% y 67.6 %, (Machado, Beretta, Fragoso, & Duarte, 2017).

Esto se complementa con un estudio pilote en Brasil, donde bajo condiciones climáticas tropicales y carga orgánica variable, se reportan eficiencias remoción del 77.9 % para DBO₅, 76.3% para DQO y 82% para los Sólidos Suspendidos Totales (Da Silva, Sarti, Maintinguer, Kaiser, & Da Silva, 2007).

En cuanto a la eliminación de nutrientes tales como Nitrógeno y Fósforo, los humedales construidos presentan un desempeño prometedor, influenciado por el tipo de sistema, las condiciones de operación y vegetación utilizado. Pueden alcanzar hasta un 50% de remoción de Nitrógeno y Fósforo cuando se combinan con medios filtrantes adecuados (De Simone, Paulo, & Boncz, 2017). En otro estudio se evaluó un sistema híbrido que integraba un reactor anaeróbico seguido de un humedal construido, logrando una remoción del 94% para el Nitrógeno total y 90% para el Carbono Orgánico Disuelto (Colares, et al., 2021).

Las lagunas de estabilización o comúnmente llamada laguna de oxidación siguen siendo una tecnología ampliamente usada en el ámbito rural debido a su bajo costo operacional, facilidad de mantenimiento y buena eficiencia en climas cálidos. Estas laguna tiene una mayor eficiencia cuando están colocadas en serie (laguna anaeróbica, laguna facultativa y maduración). Unas lagunas de oxidación bien diseñadas pueden tener un porcentaje de remoción mayores al 80 %, así mismo puede remover más del 80% del nitrógeno Notal, 90 % del amonio siendo el fósforo el más variable (Peña & Mara, 2004).

Sin embargo, existen varios casos donde estos sistemas no se han terminado o no se operan de forma adecuada, por lo que no trabajan al 100 % de su capacidad. Tal es en el caso de Brasil, donde se encuentra una laguna operando al 39% de su capacidad con zonas muertas de entrada, una distribución incorrecta del influente y un mantenimiento deficiente (Doni, et al., 2023).

En Ecuador, el Ministerio del Ambiente, Agua y transición Ecológica regula los límites permisibles para la descarga de aguas residuales mediante la Norma de Calidad Ambientes y Descarga de Efluentes al recurso Agua (Libro VI – TULSMA). Esta norma establece los parámetros a medir juntos con sus concentraciones máximas permisibles. Por lo tanto, la caracterización de las aguas residuales tiene un propósito ambiental, normativa y técnico, ya que permite evaluar la eficiencia de los tratamientos basados en estos límites legales establecidos

Según (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992) CPE INEN 5 Parte 9 – 1, para la caracterización de las aguas residuales domésticas se procederá por lo menos a la determinación de los siguientes parámetros:

- **DBO₅** : Se refiere a la cantidad de oxígeno que los organismos consumen para descomponer la materia orgánica biodegradable en un período de cinco días, bajo condiciones de 20 ± 1 °C, y oscuridad (Tchobanoglous & Schroeder, 1987)
- **DQO (Demanda Química de Oxígeno)**: Mide el oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica como la inorgánica a través de un proceso químico. Proporciona una medida más generalizada del nivel de contaminación en comparación con la DBO₅, que solo abarca los compuestos biodegradables (Metcalf & Eddy, Inc., 2014).
- **Coliformes Totales y Fecales**: Los coliformes totales se relacionan con la contaminación ambiental y los coliformes fecales reflejan la contaminación de origen intestinal, asociada a la presencia de patógenos (UNICEF & OMS, 2019)

- **Sólido Suspendidos Totales:** Son la cantidad de partículas sólidas que permanecen en suspensión dentro del agua y que pueden ser retenidas mediante filtración. En estas se consideran o subdivide en:
 - *Sólidos Sedimentables*, que corresponden a la fracción de partículas que, bajo condiciones de reposo controladas, sedimentan por acción de la gravedad y pueden medirse en dispositivos como el cono de Imhoff. Su cuantificación permite estimar la tendencia del agua residual a generar lodos y depositarse en conducciones y estructuras hidráulicas (Tchobanoglous G. B., 2003).
 - *Sólidos Suspendidos Totales*, que representan la totalidad de la materia sólida que permanece en suspensión y es retenida mediante filtración, incluyendo tanto partículas orgánicas como inorgánicas. La concentración de SST se relaciona directamente con la turbidez, la carga contaminante y el rendimiento de procesos como la sedimentación y el tratamiento biológico.
- **Nitrógeno Amoniacal y Orgánico:** El nitrógeno amoniacal es la forma de nitrógeno presente en agua como amonio, mientras que el nitrógeno orgánico es aquel que se encuentra contenido en moléculas orgánicas. En conjunto forman parte del Nitrógeno Kjeldahl Total (TKN).

En el contexto ecuatoriano, en un estudio piloto se documentaron datos excepcionales, alcanzando eficiencias cercanas al 100 % para el DBO5 y DQO. Aunque debe ser replicado a mayor escala, este precedente es muy favorable para su implementación en comunas. Otro estudio piloto realizado en Ecuador reportó tasas de remoción importantes para nutrientes inorgánicos; 97% para nitratos y 95% para fosfatos (Matovelle, Quinteros, & Ocho Garcia, 2025).

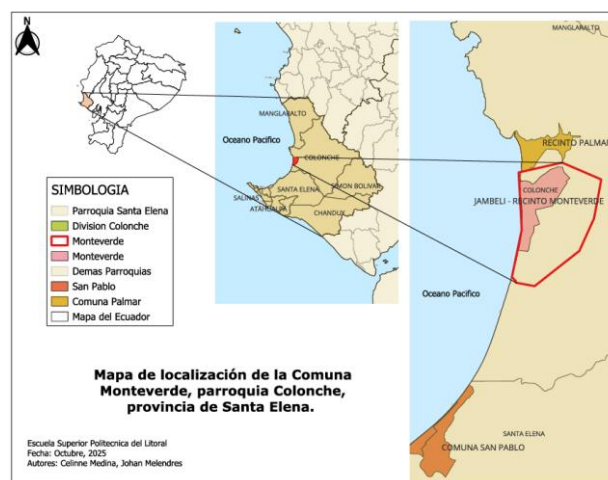
2.2. Área de estudio

La comuna Monteverde se encuentra políticamente adscrita a la parroquia rural de Colonche, dentro del cantón y la provincia de Santa Elena. Está ubicada estratégicamente contigua a la comuna Jambelí. Su posición es excepcionalmente ventajosa: se sitúa en la cercanía inmediata al Océano Pacífico y forma parte de la importante Ruta de la Spondylus (también conocida como Ruta del Sol), la vía costera que conecta a grandes atractivos turísticos como Ayangue, Olón y Montañita, posicionando a Monteverde, como un gran candidato de convertirse en un atractivo turístico.

La localización de las comunas, referenciada al sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) con datum WGS 84, zona 17 Sur (17S), tiene las coordenadas: 529613.10 m (E), 9773144.41m (N).

Figura 1.

Mapa de la Zona de Estudio (Comuna Monteverde y Jambelí).



Nota: Realizado en QGis (Elaboración Propia)

De acuerdo con el PDyOT elaborado por (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Rural Colonche, 2023), se tiene lo siguiente:

2.2.1. Topografía

La comuna está dominada por dos unidades geomorfológicas principales: mesetas (relieves más elevados y disectados) y glacis (superficies planas con pendientes suaves). Estas componen el paisaje que rodea la comuna y permiten distinguir las siguientes zonas:

- Zona Urbana/costera: La zona inmediata a la playa y el asentamiento principal de los comuneros son terrenos planos o de pendientes suaves. Esto facilita la construcción, pero aumenta riesgo de inundación.
- Zona oriental (hacia cordillera y río Javita): Hacia el este de la parroquia, la topografía se caracteriza por laderas accidentadas y mesetas (clases M2 a M7) sumadas a las pendientes de los glacis, propician a condiciones de erosión extrema.

2.2.2. Tipo de terreno

El tipo de terreno de la comuna responde a una evolución geológica de ambientes marinos bajo clima árido. Por este motivo, los suelos presentan alta salinidad y una composición arcillosa.

- Composición: El suelo se encuentra compuesto de areniscas calcáreas y depósitos salinos, ocasionados por antiguos procesos químicos donde los minerales se acumularon, brindándole al suelo una naturaleza salina propia.
- Base Litológica: Litología está asociada a areniscas calcáreas de edad cuaternaria. Estos materiales forman parte de la formación **Tablazo**, una unidad geológica característica del perfil costero, producto de antiguas transgresiones marinas.
- Minerales: Rico en minerales no metálicos, los cuales se obtienen recursos como: caliza, diatomita, arcillas, bentonitas.

2.2.3. Edafología (estudio del suelo)

Las características físicas de la capa superficial están fuertemente influenciadas por su composición:

- **Composición principal:** El suelo de la comuna es mayormente arcilloso.
- **Características vértices:** Se presentan fenómenos de hinchamiento significativo cuando el suelo se humedece y una severa contracción acompañada de profundas grietas cuando se seca.
- **Textura:** Impacta directamente en la permeabilidad y retención del agua, muestra una clara preponderancia de clases finas siendo franco arcilloso, arcilloso y limoso.

2.2.4. Taxonomía del suelo

Considerando la clasificación taxonómica, los órdenes de suelo predominantes evidencian condiciones de aridez y presentan restricciones considerables que afectan su aprovechamiento:

- **Aridisol:** Típicos de ambientes áridos y semiáridos, la actividad agropecuaria se ve severamente restringida por el déficit hídrico extremo.
- **Vertisol:** Suelos con alto contenido de arcillas expansibles, propiedad que dificulta su manejo técnico y compromete la estabilidad en obras de infraestructura.

2.2.5. Humedad

El régimen del suelo se clasifica de ústico (seco por largos períodos) a arídico (secándose casi por completo de forma permanente). Este régimen confirma la severa escasez de agua que afecta a la zona durante la mayor parte del año.

2.2.6. Climatología

A causa de la interacción entre la Corriente de Humboldt y la cordillera Chongón-Colonche, se configura un entorno predominantemente seco, definido por dos rasgos principales:

- **Aridez marcada:** Las lluvias son escasas, alcanzando apenas entre 100 y 200 mm anuales; esto genera temporadas muy diferenciadas y mantiene un déficit de humedad constante.
- **Oscilación térmica:** Aunque el promedio es de 24.2°C, la temperatura es muy variable: cambia más entre el día y la noche que entre los meses. Se registran picos extremos de calor intenso en febrero 36°C y picos de frío de octubre 15.6°C.

2.2.7. Vegetación

La vegetación se caracteriza por adaptarse a las condiciones edafoclimáticas áridas y al ambiente litoral. Teniendo:

- **Matorral seco de tierras bajas de la costa:** Vegetación arbustiva adaptada a la sequía y baja altitud.
- **Bosque deciduo de tierras bajas de la costa:** Formación arbórea que pierde sus hojas durante estación seca como mecanismo de supervivencia.
- **Vegetación de playas marinas y vegetación herbácea de playa marina:** Especies que crecen directamente sobre la arena, adaptadas a la alta salinidad.

2.2.8. Hidrografía

La comuna se encuentra situada al Rio Javita, una de las cuencas que conforman el sistema hidrográfico de la Parroquia Colonche. Sin embargo, la mayor parte de los cuerpos de agua esta cuenca, incluyendo el rio Javita, presenta un régimen intermitente. Esto quiere decir que, estos cauces solo fluyen durante la temporada de lluvias, Su caudal no es constante durante todo el año y disminuye o se seca durante gran parte del tiempo.

M0780	2018	156.5	185.90	37.8	6.7	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-
	Prom	25.75	27.08	17.3	16.70	6.90	1.48	0.92	0.85	1.18	2.51	1.2	1.38

Nota: Obtenido de Base de Datos INHAMI

2.2.10. Condiciones sociales/económicas

Las comunas Monteverde y Jambelí cuentan con un presupuesto limitado y tiene como principal motor económico la pesca artesanal, vital para la subsistencia local, que incluye la captura en mar abierto y la recolección de especies como conchas y cangrejos. Además, la economía se complementa con el desarrollo de la acuicultura y otras actividades como la agricultura y ganadería, mientras que el turismo presenta un escaso desarrollo que aún no logra consolidarse como un reemplazo de las fuentes de empleo tradicionales.

2.3. Trabajo de campo y laboratorio

El diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Residuales (PTAR) para las comunas Monteverde y Jambelí se plantea como una acción prioritaria, en estricta consonancia con los objetivos de saneamiento ambiental y desarrollo sostenible delineados en el PDyOT, así como con los lineamientos de diversos informes nacionales e internacionales. La selección de la alternativa óptima requiere de una fase preliminar de diagnóstico riguroso, que asegure la viabilidad técnica, económica y ambiental del sistema propuesto.

La fase inicial correspondió a una visita técnica hacia la comuna, ya que se necesita la recolección de datos primarios. Dada la naturaleza del estudio y las limitaciones logísticas para el monitoreo continuo, se ejecutó un muestreo puntual. El punto de recolección fue seleccionado en la última estación de Bombeo #4, ubicada en Monteverde. Dicha estación constituye el punto de confluencia hidráulica que consolida la totalidad de las descargas generadas por ambas

comunas (Monteverde-Jambelí), previo a la impulsión del caudal hacia el sistema de tratamiento existente (laguna de oxidación).

Figura 2

Estación de Bombeo Número 4 (Monteverde).



Nota: Foto tomada por Celular Johan Melendres (18 de noviembre, 2025)

Figura 3

Aguas Residuales Estación de Bombeo 4.



Nota: Foto tomada por Celular Johan Melendres (18 de noviembre, 2025)

La recolección de muestras de agua residual se efectuó con la asistencia directa del personal técnico operativo de las Estaciones de Bombeo de la comuna Monteverde y Jambelí. Simultáneamente a la toma de muestras, se socializó con los operadores y se recabó información primaria sobre los protocolos de operación y mantenimiento.

Los operadores comentaron que se posee una problemática obstrucción prematura en las rejillas, causada por el ingreso constante de sólidos gruesos y materiales no biodegradables. Originando que, se ejecuten labores de limpieza manual intensiva con una periodicidad aproximada de catorce días (bimensual), lo cual implica negativamente la eficiencia hidráulica y operativa de las estaciones.

Figura 4

Recolección de muestra puntual de agua residual, estación 4.



Nota: Foto tomada por Celular Johan Melendres (18 de noviembre, 2025).

Figura 5

Socialización con Operadores de Estaciones de Bombeo Comuna Monteverde y Jambelí.



Nota: Foto tomada por Celular Celinne Medina (18 de noviembre, 2025)

La muestra recolectada se envasó en botellas plásticas de polipropileno (PP) con tapa hermética, con lo que se garantizó que los envases estuvieran químicamente limpios y libres de residuos. Para minimizar la alteración de la concentración de los parámetros, la preservación se estableció mediante la cadena de frío.

Las muestras fueron refrigeradas a un rango de temperatura entre (4°C a 6°C) inmediatamente después de ser recolectadas y deben ser transportadas bajo una estricta cadena de custodia al laboratorio, por lo que se colocan en una hielera cuya temperatura ya ha sido regulada con ayuda de hielo seco. Bajo estas condiciones el agua residual tiene una duración de 6 a 8 horas.

Figura 6

Agua residual tomada de la estación 4.



Nota: Foto tomada por Celular Celinne Medina (18 de noviembre, 2025)

Tras la recolección y el almacenamiento adecuada de las muestras, se realizó una inspección técnica in situ de las lagunas de oxidación existente, con el fin de obtener un diagnóstico integral de su estado funcional actual. Los operadores indicaron que las lagunas han permanecido en funcionamiento continuo durante un periodo de aproximadamente 2 años, Un hallazgo crítico fue la ausencia total de actividades de mantenimiento desde su puesta en marcha.

La laguna de oxidación no presentaba olores nocivos, lo que preliminarmente sugiere, una condición de estabilidad aeróbica o facultativa. Además, se constató un nivel de agua inusualmente bajo, y el personal confirmó que no se produce descarga de efluente hacia ningún cuerpo receptor natural. Por lo cual, la combinación de un bajo nivel de operación y ausencia de descarga sugiere fuertemente una pérdida considerable de volumen de agua.

Lo observado en campo advierte sobre posibles fallas en la impermeabilización, lo que da paso a la fuga de aguas residuales hacia el subsuelo; esto genera un impacto negativo elevado: la contaminación de las reservas subterráneas y falla del sistema.

Figura 7

Lagunas de Oxidación Existentes para Comuna Monteverde y Jambelí.



Nota: Foto tomada por Celular Johan Melendres (18 de noviembre, 2025)

Finalmente se debe llevar el proceso de caracterización de aguas residuales en el laboratorio. Parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Coliformes Totales, Coliformes Fecales, NPK (Nitrógenos Orgánico + Nitrógeno amoniacal), patógenos, información indispensable para el dimensionamiento de la planta de tratamiento y el cumplimiento de las normas de descarga.

2.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Este es un parámetro fundamental para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento como lagunas aireadas o reactores de lodos activados. La determinación de la DBO_5 se realiza en un laboratorio mediante un respirómetro que mide la disminución del oxígeno disuelto. A medida que los microorganismos consumen oxígeno, la presión disminuye y este cambio permite calcular la cantidad de materia orgánica que ha sido degradada.

El análisis y determinación de la DBO_5 , exige el uso de reactivos como agua destilada, buffers de nutrientes, cloruro de magnesio, necesarios para asegurar un entorno favorable a la actividad microbiana encargada de los procesos de degradación.

El procedimiento para el análisis de DBO_5 se realizó de la siguiente manera:

- Se ajustó la muestra a una temperatura en el rango de 20 ± 1 °C, para garantizar la actividad biológica adecuada.
- Posteriormente, se homogenizó utilizando un plato agitador magnético
- Se midieron 95 mL de la muestra con una probeta graduada, se añadió un sobre de buffer de nutrientes y se mezcló suavemente con varilla de vidrio hasta su completa disolución.
- La mezcla preparada se transfirió a una botella ámbar de 300 mL para DBO, se incorporó una barra agitadora magnética.
- Se selló la botella con un tapón de caucho y se conectó al sistema de respirómetro.
- La botella sellada se colocó en una incubadora de DBO, configurada a 20 ± 1 °C y se programó un período de incubación de 5 días (120 horas).

A partir del análisis de las muestras en la estación de bombeo, se determinó la concentración de DBO_5 (en mg/L). Al combinar esta concentración con el caudal promedio diario (Q_{prom}), se calculó la carga orgánica total, dada en $\frac{kg}{día}$.

2.3.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

El análisis de DQO se basa en un proceso de oxidación química de la materia orgánica presente en la muestra de agua, utilizando dicromato de potasio en un medio ácido. Produciendo un cambio de color de naranja a verde. Este cambio se mide espectrofotométricamente y permite

determinar cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica. (American Public Health Association (APHA), 2017)

El procedimiento para el análisis de DQO fue:

- Se colocó un matraz Erlenmeyer de 125 mL en un plato agitador durante 30 segundos para verificar que estuviera limpio y seco. Paralelamente, se precalentó el reactor DRB 200 a una temperatura de 150°C.
- Con una micropipeta, se transfirieron 2mL de muestra al vial de digestión, que contenía solución reactiva. Luego se limpió el exterior del vial para evitar interferencias en la lectura del espectrofotómetro.
- Se preparó un vial blanco siguiendo el procedimiento anteriormente descrito, pero utilizando 2 mL de agua desionizada en lugar de la muestra.
- Se agitaron manualmente ambos viales. Luego, se colocaron en el reactor DRB 200 y se calentaron durante 120 minutos a 150 °C.
- Transcurrido el tiempo de digestión, se apagó el reactor y se dejó que los viales se enfriaran hasta 120 °C. Posteriormente, se agitó cada vial durante 30 segundos y se esperó a que viales alcanzaran la temperatura ambiente.
- Antes de la lectura, se limpiaron nuevamente los viales. Se colocó primero el vial blanco (agua desionizada) en el espectrofotómetro, cerrando la cubierta del equipo. Luego, se presionó el botón “ZERO” para establecer el punto de referencia (0 mg/L).
- Finalmente, se retiró el vial blanco y se insertó el vial que contenía la muestra digerida. El valor mostrado corresponde a la concentración de DQO de la muestra.

Al ejecutarse el análisis de laboratorio de las muestras recolectadas de la estación de bombeo que concentra los caudales de Monteverde y Jambelí, proporcionaron las concentraciones de DQO en mg/L y, a partir de las cuales se obtiene la relación DQO/DBO₅.

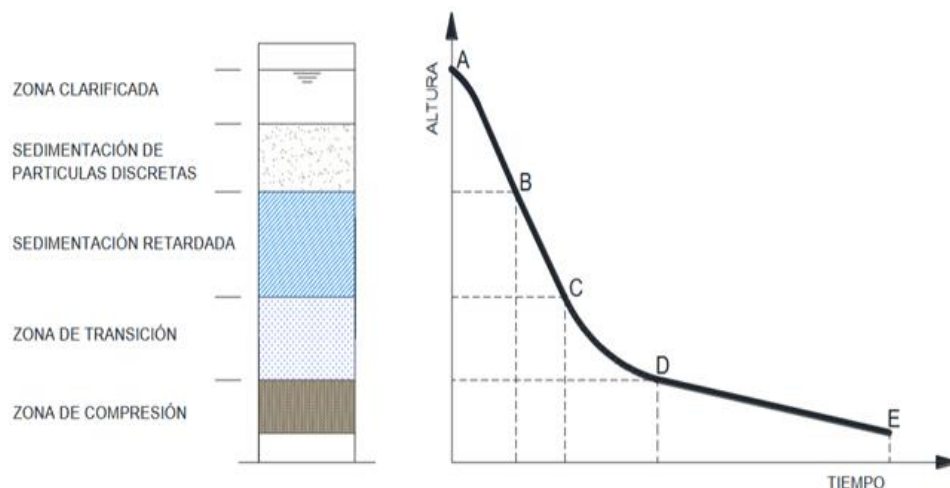
Una relación baja indica una alta biodegradabilidad del agua residual y, su aptitud para un tratamiento secundario biológico. En cambio, una relación alta sugiere la necesidad de optimizar el pretratamiento o incorporar procesos avanzados para la remoción de materia orgánica refractaria.

2.3.3. *Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Volátiles Totales (SVT).*

En conjunto, la evaluación de ST, SST y SVT proporciona una visión integral del contenido de sólidos del agua residual y de su comportamiento dentro de los sistemas de tratamiento (Metcalf & Eddy, Inc., 2014).

Figura 8

Mapa de Curva de Sedimentación.



Nota: Elaborado por Pamela Castillo

- **Zona A-B:** En esta etapa, la separación entre etapas es visible. En este las partículas empiezan a agruparse, evidenciando un breve periodo de “sedimentación discreta”.

- **Zona B-C:** Aquí muestra un comportamiento lineal y velocidad constante. En este punto la interacción entre flóculos y el aumento de partículas frenan el descenso, ocasionando lo conocido como “*sedimentación retardada*”.
- **Zona C-D:** Es punto de quiebre o transición. A causa de la alta concentración de sólidos, las partículas ya no pueden caer libremente. Lo cual, para asentarse, deben desplazar el agua hacia arriba a través de espacios reducidos; este flujo genera una resistencia que frena drásticamente la velocidad de sedimentación.
- **Zona D-E:** Ya no hay sedimentación como tal, sino compactación. El peso de las capas superiores aplasta a las inferiores, obligando al agua atrapada a salir.

El procedimiento para determinación de Sólidos Totales (ST) se ejecutó el método gravimétrico estándar, tal como se describe:

- Una cápsula de evaporación limpia se colocó en el horno a 103-105 °C durante una hora para asegurar su secado completo.
- Luego, la capsula se retiró del horno y se transfirió inmediatamente a un desecador, donde se dejó enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente. Una vez fría, se pesó en una balanza analítica (Peso Inicial, W_i).
- Posteriormente, se transfirió a la capsula un volumen conocido de la muestra de agua (generalmente 25 a 100 mL).
- La cápsula que contenía la muestra se colocó en una estufa a una temperatura entre (85-95°C) o en un baño de vapor. Se mantuvo en estas condiciones hasta que el agua se evaporó completamente.
- Posteriormente, la cápsula con el residuo seco se introdujo nuevamente al horno y se secó a una temperatura de 103-105 °C durante al menos una hora.

- Se retiró del horno, y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Una vez fría, se volvió a pesar con precisión (Peso Final, W_f)
- La concentración de Sólidos Totales (ST) en mg/L se calculó a partir de la diferencia de peso entre el residuo final y la cápsula inicial, dividido por el volumen de la muestra utilizada.

El procedimiento para determinación de Sólidos Sedimentables Totales (SST):

- Se montó un sistema de filtración al vacío con un matraz Erlenmeyer de salida lateral conectado a una bomba de vacío y a un embudo de filtro.
- Se colocó un papel filtro en el embudo, se lava con agua destilada y luego se secó,
- Posteriormente, el conjunto formado por el vidrio de reloj y el papel filtró seco se pesó en una balanza analítica. Este peso inicial se registró como masa del conjunto seco.
- El papel filtro se colocó nuevamente en el embudo de filtración y se filtraron 100 mL de la muestra sobre el filtro. Se aceleró el proceso de filtración mediante la bomba de vacío. Tras la filtración, el conjunto (vidrio reloj + papel filtro con la muestra retenida) se colocó en una estufa a 105 °C durante 24 horas para asegurar el secado completo.
- Una vez seca, la muestra se dejó enfriar en un desecador para evitar la absorción de humedad y se volvió a pesar.
- A partir de la diferencia entre el peso final y el inicial, considerando el volumen filtrado, se obtuvo la concentración de sólidos suspendidos totales (SST), expresada en mg/L.
- El procedimiento para determinación de Sólidos Volátiles Totales (SVT):

- La cápsula que contenía el residuo de Sólidos Totales (el peso final, W_f de la prueba de ST) se colocó en una mufla.
- El residuo se sometió a una temperatura de 150 °C durante 20 minutos o hasta que el residuo quedó completamente incinerado (cenizas). Este proceso se aseguró de la volatilización de toda la materia orgánica.
- Se retiró la capsula de la mufla y se transfirió inmediatamente a un desecador para que se enfriara hasta alcanzar la temperatura ambiente.
- Una vez fría, la cápsula con las cenizas (materia inorgánica) se pesó con precisión en la balanza analítica (Peso Final Calcinado, W_{fc}).
- La concentración de Sólidos Volátiles Totales (SVT) en mg/L se calculó determinando la pérdida de masa tras la calcinación, en relación con el volumen original de la muestra.

2.3.4. Coliformes totales y fecales

Los coliformes son un grupo de bacterias tipo *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* que actúan como indicadores sanitarios por su capacidad de fermentar la lactosa. Las bacterias mencionadas anteriormente se clasifican en dos categorías principales: *Coliformes Totales (CT)*, que actúan como indicadores generales de calidad del agua; y *Coliformes Fecales (CF)* cuya presencia es fuerte evidencia de una contaminación de origen entérico, es decir por desechos sea de humanos o animales.

Para realizar el análisis mediante la técnica de fermentación de tubos múltiples (NMP), fue necesaria una preparación estricta de los reactivos. Los medios de cultivos específicos utilizados fueron:

- Caldo Lauril Triptosa (LST): Usado en la fase presuntiva para la recuperación inicial de bacterias

- Caldo Lactosa Bili-Verde Brillante (BGBB): Utilizado como medio confirmativo para coliformes totales.
- Caldo EC: Específicos para confirmar la presencia de contaminación fecal a temperaturas elevadas (termo tolerantes).

El análisis se llevó a cabo en tres etapas consecutivas siguiendo lo establecido por (American Public Health Association, 2023), Standard Methods 9221 B.

2.3.4.1 Prueba Presuntiva (Coliformes Totales)

- Se prepararon diluciones seriadas de la muestra de agua, y se sembraron volúmenes específicos (10 mL, 1.0 mL y 0.1 mL) en un juego de cinco (5) tubos por dilución, los cuales contenían Caldo Lauril Triptosa (LST).
- Todos los tubos sembrados se colocaron en una estufa de incubación a 35 ± 0.5 °C durante 24 ± 2 horas.
- Aquellos tubos que mostraron turbidez y gas en la campana de Durham se registraron como positivos presuntivos.
- Los tubos sin gas a las 24 horas se re-incubaron hasta las 48 horas. Los que mostraron gas a las 48 horas también se registraron como positivos.

2.3.4.2 Prueba Confirmativa (Coliformes Totales)

De cada tubo positivo presuntivo en LST, se transfirió asépticamente una pequeña porción del cultivo a tubo con Caldo Bili-Verde Brillante (BGBB).

- Los tubos BGBB se incubaron a 35 ± 0.5 °C durante 48 ± 3 horas.
- Los tubos BGBB con producción de gas en la campana de Durham se registraron como positivos confirmados para Coliformes Totales.

2.3.4.3 Prueba Completiva (Coliformes Fecales Termo tolerantes)

- De cada tubo positivo presuntivo en LST, se transfirió una porción a un tubo con Caldo EC.
- Los tubos con Caldo EC se colocaron en un baño de agua y se incubaron a 44.5 ± 0.2 °C durante 24 ± 2 horas.
- Los tubos EC que mostraron producción de gas en la campana de Durham se registraron como positivos para Coliformes Fecales.

2.3.4.4 Cálculo del Número Más Probable (NMP)

- Se contabilizó el número total de tubos positivos obtenidos en la Prueba Confirmativa y en la Prueba Compleativa para cada dilución.
- Con estos resultados se consultó una Tabla Estándar de NMP y se obtuvo el Índice NMP por 100 mL de la muestra.

2.3.5. NPK (Nitrógenos Orgánico + Nitrógeno amoniacal)

Según (Environmental Protection Agency, 1993) las muestras deben recogerse en botellas de plástico o vidrio que estén limpias, el volumen recogido debe ser representativa para permitir su posterior análisis, debe mantenerse a una temperatura de 4 a 6 °C y la prueba debe ser tomada lo antes posible.

El procedimiento de laboratorio considerado es el Método 350.1 que va de la siguiente manera:

- Añadir 500 ml de agua reactiva en un matraz Kjeldahl de 800ml. Se añade carbón vegetal previamente tratados con Hidróxido de Sodio (NaOH) para evitar que se formen burbujas.
- Eliminar el cloro residual de la muestra añadiendo agente de cloro como el tiosulfato de sodio y el sulfito de Sodio en agua y dilúyelo en 1 Litro. Un mL de

esta solución removerá 1 mg/l de cloro residual por 500 mL de la muestra. Se debe de chequear el pH y controlarlo añadiendo NaOH.

- Transfiera la muestra cuyo pH ha sido ajustado a 9.5 pH a un matraz Kjeldahl de 800 ml y añada 25 ml del tampón de borato. Destilar 300 ml a una velocidad de 6-10 ml/min en 50 ml de ácido bórico al 2 % contenido en un matraz Erlenmeyer de 500 ml.
- Dado que la intensidad del color utilizado para cuantificar la concentración depende del pH, la concentración ácida del agua de lavado y las soluciones estándar de amoníaco deben ser similares a las de las muestras.
- En un matraz de 800 mL agregar 6.7ml de H₂SO₄, 6.7 g de K₂SO₄ y 0.365 g de CuSO₄. Debe calentar hasta reducción a 25–50 mL, Continuar calentando hasta obtener digestión clara y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Se debe colocar los patrones de amoníaco en el carrusel de muestras, en orden descendiente de concentración.
- Prepare una curva de calibración representando gráficamente la respuesta del instrumento frente a la concentración estándar. Calcule la concentración de la muestra comparando la respuesta de la muestra con la curva estándar.
- Incluya en el informe solo aquellos valores que se encuentren entre los estándares de calibración más bajos y altos. Las muestras que superen el estándar más alto deben diluirse y volver a analizarse.

2.4. Análisis de resultados

2.4.1. Cálculo de resultados

2.4.1.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

$$\text{DBO}_5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(\text{OD}_i - \text{OD}_f) - (\text{B}_i - \text{B}_f) * f}{P} \quad \dots (2.4.1)$$

- OD_i = Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) inicial de la muestra diluida, medido a momento de inicio de la prueba. Su unidad es mg/L.
- OD_f = Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) final de la muestra diluida, medida después de la incubación de 5 días. Su unidad es mg/L.
- B_i = Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) inicial del agua desionizada. Su unidad es mg/L.
- B_f = Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) final del agua desionizada. Su unidad es mg/L.
- f = Factor de dilución de agua desionizada, casi siempre es 1.
- P = Fracción decimal de muestra en la botella de incubación. Calculada como:

$$P = \frac{\text{Volumen de la muestra (mL)}}{\text{Volumen total de la botella (mL)}} \quad \dots (2.4.1.1.1)$$

El resultado se expresa en (mg/L) y nos arrojó la tasa de consumo de oxígeno por parte de los microorganismos aerobios que descomponen la materia orgánica en el agua. Un valor alto indica que el agua posee una gran cantidad de materia orgánica biodegradable, pudiendo causar anoxia (falta de oxígeno) y muerte de la vida acuática.

2.4.1.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En este caso, esta información se obtuvo directamente de la lectura del espectrofotómetro, que aplica internamente una curva de calibración, como se puede observar a continuación:

Figura 9

Ejemplo de resultados obtenidos por el espectrofotómetro.



$$DQO \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{Lectura espectrofotométrica directa} \quad \dots (2.4.1.2.1)$$

El resultado obtenido está en unidades (mg/L), y brindó la cantidad de oxígeno que se necesitó para oxidar toda la materia orgánica e inorgánica oxidable presente en la muestra.

2.4.1.3 Relación DQO/DBO_5

$$\text{Relación} \frac{DQO}{DBO_5} = \frac{\text{Concentración de DQO} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{\text{Concentración de } DBO_5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} \quad \dots (2.4.1.3.1)$$

El resultado obtenido es adimensional, este índice indica la proporción de la contaminación que no es fácilmente asimilable, se posee tres rangos de relación:

- Menor a 2.5: Alta biodegradabilidad
- Entre 2.5 y 4: Biodegradabilidad moderada
- Mayor a 4: Baja biodegradabilidad

2.4.1.4 Sólidos totales

$$ST \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(W_f - W_i) * 1000}{\text{Volumen de la muestra (ml)}} \quad \dots (2.4.1.4.1)$$

- W_f : Peso del conjunto (cápsula+sólidos) después del secado a 105°C, sus unidades son en mg.
- W_i : Peso inicial de la cápsula de evaporación seca. Sus unidades son en mg.
- 1000: Factor de conversión de mg a g y ajuste para obtener el resultado en mg/L.

2.4.1.5 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

$$SST \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(W_{\text{final}} - W_{\text{inicial}}) * 1000}{V \text{ (L)}} \quad \dots (2.4.1.5.1)$$

W_{final} : Peso del filtro con los sólidos después del secado, en gramos.

W_{inicial} : Peso del filtro vacío antes del secado, en gramos.

V: Volumen de la muestra filtrada.

2.4.1.6 Sólidos volátiles Totales

$$SVT \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}) * 1000}{V \text{ (L)}} \quad \dots (2.4.1.6.1)$$

W_{final} : Peso del filtro con los sólidos después de la incineración, en gramos.

W_{inicial} : Peso del filtro con los sólidos antes de la incineración, en gramos.

V: Volumen de la muestra filtrada.

2.4.1.7 Coliformes Totales y Fecales.

La cuenta para obtener los coliformes fecales y totales es el mismo, ya que en ambos casos se estima un NMP por 100 mL, utilizando las tablas NMP de Estándar Methods especialmente la Tabla 922.III (en el caso de 10 tubos de 10 mL) y 9222IV (en el caso de 5 Tubos en diluciones de (10, 1, 0.1 mL))

$$\text{NMP Coliformes Totales o Fecales} \left(\frac{\text{NMP}}{100\text{mL}} \right) = N_{\text{tabla}} * \text{FD} \quad \dots (2.4.1.7.1)$$

- N_{tabla} : Valor NMP de las tablas mencionadas anteriormente que serán colocadas en la Tabla 2 y Tabla 3.
- FD: Factor de Dilución de la muestra original correspondiente al grupo de tubos de menor dilución.

Tabla 2

Valores NMP 10 tubos de 10 mL.

Table 11.1 EPA9221.III MPN Index and 95% Confidence Limits for Various Combinations of Positive and Negative Results When Ten (10) ml Portions are Used				
No. Of Positive Tubes Out of 10 Of 10 mL Each	Index	MPN 100 mL	95 % Confidence Limits (Approximate)	
			Lower	Upper
0	<1.1		0.0	3.0
1	1.1		0.03	5.9
2	2.2		0.26	8.1
3	3.6		0.69	10.6
4	5.1		1.30	13.4
5	6.9		2.10	16.8
6	9.2		3.10	21.1
7	12.0		4.30	27.1
8	16.1		5.90	36.8
9	23.0		8.10	59.5
10	>23.0		13.50	Infinite

Tabla 3*Valores NMP 5 tubos por disoluciones*

**Table 11.2 EPA 9221.IV MPN Index and 95% Confidence Limits for Various
Combination of Positive When Results Five Tubes Are Used per Dilution (10ml. 1.0ml
and 0.1ml)**

Combination of Positives	MPN Index/100 mL	95% of Confidence Limits		Combination of Positives	MPN Index/100 mL	95% of Confidence Limits	
		Lower	Upper			Lower	Upper
		0-0-0	<2				
0-0-1	2	1.0	1.0	4-3-0	27	12	67
0-1-0	2	1.0	1.0	4-3-1	33	15	77
0-2-0	4	1.0	13				
				5-0-0	23	9.0	86
1-0-0	2	1.0	11	5-0-1	30	10	110
1-0-1	4	1.0	15	5-0-2	40	20	140
1-1-0	4	1.0	15	5-1-0	30	10	120
1-1-1	6	2.0	18	5-1-1	50	20	150
1-2-0	6	2.0	18	5-1-2	60	30	180
2-0-0	4	1.0	17	5-2-0	50	20	170
2-0-1	7	2.0	20	5-2-1	70	30	210
2-1-0	7	2.0	21	5-2-2	90	40	250
2-1-1	9	3.0	24	5-3-0	80	30	300
2-2-0	9	3.0	25	5-3-1	110	40	300
2-3-0	12	5.0	29	5-3-2	140	60	360
3-0-0	8	3.0	24	5-3-3	170	80	410
3-0-1	11	4.0	29	5-4-0	130	50	390

3-1-0	11	4.0	29	5-4-1	170	70	480
3-1-1	14	6.0	35	5-4-2	220	100	580
3-2-0	14	6.0	35	5-4-3	280	120	690
3-2-1	17	7.0	40	5-4-4	350	160	820
4-0-0	13	5.0	38	5-5-0	240	100	940
4-0-1	17	7.0	45	5-5-1	300	100	1300
4-1-0	17	7.0	46	5-5-2	500	200	2000
4-1-1	21	9.0	55	5-5-3	900	300	2900
4-1-2	26	12	63	5-5-4	1600	600	5300
4-2-0	22	9.0	56	5-5-5	>=1600		

2.4.1.8 NPK (Nitrógeno Amoniacal + Nitrógeno Orgánico)

El método 4500-N-C utiliza una técnica que usa de digestión ácida, con ácido sulfúrico generalmente para convertir todo el Nitrógeno presente en la muestra a Nitrógeno Amoniacal, seguido de medición espectrofotométrica del amoniaco liberado.

$$\text{Nitrógeno Total } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{A * F * V_{\text{final}}}{V_{\text{muestra}} * 1000} \quad \dots (2.4.1.8.1)$$

- A: Absorbancia medida por el espectrofotómetro.
- F: Factor de Calibración basado en la curva estándar del amoniaco (estándares usados para la calibración).
- V_{final} : Volumen total de la solución después de la digestión y destilación (mL).
- V_{muestra} : Volumen de muestra utilizado en el proceso de digestión (mL).

2.5. Análisis de Resultados

Los ensayos para obtener parámetros mencionados anteriormente se realizaron de manera particular por el Laboratorio de Agua & Suelos de Deproin S.A, ubicados en Av. Francisco de Orellana – Call Dr. Eleodoro Alvarado Olea. Samanes 7 Mz. 2224 V. 1. Los resultados obtenidos en los ensayos tienen su respectiva comparativa con los límites máximos permisibles según Tabla 9 de la TULSMA (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2003). Se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4

Resultados de Ensayos de Laboratorio.

Parámetros	Unidades	Resultados	U	Limite Permissible	Regla de Decisión	Declaración de Conformidad
Coliformes Fecales NMP	NMP/100 mL.	>1600000		2000		
Coliformes Totales NMP	NMP/100 mL.	>1600000				
Demanda Bioquímica de						
Oxígeno (DBO5)	mg/L.	227	25	100	252	No Cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L.	483	30	200	513	No Cumple
Nitrógeno Amoniacal	mg/L.	74.1	4.2	30.0	78.3	
Nitrógeno Orgánico	mg/L.	12.83	1.00		13.83	
Parásitos Nemátodos Intestinales	Ausencia/ Presencia.	Ausencia				
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L.	146.8	3.5	130.0	150.3	No Cumple
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	1072.000				
Sólidos Totales	mg/L	936	13	1600	949	Cumple

Nota: Realizado por Laboratorio de Agua & Suelos de Deproin S.A

Tabla 5*Método de Análisis para cada parámetro*

Parámetros	Método de Análisis
Coliformes Fecales NMP	PEE-GWM-MB-76
Coliformes Totales NMP	PEE-GQM-FQ-76
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	DP.PEE.AG.27/S.M.5210 B-S.M. 4500 O.H.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	DP.PEE.AG.09/HACH 8000
Nitrógeno Amoniacal	DP.PEE.AG.29/HACH 10031
Nitrógeno Orgánico	PEE-GQM-FQ-42
Parásitos Nemátodos Intestinales	Método Interno
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	DP.PEE.AG.10/S.M2540D
Sólidos Volátiles Totales	PEE-GQM-FQ-22
Sólidos Totales	DP.PEE.AG.08/S.M. 2540 B

Nota: Realizado por Laboratorio de Agua & Suelos de Deproin S.A

Con los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio, un parámetro de vital importancia es el de la relación DQO/DBO_5 , ya que indica que tan biodegradable es el agua residual, es decir que parte de la materia orgánica se puede aprovechar de manera efectiva por los microorganismos.

$$\text{Relacion } \frac{DQO}{DBO_5} \quad \dots (2.5.1)$$

$$\text{Relación } \frac{DQO}{DBO_5} = \frac{483}{227} = 2.13$$

Este valor indica un agua con alta biodegradabilidad, típicos de aguas residuales doméstica, con poca influencia de industrias. Este valor indica que el agua es adecuada para el tratamiento

biológico con sistemas como reactores Anaeróbicos (UASB), lagunas y humedales, que si tiene un buen diseño se esperan alta remoción de DBO_5 y DQO.

2.6. Análisis de alternativas

La problemática de aguas residuales en Monteverde es un tema crucial que requiere soluciones que se ajusten a las restricciones de eficiencia, viabilidad y, sobre todo, una relación costo beneficios favorable. Por lo cual, se proponen alternativas que cumplan con la función de remoción de nutrientes y materia orgánica y, al mismo tiempo, se adapten a las restricciones mencionadas anteriormente, priorizando opciones descentralizadas y de bajo costo operativo.

Para garantizar una elección transparente y sostenible, se empleará el Análisis de Decisión Multi-Criterio (ADMC) . Esta metodología permitirá evaluar las alternativas a proponer, integrando dimensiones técnicas, sociales, económicas y ambientales. Pero, jerarquiza los criterios según las necesidades de la mancomuna, otorgando mayor relevancia a la facilidad de operación y economía de mantenimiento.

La metodología se sustenta en los principios del proceso analítico jerárquico (*AHP*) propuesto por (Saaty, 1980), con el objetivo de que la alternativa seleccionada obtenga la mayor puntuación ponderada final y asegure la mejor relación costo-beneficio a largo plazo. Las alternativas seleccionadas fueron las siguientes:

- **Alternativa 1:** Rejillas+ Desarenador+ Laguna Anaerobia+ Laguna Facultativa.
- **Alternativa 2:** Rejillas+ Desarenador + Laguna Anaerobia+ Humedal subsuperficial flujo horizontal (HSSFH)
- **Alternativa 3:** Rejillas+ Desarenador + Reactor UASB + Humedal subsuperficial híbrido (horizontal y vertical) (HSSFHV).

2.6.1. Primera alternativa: Rejillas + Desarenador + Laguna Anaerobia + Laguna Facultativa.

La alternativa 1 (A1): “Rejillas + Desarenador + Laguna Anaerobia + Laguna Facultativa” propone un sistema de tratamiento primario y secundarios, basado en la estabilización biológica natural de las aguas residuales, destacándose por su simplicidad operativa y su perfil económico.

Esta alternativa se basa en un proceso de degradación bacteriana y sedimentación de contaminantes dentro de grandes “cubetas” de tierra y requiere una mínima intervención humana.

- El sistema trabaja por gravedad, minimizando el consumo energético,
- Requiere mínimo personal especializado y no depende de equipos electromecánicos complejos.
- Posee una vida útil superior a 20 años y, su necesidad de remoción depende del volumen de la laguna
- Alta eficiencia en remoción DBO, sólidos suspendidos y baja remoción de nutrientes (nitrógenos y fósforo).
- Si ya existe laguna de oxidación, se puede rehabilitar y usarla como laguna facultativa o maduración.
- Mayor requerimiento de área. Si el terreno es escaso o caro juega en contra.

2.6.2. Segunda alternativa: Rejillas+ Desarenador+ Laguna Anaerobia+ Humedal subsuperficial (HSSH)

La alternativa 2 (A2): “Rejillas+ Desarenador+ Laguna Anaerobia +Humedal subsuperficial de flujo horizontal” es un sistema híbrido que utiliza la laguna como tratamiento

primario de la carga orgánica pesada y el humedal como una fase de pulimiento avanzada, brindando mejor calidad de efluente y mayor estabilidad ambiental

Esta alternativa combina la degradación bacteriana de la laguna con la filtración física y asimilación por plantas del humedal. El flujo del agua es subsuperficial lo que minimiza la exposición directa de vectores de enfermedades como mosquitos, moscas.

- El sistema trabaja por gravedad, minimizando el consumo energético,
- Requiere personal semi especializado (para el manejo del ecosistema del humedal), siendo un poco más complejos que la Alternativa 1, pero más simple que los sistemas mecánicos).
- Posee una vida útil superior a 20 años y, su necesidad de remoción depende del volumen de la laguna.
- Alta eficiencia en remoción DBO, sólidos suspendidos y patógenos, especialmente de Nitrógeno (N)
- Ideal para zonas cálidas. Requiere menos área que una serie completa de lagunas de estabilización. Debido al flujo subsuperficial no se genera olores.

2.6.3. Tercera alternativa: Rejillas+ Desarenador+ Reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) + Humedal subsuperficial híbrido (HSSFHV)

La alternativa 3 (A3): “Rejillas+ Desarenador+ Reactor UASB +Humedal subsuperficial híbrido” es un sistema compacto y de alta eficiencia en remoción de nutrientes, siendo ideal para zonas con espacio limitado y normas de descarga estrictas.

Esta alternativa combina un tratamiento primario/secundario acelerado en el Reactor UASB y Humedal Subsuperficial Híbrido (Horizontal y Vertical), el reactor digiere gran parte de

la materia orgánica y produce biogás, mientras el humedal se encarga de la remoción de nutrientes y patógenos.

- Al generar biogás, se compensa y reduce los costos operativos a largo plazo
- Su costo de instalación es elevado, en comparación a métodos mencionados
- Ofrece la máxima eficiencia de DBO, sólidos suspendidos y con la configuración híbrida del humedal, una remoción significativa de nitrógenos y fósforo.
- El sistema requiere mucho menos espacio, en comparación de las anteriores alternativas.
- El reactor debe contar con personal capacitado, para la puesta en marcha, control de lodos y monitoreo del humedal, aumentando el riesgo operativo.

La **Tabla 6**, muestra los criterios de evaluación con sus respectivas calificaciones. La asignación de pesos (P_i) demuestra como se jerarquizó las prioridades del proyecto, dando mayor relevancia a la sostenibilidad económica a largo plazo y a la viabilidad técnica simplificada.

Tabla 6

Criterios de Evaluación para obtener Alternativa ganadora.

Dimensión	Criterio de evaluación	Peso bruto (P_i)	Peso normalizado (W_i)
Económica	Costo de inversión inicial	25	0.25
Económica	Costo operativo y mantenimiento	20	0.2
Técnica	Simplicidad operacional	15	0.15
Ambiental/Social	Calidad del efluente	15	0.15
Técnica	Vida útil de la infraestructura	10	0.1
Ambiental/Social	Requerimiento de suelo	5	0.05
Ambienta/ Social	Olores y percepción comunitaria	5	0.05

Ambiental /Social	Tiempo de ejecución	5	0.05
	Suma Total	100	1

Nota: Fuente de Elaboración Propia

Se asignó el mayor peso a la parte económica, que se considera tanto el costo de inversión inicial y costo de mantenimiento. De ahí, el criterio con también mayor valor es el compromiso ambiental social, debido a que también se posee la necesidad de proteger el ecosistema y asegurar una buena calidad de vida para los habitantes. Siendo 1 la peor calificación y 10 la mejor.

Tabla 7

Evaluación de las Alternativas en base a los criterios.

Criterio Evaluación	Peso normalizado	A1	A2	A3
Costo de Inversión inicial	0.25	8	8	6
Costo Operativo y Mantenimiento	0.20	9	8	3
Simplicidad Operacional	0.15	10	8	5
Calidad del efluente	0.15	5	8.5	9
Vida útil de la Infraestructura	0.10	10	9	7
Requerimiento de suelo	0.05	4	7	9
Olores y percepción comunitaria	0.05	4	7	9
Tiempo de ejecución	0.05	9	8	5
Suma	1	7.9	8	6.65

Nota: Fuente de Elaboración Propia

En función de los criterios de evaluación y la ponderación colocada en la Tabla 3. La alternativa 2 constituye la opción más adecuada para el diseño de la Planta de Tratamiento de agua residual en la comuna.

Si bien la alternativa 1 presenta menores costos de inversión y operación, en ambas alternativas se requerirá la rehabilitación de las lagunas de oxidación ya existentes, incorporación de humedal subsuperficial permite alcanzar mayores eficiencias de remoción de materia orgánica, especialmente de nutrientes como el nitrógeno y fósforo, lo que aumenta la probabilidad de cumplimiento de los límites máximo permisibles establecidos en la Tabla 9 del Texto Unificado de Legislación Secundario del Ministerio del Ambiente (TULSMA), reduciendo así el riesgo de eutrofización.

Adicionalmente, el humedal subsuperficial favorece la generación de un ecosistema seminatural, con desarrollo de vegetación macrófitas y la creación de hábitats para la fauna asociada, lo que aporta beneficios en la biodiversidad y en la percepción social frente a la infraestructura de saneamiento. Esta alternativa no solo apoya a la conservación de ecosistemas, sino que también contribuye al OD3, al mejorar la salud y bienestar de la comunidad local

Con la aplicación de esta alternativa se logrará mejorar la calidad del agua, alineándose con el ODS 6, mejorando la gestión sostenible del agua. Además, es una solución que mantiene una complejidad operativa moderada, compatible con las capacidades locales, y permite aprovechar la laguna de oxidación existente como unidad de tratamiento previo, optimizando el uso de la infraestructura ya construida.

Capítulo 3

3. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES

3.1 Análisis y estudios preliminares

Para el diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se empleó el uso de Normativas Internacionales, debido a que las Normativa Ecuatoriana tiene cierta deficiencia de información, y deja todo abierto a interpretación. Las Normativas consideradas fueron (Guía RAS-001, 2003) (Guía RAS-001, 2003) (Guía RAS-001, 2003) y (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019).

3.2 Periodo de Diseño

Se adopta un periodo de diseño de 20 años para la PTAR, en concordancia con la establecido en el (Codigo de Partica Ecuatoriano) y recomendaciones de la (Guía RAS-001), que señalan que este tipo de infraestructura deben proyectarse con una planificación a largo plazo, no se recomiendan periodos menores a 20 años.

3.3 Población de Diseño

Existe poca información acerca de la población tanto de la comuna Monteverde como la comuna Jambelí. Solo se encontraron datos de dos años acerca de la población de cada comuna. Como primer dato en la comuna Monteverde, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Ecuador MAGAD (2009) como citó (Rodríguez Tomalá, 2014), Monteverde contaba con una población de 2000 habitantes, y como segundo dato, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador INEC (2010) como citó (Balon Vera, 2014), Monteverde contaba con una Población de 2123 habitantes.

Como primer dato en la Comuna Jambelí, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador INEC (2010) como citó (Gonzabay Malavé, 2020), Jambelí contaba con una

población de 1631 habitantes, y como segundo dato según (Asencio Prudente, 2016), Jambelí contaba con 2124 habitantes.

Tabla 8

Datos Antecedente Población Comunas Monteverde y Jambelí.

Comuna	Año	Habitantes
Monteverde	2009	2000
	2010	2123
Jambelí	2010	1631
	2016	2124

Nota: Fuente de Elaboración Propia (Datos recolectados INEC, MAGAP)

Para obtener la población de diseño se deben de realizar métodos de proyección poblacional, escogiendo un número mínimo de 3 métodos diferentes, según indica el (Codigo de Partica Ecuatoriano, 1992). Sin embargo, para elegir los métodos aplicables se tomó como referencia los mencionados en la (Guía RAS-001, 2003), ya que este explica lo métodos aplicables según el nivel de complejidad del sistema a diseñar. Ya que se va a realizar un sistema descentralizado, particularmente aplicando una solución basada en la Naturaleza. Este sistema va a ser aplicable en una comunidad rural, con una población no muy elevada, debido a todo lo mencionado anteriormente el sistema va a tener una complejidad que va desde baja a media.

Tabla 9

Métodos de Calculo Permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema.

Método por aplicar	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Aritmético	X			
Geométrico	X	X	X	
Wappaus	X	X	X	

Gráfico	X	X	X	
Exponencial	X	X	X	
Detallar por zonas			X	X
Detallar densidades			X	X

Nota: Fuente de Elaboración Propia

Los métodos seleccionados fueron el Aritmético, Geométrico y Exponencial. Todos los métodos de proyección poblacional necesitan una tasa de incremento. Sin embargo, debido a la poca cantidad de datos obtenidos sobre la población de estas comunidades se procedió a sacar datos de parroquia Colonche con su comportamiento poblacional. Los datos fueron obtenidos de (INEC, 2023). Todo esto se realiza a fin de no tener que usar la tasa de incremento que indica la Normativa, ya que esto puede incurrir en proyecciones poblacionales erróneas.

Figura 10

Población y Vivienda Parroquia Colonche.



Nota: Información recopilada del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC)

3.3.1 Método Aritmético

Supone un crecimiento de la población de manera lineal. Usado principalmente cuando el crecimiento histórico es suave y en poblaciones pequeñas.

Tasa de crecimiento

$$\Delta_{\text{Crecimiento}} = \frac{P_f - P_o}{T_f - T_o} \quad \dots (3.3.1.1)$$

Donde:

- T_f : Año del último censo con información.
- T_o : Año del primer censo con información.
- P_f : Población (habitantes) correspondiente al último censo con información.
- P_o : Población (habitantes) correspondiente al primer censo con información.

$$\Delta_{\text{Crecimiento1}} = \frac{31052 - 24495}{2010 - 2001} = 728.556$$

$$\Delta_{\text{Crecimiento2}} = \frac{40058 - 31052}{2022 - 2010} = 750.500$$

$$\Delta_{\text{Crecimientop}} = \frac{\Delta_{\text{Crecimiento1}} + \Delta_{\text{Crecimiento2}}}{2} = 739.528$$

Tabla 10

Tasa de Crecimiento Poblacional (Comportamiento Parroquial).

Crecimiento (Método Aritmético)	
Tasa Crecimiento 1	728.556
Tasa Crecimiento 2	750.500
Tasa Crecimiento Promedio	739.528

Nota: Fuente de Elaboración Propia

Con la tasa de Crecimiento promedio, se procede al cálculo por medio del Método Aritmético para la proyección poblacional de ambas comunas.

$$P_p = P_o + \Delta_{\text{Crecimiento}} * (T_p - T_o) \quad \dots (3.3.1.2)$$

Donde:

- P_p : Población (habitantes) correspondiente al año que se quiere proyectar
- P_o : Población (habitantes) correspondiente al primer censo con información.
- $\Delta_{\text{Crecimiento}}$: Tasa de Crecimiento promedio
- T_p : Año al cual se quiere proyectar la población
- T_o : Año del primer censo con información.

Se procede a la demostración de Proyección Poblacional para la comuna Monteverde.

Procediendo de la siguiente manera:

$$P_{p2010} = 2000 + 739.528 * (2010 - 2009)$$

$$P_{p2010} = 2740 \text{ habitantes.}$$

Se procede de la misma manera con la comuna Jambelí.

$$P_{p2016} = 1631 + 739.528 * (2016 - 2010)$$

$$P_{p2016} = 6069 \text{ habitantes.}$$

Tomando esto como referencia la Población de Diseño de ambas comunidades, según la proyección poblacional del Método Aritmético, quedará de la siguiente manera.

Tabla 11

Proyección Poblacional Método Aritmético.

Comuna Monteverde		Comuna Jambelí	
Año	Habitantes	Año	Habitantes
2009	2000	2010	1631

2010	2740	2016	6069
2025	13833	2025	12724
2026	14572	2026	13464
2027	15312	2027	14203
2028	16052	2028	14943
2029	16791	2029	15683
2030	17531	2030	16422
2031	18270	2031	17162
2032	19010	2032	17901
2033	19749	2033	18641
2034	20489	2034	19380
2035	21228	2035	20120
2036	21968	2036	20859
2037	22707	2037	21599
2038	23447	2038	22338
2039	24186	2039	23078
2040	24926	2040	23817
2041	25665	2041	24557
2042	26405	2042	25296
2043	27144	2043	26036
2044	27884	2044	26775
2045	28624	2045	27515

Nota: Fuente de Elaboración Propia

3.3.2 *Método Geométrico*

Asume que la población crece con una tasa porcentual constante. Es decir, que la población aumenta en función de su tamaño.

Tasa de Crecimiento

$$i = \sqrt[n]{\frac{P_f}{P_o}} - 1 \quad \dots (3.3.2.1)$$

Donde

- i: Tasa de crecimiento
- P_f: Población (habitantes) correspondiente al último censo con información.
- P_o: Población (habitantes) correspondiente al primer censo con información.
- n: Número de años entre poblaciones.

$$i_1 = \sqrt[9]{\frac{31052}{24495}} - 1 = 0.026705$$

$$i_2 = \sqrt[12]{\frac{40058}{31052}} - 1 = 0.021449$$

$$i_p = \frac{i_1 + i_2}{2} = 0.024077$$

Tabla 12

Tasa de Crecimiento Poblacional (Comportamiento Parroquial).

Crecimiento (Método Geométrico)	
Tasa Crecimiento 1	0.026705
Tasa Crecimiento 2	0.021449
Tasa Crecimiento Promedio	0.024077

Nota: Fuente de Elaboración Propia

Con la tasa de Crecimiento promedio, se procede al cálculo por medio del Método Geométrico para la proyección poblacional de ambas comunas.

$$P_p = P_a * (1 + i_p)^n \quad \dots (3.3.2.2)$$

Donde:

- i_p : Tasa de crecimiento promedio
- P_p : Población (habitantes) correspondiente al año que se quiere proyectar
- P_a : Población actual (habitantes)
- n : Número de años entre poblaciones.

Se procede a la demostración de Proyección Poblacional para la comuna Monteverde.

Procediendo de la siguiente manera:

$$P_{2010} = 2000 * (1 + 0.024077)^{(2010-2009)}$$

$$P_{2010} = 2049 \text{ habitantes}$$

Se procede de la misma manera con la comuna Jambelí.

$$P_{2016} = 1631 * (1 + 0.024077)^{(2016-2010)}$$

$$P_{2016} = 1882 \text{ habitantes}$$

Tomando esto como referencia la Población de Diseño de ambas comunidades, según la proyección poblacional del Método Geométrico, quedará de la siguiente manera.

Tabla 13

Proyección Poblacional (Método Geométrico).

Comuna Monteverde		Comuna Jambelí	
Año	Habitantes	Año	Habitantes
2009	2000	2010	1631
2010	2049	2016	1882
2025	2928	2025	2332
2026	2999	2026	2389
2027	3072	2027	2447
2028	3146	2028	2506

2029	3222	2029	2567
2030	3300	2030	2629
2031	3380	2031	2693
2032	3462	2032	2758
2033	3546	2033	2825
2034	3632	2034	2894
2035	3720	2035	2964
2036	3810	2036	3036
2037	3902	2037	3110
2038	3996	2038	3185
2039	4093	2039	3262
2040	4192	2040	3341
2041	4293	2041	3422
2042	4397	2042	3505
2043	4503	2043	3590
2044	4612	2044	3677
2045	4724	2045	3766

Nota: Fuente de Elaboración Propia

3.3.3 *Método Exponencial*

Parecido al método geométrico, pero se formula en términos de crecimiento continuo, usa la función exponencial con base de Euler (e).

Tasa de Crecimiento

$$K = \frac{\text{Ln}(P_{cp}) - \text{Ln}(P_{ca})}{T_{cp} - T_{ca}} \quad \dots (3.3.3.1)$$

Donde

- k: Tasa de crecimiento
- P_{ca} : Población (habitantes) correspondiente al censo anterior.

- P_{cp} : Población (habitantes) correspondiente al censo posterior.
- T_{ca} : Año correspondiente al censo anterior.
- T_{cp} : Año correspondiente al censo posterior.
- Ln: Logaritmo natural o neperiano

$$k_1 = \frac{\text{Ln}(31052) - \text{Ln}(24495)}{2010 - 2001} = 0.026355$$

$$k_2 = \frac{\text{Ln}(40058) - \text{Ln}(31052)}{2022 - 2010} = 0.021222$$

$$k_p = \frac{k_1 + k_2}{2} = 0.023788$$

Tabla 14

Tasa de Crecimiento Poblacional (Comportamiento Parroquial).

Crecimiento (Método Geométrico)	
Tasa Crecimiento 1	0.026355
Tasa Crecimiento 2	0.021222
Tasa Crecimiento Promedio	0.023788

Nota: Fuente de Elaboración Propia

Con la tasa de Crecimiento promedio, se procede al cálculo por medio del Método Exponencial para la proyección poblacional de ambas comunas.

$$P_f = P_{ci} * e^{k_p(T_f - T_{ci})} \quad \dots (3.3.3.2)$$

Donde:

- k_p : Tasa de crecimiento promedio

- P_f : Población (habitantes) correspondiente al año que se quiere proyectar
- P_{ci} : Población actual (habitantes)
- T_f : Año al que se quiere proyectar
- T_{ci} : Año censo actual

Se procede a la demostración de Proyección Poblacional para la comuna Monteverde.

Procediendo de la siguiente manera:

$$P_{2010} = 2000 * e^{0.023788*(2010-2009)}$$

$$P_{2010} = 2049 \text{ habitantes}$$

Se procede de la misma manera con la comuna Jambelí.

$$P_{2016} = 1631 * e^{0.023788*(2016-2010)}$$

$$P_{2016} = 1882 \text{ habitantes}$$

Tomando esto como referencia la Población de Diseño de ambas comunidades, según la proyección poblacional del Método Exponencial, quedará de la siguiente manera.

Tabla 15

Proyección Poblacional (Método Exponencial).

Comuna Monteverde		Comuna Jambelí	
Año	Habitantes	Año	Habitantes
2009	2000	2010	1631
2010	2049	2016	1882
2025	2927	2025	2331
2026	2997	2026	2387
2027	3069	2027	2444
2028	3143	2028	2503
2029	3219	2029	2563
2030	3296	2030	2625

2031	3376	2031	2688
2032	3457	2032	2753
2033	3540	2033	2819
2034	3626	2034	2887
2035	3713	2035	2957
2036	3802	2036	3028
2037	3894	2037	3101
2038	3987	2038	3175
2039	4083	2039	3252
2040	4182	2040	3330
2041	4282	2041	3410
2042	4385	2042	3492
2043	4491	2043	3576
2044	4599	2044	3662
2045	4710	2045	3751

Nota: Fuente de Elaboración Propia

3.3.4 *Comparación de Métodos de Proyección*

Se realiza la comparación de las poblaciones proyectadas con los distintos métodos descritos anteriormente en conjunto con los datos reales obtenidos en la investigación. Esta comparación se realiza con el porcentaje de error, que se calcula de la siguiente manera.

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{P_{calculada}}{P_{real}} - 1 \right| * 100 \quad \dots (3.3.4.1)$$

Se realiza este procedimiento, tanto para la Comuna Monteverde y Jambelí. Debido a la falta de datos obtenidos solo se puede realizar este cálculo, con respecto a un solo año, En este caso 2010.

Tabla 16*Porcentajes de Error Método de Proyección (Comuna Monteverde).*

Métodos		Año	Población	Error
Aritmético	Real	2010	2123	
	Calculado	2010	2740	29.06%
Geométrico	Real	2010	2123	
	Calculado	2010	2049	3.49%
Exponencial	Real	2010	2123	
	Calculado	2010	2049	3.49%

Nota: Fuente de Elaboración Propia**Tabla 17***Porcentajes de Error Método de Proyección (Comuna Jambelí).*

Métodos		Año	Población	Error
Aritmético	Real	2010	2123	
	Calculado	2010	2740	29.06%
Geométrico	Real	2010	2123	
	Calculado	2010	2049	3.49%
Exponencial	Real	2010	2123	
	Calculado	2010	2049	3.49%

Nota: Fuente de Elaboración Propia

Se puede evidenciar que el Crecimiento Geométrico y Exponencial tienen el mismo porcentaje error, ya que solo es un dato con el que se lo puede comparar. En este caso se escoge el método Geométrico, ya que es más aplicable con la complejidad del sistema de tratamiento seleccionado, y da un valor de población diseño final un poco más elevado. En este caso los valores de las poblaciones de ambas comunas quedan de la siguiente manera:

Tabla 18*Población de Comuna Monteverde y Jambelí (Método Seleccionado).*

Comuna	Año	Habitante
---------------	------------	------------------

Monteverde	2025	2928
	2045	4724
Jambelí	2025	2332
	2045	3766

Nota: Fuente de Elaboración Propia

Tabla 19

Poblaciones de Diseño.

Año	Habitantes
2025	5259
2045	8461

Nota: Fuente de Elaboración Propia

3.4 Caudal de Diseño

Para el cálculo del Caudal de Diseño, se tiene más consideraciones distintas a la (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992), como la del (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS-2000)) y (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019), para obtener complementarse entre ambas, y obtener un diseño completo y adaptado a condiciones locales. Sin embargo, en ambas para el cálculo del caudal de diseño para aguas residuales domésticas se debe considerar:

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{MH}} + Q_{\text{INF}} + Q_{\text{ILI}} \quad \dots (3.4.1)$$

Donde:

- Q_{MH} : Caudal Máximo horario.
- Q_{INF} : Caudal de Infiltración.
- Q_{ILI} : Caudal ilícito o conexiones erradas.

3.4.1 Caudal Medio

Se puede definir como el caudal promedio de aguas residuales que llegará a la PTAR, en el año de diseño considerado. Actualmente posee un sistema de tratamiento, pero con ciertas deficiencias. Para el cálculo se considerará el año de diseño (2045).

$$Q_{MED} = \frac{Dot * C_R * P_{DISEÑO}}{86400} \quad \dots (3.4.1.1)$$

Donde:

- Dot: Dotación (l/Hab/día).
- C_R : Coeficiente de retorno o aportación (Típicamente de 0.7 a 0.9), Adimensional.
- $P_{DISEÑO}$: Población para el año de Diseño.

Tabla 20

Dotaciones Recomendadas.

Población	Clima	Dotación media futura (l/Hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Nota: Obtenido del CPE INEN 5, 1992

Como se puede observar en la Tabla 19, se tiene una Población de diseño de 8461 habitantes y una dotación media, debido a la cantidad de la población y el clima. Se escoge una dotación de 200 l/Hab/día.

$$Q_{MED} = \frac{200 \frac{l}{hab * dia} * 0.8 * 8461 hab}{86400 s}$$

$$Q_{MED} = 15.669 \frac{l}{s} \cong 0.0157 \frac{m^3}{s}$$

3.4.2 Caudal Infiltración

Volumen de agua subterránea que entra al alcantarillado sanitario, por fisuras y grietas. Es inevitable y siempre debe ser considerado. Se obtiene de la siguiente manera:

$$Q_{INF} = C_{INF} * A \quad \dots (3.4.2.1)$$

Donde:

- C_{INF} : Coeficiente de aporte por Infiltración.
- A: Área de aporte por infiltración (ha).

El aporte de infiltración según la (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS-2000)), se mide dependiendo del nivel de complejidad del sistema, y el nivel de infiltración considerado.

Tabla 21

Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales.

Nivel de Complejidad del sistema	Infiltración alta (l/s*ha)	Infiltración media (l/s*ha)	Infiltración baja (l/s*ha)
Bajo y medio	0.15 – 0.4	0.1 – 0.3	0.05 – 0.2
Medio alto y alto	0.15 – 0.4	0.1 – 0.3	0.05 – 0.2

Nota: Obtenido del RAS 2000.

Al ser un sistema descentralizado basado en la naturaleza, tiene una complejidad media, y se considera una infiltración media, debido a que tiene un suelo con varias grietas y arcillosos, además de que se presume una infiltración, basado en la visita técnica realizada a las comunidades durante el trabajo de campo.

El área de aportación de ambas comunidades es de 11 Ha aproximadamente. Ya que el área de aportación no puede ser de toda la extensión territorial de las comunidades. Ya que se suele centrar en donde están las casas y demás habitantes.

$$Q_{INF} = 0.1 \left(\frac{l}{s * ha} \right) * 11 \text{ ha}$$

$$Q_{INF} = 1.1 \frac{l}{s} \cong 0.0011 \frac{m^3}{s}$$

3.4.3 Caudal Ilícito

El caudal adicional que entra al alcantarillado por conexiones equivocadas o realizadas de forma clandestinas. Pueden considerarse en el caso de comunas rurales, aunque se debe de recalcar que no es lo idóneo, pero debe considerarse para un buen dimensionamiento. Se obtiene de la siguiente manera:

$$Q_{ILI} = C_{ILI} * A \quad \dots (3.4.3.1)$$

Donde:

- C_{INF} : Coeficiente de aporte por ilícito o conexiones erradas.
- A : Área de aporte por infiltración (ha).

El aporte de ilícito según la (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS-2000)), se mide dependiendo del nivel de complejidad del sistema.

Tabla 22

Aporte máximos por conexiones erradas con sistema pluvial.

Nivel de Complejidad del Sistema	Aporte (l/s*ha)
Bajo y medio	0.2
Medio alto y alto	0.1

Nota: Obtenido del RAS 2000.

$$Q_{ILI} = 0.2 \left(\frac{l}{s * ha} \right) * 11 \text{ ha}$$

$$Q_{ILI} = 2.2 \frac{l}{s} \cong 0.0022 \frac{m^3}{s}$$

3.4.4 *Caudal Medio Diario*

Volumen total de aguas residuales domésticas que pasa por un día. No es un valor máximo, pero si representativas para el comportamiento final del sistema.

$$Q_{MD} = Q_{MED} + Q_{INF} + Q_{ILI} \quad \dots (3.4.4.1)$$

$$Q_{MD} = 15.668 + 2.2 + 1.1$$

$$Q_{MD} = 18.968 \frac{l}{s} \cong 0.0189 \frac{m^3}{s}$$

3.4.5 *Caudal Máximo Horario*

Mayor caudal promedio, que circula en una hora durante el día, suele ser llamada como caudal pico y es el usada para el diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Para obtener este valor, debido a la falta de datos, se debe considerar un factor de mayoración establecido por Normativa. En este caso según (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS-2000), 2000) se tienen los siguientes métodos.

$$F = 1 + \left(\frac{14}{4 + P^{0.5}} \right); \text{ Harmon y P en miles de habitantes} \quad \dots (3.4.5.1)$$

$$F = \frac{5}{P^{0.2}}; \text{Babbit y P en miles de habitantes} \quad \dots (3.4.5.2)$$

$$F = \frac{3.5}{P^{0.1}}; \text{Flores y P en miles de habitantes} \quad \dots (3.4.5.3)$$

Con los datos obtenidos, se realizan los distintos factores de mayoración y se escoge el valor mayor.

$$F = 1 + \left(\frac{14}{4 + \left(\frac{8461}{1000} \right)^{0.5}} \right) = 3.026$$

$$F = \frac{5}{\left(\frac{8461}{1000} \right)^{0.2}} = 2.827$$

$$F = \frac{3.5}{\left(\frac{8461}{1000} \right)^{0.1}} = 3.262$$

Con estos datos el Caudal máximo horario obtenido y el caudal de diseño será:

$$Q_{MAXH} = F * Q_{MD} \quad \dots (3.4.5.4)$$

$$Q_{MAXH} = 3.262 * 18.968$$

$$Q_{MAXH} = 61.875 \frac{l}{s} \cong 0.0618 \frac{m^3}{s}$$

3.5 Diseño Etapas de PTAR

Para el diseño de los elementos de las distintas etapas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, se utilizará la (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019), ya que posee ejemplos aplicativos, y definiciones o valores claros para el dimensionamiento de los elementos.

3.5.1 *Pretratamiento*

3.5.1.1 *Rejillas.*

Estructuras de barras metálicas, colocadas al inicio del sistema, porque su principal función es retener sólidos grandes que vienen del agua residual. Esto evitar que se dañe el sistema en etapas posteriores.

Tabla 23

Tamaño Aperturas Rejas o Rejillas.

Concepto	Rango	Comentarios
Apertura de rejillas manuales	25 – 50 mm	Usadas en Plantas a
Velocidad de aproximación	0.30 – 0.60 m/s	pequeña escala.

Nota: Obtenido del CONAGUA, Libro 26, 2019.

Tabla 24

Criterio de Diseño de rejas y rejillas.

Característica	Limpieza Manual	Limpieza mecánica
Tamaño de barra		
Ancho (mm)	5.08 – 15.24	5.08 – 15.24
Profundidad (mm)	25.4 – 38.1	25.4 – 38.1
Espacio entre barras (mm)	25.4 – 50.8	15.24 – 76.2
Inclinación sobre la vertical (grados).	30 – 45	0 – 30
Velocidad de acercamiento (m/s)	0.3048 – 0.6096	0.6096 – 0.9906
Pérdida de carga permisible (mm)	152.4	152.4

Nota: Obtenido del CONAGUA, Libro 26, 2019.

Una vez definidos los parámetros de diseño definidos por (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019). Se debe de tener en cuenta que se colocarán rejillas de limpieza manual por facilidad operativa y mantenimiento.

Caudal de Diseño (Q_{DIS})

Es el caudal máximo horario o caudal pico, como se observa en la Tabla 24, su valor es de 61.875 l/s y 0.0619 m³/s

Ancho de Canal (B).

No existe un valor fijo para establecer el ancho del canal. Sin embargo, para plantas que reciben caudales pequeños, los anchos comunes van de 300 a 500 mm. Para caudales medianos y grandes van desde 600 a 1000 mm. Se considera un Ancho de canal de 600 mm.

Separación entre barras (S_b).

Según lo indicado en la Tabla 25, se escoge un valor de 40 mm para apertura.

Velocidad antes paso de rejas o de aproximación (V_{ap}).

Según lo indicado en la Tabla 25, se escoge un valor de 0.45 m/s.

Inclinación de rejilla (θ)

Según lo indicado en la Tabla 25, se escoge un valor 45 grados de inclinación con respecto a la vertical.

Borde libre (b_l).

Se considera un valor en el rango de 200 a 300 mm de libre. En este caso ya que se tiene un caudal mediano se elige 250 mm, que estará por encima del tirante hidráulico.

Espesor de barra (e)

Se considera un espesor de barra de 12 mm, ya que es acepta valores que van en el rango de 5 – 15 mm.

Una vez definidos estos parámetros basados en la (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019). Se tienen los siguientes valores.

Tabla 25

Parámetros Iniciales para Dimensionamiento de Rejilla.

Dimensionamiento de Rejillas				
Gravedad			9.81	m / s ²
Caudal Diseño (Q _{DIS})	61.875	l/s	0.0618	m ³ / s
Ancho Canal (B)	600	mm	0.6	m
Separación entre barras (S _b)	40	mm	0.04	m
Velocidad aproximación (V _{ap})	0.45	m/s		
Inclinación rejilla (θ)	45	°		
Borde libre (b _l)	250	mm	0.25	m
Espesor barra (e)	12	mm	0.01	m
Factor de Obstrucción (F _o)	0.3	Adimensional		

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

Coficiente de Vacíos (C_v).

Indica que porcentaje de la rejilla está vacío y deja pasar las aguas residuales. Importante para obtener la velocidad entre barras y pérdidas de carga.

$$C_v = \frac{S_b}{S_b + e} \quad \dots (3.5.1.1.1)$$

$$C_v = \frac{40 \text{ mm}}{(40 + 12) \text{ mm}} = 0.769 \text{ (Adimensional)}$$

Área Canal (A_C).

$$A_C = \frac{Q_{DIS}}{V_{ap}} \quad \dots (3.5.1.1.2)$$

$$A_C = \frac{0.0618 \frac{m^3}{s}}{0.45 \frac{m}{s}} = 0.1378 m^2 \cong 1.378 \times 10^5 mm^2$$

Área Efectiva (A_E).

Área útil de paso del agua a través de la rejilla, área libre vacía por donde va a pasar el flujo.

$$A_E = \frac{A_C}{C_V * (1 - F_O)} \quad \dots (3.5.1.1.3)$$

$$A_E = \frac{0.1378}{0.769 * (1 - 0.3)} = 0.2559 m^2 \cong 2.559 \times 10^5 mm^2$$

Tirante Hidráulico (h)

Altura del líquido medida desde el fondo del canal. En otras palabras, indica el nivel que va a tener el agua dentro del canal.

$$h = \frac{Q}{V_{ap} * B * C_V * (1 - F_O)} = \frac{A_E}{B} \quad \dots (3.5.1.1.4)$$

$$h = \frac{0.2559 m^2}{0.6 m} = 0.4264 m \cong 426.46 mm$$

Número de Espacios (N_E)

$$N_E = \frac{B - S_b}{S_b + e} \quad \dots (3.5.1.1.5)$$

$$N_E = \frac{600 - 40}{40 + 12} = 10.8 \cong 11 \text{ espacios.}$$

Número de Barras (N_b)

$$N_b = N_E - 1 \quad \dots (3.5.1.1.6)$$

$$N_b = 10 \text{ barras.}$$

Altura del Canal (h_T)

$$h_T = h + b_i \quad \dots (3.5.1.1.7)$$

$$h_T = 426.46 + 250 = 676 \text{ mm} \cong 0.68 \text{ m}$$

Longitud de la Rejilla (L_R)

Indico la longitud o distancia del flujo, desde el inicio hasta el final de rejilla. Tramo del canal ocupado por las barras, donde agua entra y sale.

$$L_R = \frac{h_T}{\text{sen}(\theta)} ; \theta \text{ debe estar en radianes} \quad \dots (3.5.1.1.8)$$

$$L_R = \frac{0.676 \text{ m}}{\text{sen}(45)} = 0.960 \text{ m} \cong 960 \text{ mm}$$

Energía de Velocidad de flujo de aproximación (h_v)

Energía debido a la velocidad, con la que se aproxima el flujo a alguna estructura en este caso a la rejilla.

$$h_v = \frac{(V_{ap})^2}{2 * g} \quad \dots (3.5.1.1.9)$$

$$h_v = \frac{(0.45)^2}{2 * 9.81} = 0.00103 \text{ m}$$

Pérdida hidráulica (Kischmer) (h_L)

Pérdida que ocurre en el flujo mientras se mueve por alguna tubería o estructura, principalmente debido a la fricción.

$$h_L = \beta * \left(\frac{e}{S_b}\right)^{\frac{4}{3}} * h_v * \text{sen}(\theta) \quad \dots (3.5.1.1.10)$$

β es 1.79 para tuberías circulares y todo debe estar en metros

$$h_L = 1.79 * \left(\frac{0.01}{0.04}\right)^{\frac{4}{3}} * 0.00206 * \text{sen}(45)$$

$$h_L = 0.002057 \text{ m ; Si } 0.002357 < 0.15 \text{ "Cumple"}$$

Coefficiente k

Se refiere a la resistencia al paso de agua a través de la rejilla. Su valor depende de la geometría de las barras y distribución de los espacios de las rejillas. Según la (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019), este valor puede estar en el rango de 0.5 a 1.0. Para el diseño se tiene en cuenta que es para una comunidad rural, por lo que el caudal va a ser menor que en zonas urbanas, lo que implica una menor velocidad de flujo. Tiene un diseño más simple y es menos probable que haya obstrucciones por residuos o basura. Por todo lo mencionado anteriormente se escoge un valor medio, en este caso 0.7. No se desean pérdidas hidráulicas excesivas.

Velocidad de paso a través de la rejilla (V_P)

Velocidad con que el agua fluye a través de la rejilla. Influye directamente con la eficiencia de la rejilla para permitir que el agua sin obstrucciones.

$$V_P = \frac{Q_{DIS}}{A_E - A_C} \quad \dots (3.5.1.1.11)$$

$$V_P = \frac{0.062 \text{ m}^3/\text{s}}{(0.2559 - 0.1378)\text{m}^2}$$

$$V_P = 0.525 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Pérdida de carga (Villemonthe modificada) (h_{VL})

Pérdidas que energía que tiene el flujo de agua mientras este fluye a través del sistema, tubería o demás. Para este caso, la pérdida de carga en rejillas y otros elementos del sistema de drenaje.

$$h_{VL} = k * \frac{(V_P)^2 - (V_{AP})^2}{2 * g} \quad \dots (3.5.1.1.12)$$

$$h_{VL} = 0.7 * \left(\frac{(0.525)^2 - (0.45)^2}{2 * (9.81)} \right)$$

$$h_{VL} = 0.00261 \text{ m ; SI } 0.00261 < 0.15 ; \text{"Cumple"}$$

Tabla 26

Parámetros Finales para Dimensionamiento de Rejilla.

Posterior Dimensionamiento de Rejillas				
Coefficiente de Vacíos (C_V)	0.8		Adimensional	
Área Canal (A_C)	0.1378	m ²	1.378x10 ⁵	mm ²
Área efectiva (A_E)	0.2559	m ²	2.559x10 ⁵	mm ²
Tirante hidráulico (h)	0.4264	m	426.40	mm
Número de espacios (N_E)	11		espacios	
Número de barras (N_b)	10		barras	
Altura del Canal (h_T)	0.680	m	680	mm
Longitud de Rejilla (L_R)	0.960	m	960	mm
Energía de velocidad de flujo de aproximación (h_V)	0.01032	m		
Pérdida hidráulica (h_L)	0.00262	m	$h_{VL} < 0.15$	Cumple

Coefficiente k	0.7	0.5 a 1.0 (Normativa)	
Velocidad a través de la reja (V_p)	0.525	m/s	
Pérdida de carga (Villemonthe modificada) (h_{VL})	0.002609	m	$h_{VL} < 0.15$ Cumple

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

3.5.1.2 Desarenador

Se considera un desarenador de flujo horizontal como unidad de tratamiento preliminar. Su principal función es remover arena y sólidos inorgánicos sedimentables como gravas finas para evitar el deterioro de unidades posteriores, evitando taponamientos y acumulación en estructuras.

En este desarenador, la remoción se logra principalmente por proceso de sedimentación bajo condiciones hidráulicas que deben estar controladas, con velocidades moderadas para que de esta manera los sólidos más pesados se vayan al fondo mientras que la fracción orgánica más ligera continúe en suspensión. Su funcionamiento es de la siguiente manera:

- Agua residual ingresa al desarenador por medio de la cámara de llegada, posterior a la rejilla, donde ya se han retenido sólidos gruesos y material flotante.
- Sección de canal es definida para mantener una velocidad horizontal óptima para que ocurra la sedimentación en el fondo. Ya se tienen rangos típicos de geometría, dimensiones y velocidades asociados a la remoción por gravedad.
- Partículas más densas se depositan en el fondo del canal, donde se realiza su retiro periódico de manera manual o con sistemas mecánicas.
- Efluente del desarenador se conduce hacia canal de Parshall, el cual permite controlar la operación del desarenador.

Este tipo de desarenador es seleccionado tomando en consideración que el diseño es para comunas rurales. Cumple con diversas características como:

- a. Simplicidad constructiva y operativa.
- b. Remoción eficiente de sólidos gruesos.
- c. Bajo costo de operación y mantenimiento.
- d. Mejor control del sistema con Canal de Parshall.

Figura 11

Desarenador horizontal con canal de Parshall.



Nota: Obtenido del Libro 26 de la CONAGUA.

Para el dimensionamiento se tiene un desarenador horizontal, se tiene ciertos criterios de diseño con valores típicos establecidos por la (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019).

Caudal diseño (punta) (Q_{DIS})

Caudal máximo que puede llegar al desarenador en hora pico. Utilizado para asegurar que desarenador funcione, sin perder eficiencia en el tiempo. El caudal de diseño es 61.876 l/s o 0.0619 m³/s

Velocidad Horizontal (V_H)

También llamada velocidad longitudinal, velocidad media con la que avanza el agua residual en dirección paralela al eje de canal de entrada a salida. De este parámetro depende que la arena se sedimente al fondo del canal sin tener un exceso. Según (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019), el valor idóneo es de 0.3 m/s.

Area Sección Transversal (A_T)

Area mojada del flujo horizontal. Area efectiva donde va a circular el agua residual (caudal) dentro del desarenador. El valor se obtiene de la siguiente manera

$$A_T = \frac{Q_{DIS}}{V_H} \quad \dots (3.5.1.2.1)$$

$$A_T = \frac{0.062 \frac{m^3}{s}}{0.3 \frac{m}{s}} = 0.206 m^2$$

Ancho de canal (B)

Dimensión horizontal de la sección de flujo, en otras palabras, el ancho útil por donde circula el caudal dentro del desarenador. Puede adoptar valores que van en el rango de 0.30 a 1.5 metros. En este caso se elige un ancho de canal de 0.70 m.

Altura del Canal (H_C)

Altura total del canal, medida desde la solera hasta el borde superior del desarenador. Incluye espacio necesario para el tirante del canal, operación y borde libre. Se calcula de la siguiente manera.

$$H_C = \frac{A_T}{B} \quad \dots (3.5.1.2.2)$$

$$H_C = \frac{0.388 \text{ m}^2}{0.30 \text{ m}} = 0.29 \text{ m} \cong 0.30 \text{ m}$$

Considerando borde libre y demás se selecciona una altura superior. Se escoge una altura total de canal adaptado de 0.65 m.

Area mojada (A_M)

Area de la sección transversal ocupada por agua, es decir la parte del canal que se encuentra en contacto con el flujo. El valor se obtiene de la siguiente manera.

$$A_M = B * H_C \quad \dots (3.5.1.2.3)$$

$$A_M = 0.70 \text{ m} * 0.30 \text{ m} = 0.21 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado (P_M)

Longitud del contorno de la sección transversal que se encuentra en contacto directo con el flujo (agua residual). El valor se obtiene de la siguiente manera:

$$P_M = B + 2 H_C \quad \dots (3.5.1.2.4)$$

$$P_M = 0.7 \text{ m} + 2 (0.30 \text{ m}) = 1.30 \text{ m}$$

Radio Hidráulico (R_H)

Parámetro geométrico que representa la relación entre el área mojada del flujo y perímetro mojado. Usado para caracterizar el comportamiento del flujo y pérdidas.

$$R_H = \frac{A_M}{P_M} \quad \dots (3.5.1.2.5)$$

$$R_H = \frac{0.21 \text{ m}^2}{1.30 \text{ m}} = 0.16 \text{ m}$$

Densidad agua (ρ_{AGUA})

Masa del agua contenida en una unidad de volumen. Depende directamente de la temperatura. En este caso la temperatura considerada es de 24.2 °C, se saca el valor de la densidad con la siguiente fórmula.

$$\rho_{AGUA} = 100 * \left[1 - \frac{(T - 288.9414)}{508929.2 * (T + 68.12963)} * (T - 3.9863)^2 \right] \quad \dots (3.5.1.2.6)$$

$$\rho_{AGUA} = 100 * \left[1 - \frac{(24.2 - 288.9414)}{508929.2 * (24.2 + 68.12963)} * (24.2 - 3.9863)^2 \right]$$

$$\rho_{AGUA} = 997.277 \frac{kg}{cm^3}$$

Densidad arena (ρ_{ARENA})

Masa de arena por unidad de volumen. Se utiliza la densidad real de la partícula para el manejo de desarenadores. Se utiliza un valor de $2650 \frac{kg}{cm^3}$.

Relación Densidad Arena – Densidad Agua (R_ρ)

Usada para cuantificar que tan pesada está la arena con respecto al agua, y así estimar el comportamiento de las partículas.

$$R_\rho = \frac{\rho_{ARENA}}{\rho_{AGUA}} \quad \dots (3.5.1.2.7)$$

$$R_\rho = \frac{2650 \frac{kg}{cm^3}}{997.277 \frac{kg}{cm^3}} = 2.657 \text{ (Adimensional)}$$

Viscosidad Cinemática del Agua (v_{AGUA})

Representa la facilidad con la que el agua fluye, además es clave para cálculos de sedimentación de las partículas, por medio de la gravedad.

$$v_{AGUA} = \frac{1.79 * 10^{-6}}{1 + (0.0337 * T) + (0.000221 * T^2)} \quad \dots (3.5.1.2.8)$$

$$v_{AGUA} = \frac{1.79 * 10^{-6}}{1 + (0.0337 * 24.2) + (0.000221 * 24.2^2)}$$

$$v_{AGUA} = 9.203 * 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

Diámetro de arena (d_{ARENA})

Diámetro de la partícula de arena que se va a sedimentar en el fondo del canal desarenador. Se seleccionó un valor de diámetro de 0.2 mm.

Velocidad de Asentamiento ($V_{ASENTAMIENTO}$)

Velocidad vertical con la que la partícula en este caso arena, desciende a través del agua debido a la gravedad. Se obtiene de la siguiente manera:

$$V_{ASENTAMIENTO} = \frac{\left(\frac{\rho_{ARENA}}{\rho_{AGUA}} - 1\right) * g * (d_{ARENA})^2}{18 * v_{AGUA}} \quad \dots (3.5.1.2.9)$$

$$V_{ASENTAMIENTO} = \frac{\left(\frac{2650 \frac{kg}{cm^3}}{997.277 \frac{kg}{cm^3}} - 1\right) * (9.81 \frac{m}{s^2}) * \left(\frac{0.2}{1000}\right)^2}{18 * 9.203 * 10^{-7} \frac{m^2}{s}}$$

$$V_{ASENTAMIENTO} = 0.0392 \frac{m}{s}$$

Tiempo de Sedimentación ($T_{SEDIMENTACION}$)

Tiempo que requiere una partícula sedimentable para descender desde el nivel donde se encuentra el flujo hasta alcanzar el fondo. Se calcula de la siguiente manera.

$$T_{SEDIMENTACIÓN} = \frac{H_C}{V_{ASENTAMIENTO}} \quad \dots (3.5.1.2.10)$$

$$T_{SEDIMENTACIÓN} = \frac{0.30 \text{ m}}{0.0392 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 7.39 \text{ s}$$

Longitud de Desarenador ($L_{DESARENADOR}$)

Longitud hidráulica principal útil del canal, donde ocurre la sedimentación de la arena. Se calcula de la siguiente manera:

$$L_{DESARENADOR} = \frac{H_C * V_H}{V_{ASENTAMIENTO}} \quad \dots (3.5.1.2.11)$$

$$L_{DESARENADOR} = \frac{0.3 \text{ m} * 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.0392 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2.22 \text{ m}$$

Longitud Adicional mínimo (ΔL_{MIN})

Longitud extra mínima que se agrega como margen para así garantizar el correcto desempeño del desarenador. Se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta L_{MIN} = 2 * H_C \quad \dots (3.5.1.2.12)$$

$$\Delta L_{MIN} = 2 * 0.30 \text{ m} = 0.60 \text{ m}$$

Longitud Adicional Máxima (ΔL_{MAX})

Longitud adicional máxima que se agrega para establecer un límite superior, usado para que el desarenador no se sobredimensione. Se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta L_{MAX} = 0.5 * L_{DESARENADOR} \quad \dots (3.5.1.2.13)$$

$$\Delta L_{MAX} = 0.5 * (2.22) = 1.11 \text{ m}$$

Longitud Total de Desarenador ($L_{TOTAL\ DESARENADOR}$)

Longitud final del diseño del Desarenador, resulta de sumar la longitud útil con la longitud adicional máxima.

$$L_{TOTAL\ DESARENADOR} = L_{DESARENADOR} + \Delta L_{MAX} \quad \dots (3.5.1.2.14)$$

$$L_{TOTAL\ DESARENADOR} = 2.22 + 1.11 = 3.35 \cong 3.50 \text{ m}$$

Tabla 27

Parámetros dimensionamiento Desarenador de Flujo Horizontal.

Dimensionamiento de Desarenador de Flujo Horizontal	
Caudal de Diseño	0.062 m ³ /s
Velocidad Horizontal	0.3 m/s
Area Sección Transversal	0.206 m ³
Ancho de canal	0.70 m
Altura de canal	0.30 m
Altura de canal adoptada	0.65 m
Area mojada	0.21 m ²
Perímetro mojado	1.30 m
Radio Hidráulico	0.16 m
Temperatura	24.2 °C
Densidad Agua	997.277 kg/cm ³
Densidad de arena	2650 kg/cm ³
Relación Densidad arena/ Densidad agua	2.657

Viscosidad cinemática agua	$9.20 * 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$
Diámetro de arena	0.2 mm
Velocidad de asentamiento	0.0392 m/s
Tiempo de Sedimentación	7.40 s
Longitud del Desarenador	2.22 m
Longitud mínima adicional	0.60 m
Longitud máxima adicional	1.11 m
Longitud total del desarenador	3.50 m

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

3.5.1.3 Canal de Parshall

Estructura hidráulica calibrada instalada en canales para medir el caudal que circula dentro del desarenador de flujo horizontal. Se coloca con frecuencia después del desarenador. El Parshall genera una contracción del canal hacia una garganta y luego una expansión.

Ancho de Garganta (W).

Sección más estrecha de la estructura. Es la dimensión que define el tamaño nominal de Parshall y determina el rango de medición de los caudales. Los valores de ancho de garganta ya se encuentran definidos por la (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)), a continuación, los siguientes valores.

Tabla 28

Fórmulas Canales de Parshall

Ancho de Garganta (W) (cm)		Ecuación	Capacidad (l/s)
2.5	1"	$Q = 0.055 (H_a)^{1.5}$	0.3 – 5
5	2"	$Q = 0.110 (H_a)^{1.5}$	0.6 – 13
7.6	3"	$Q = 0.176(H_a)^{1.547}$	0.8 – 55

15.2	6"	$Q = 0.381 (H_a)^{1.58}$	1.5 – 110
22.9	9"	$Q = 0.535 (H_a)^{1.53}$	2.5 – 250
30.5	12"	$Q = 0.690 (H_a)^{1.522}$	3.1 – 455
45.7	18"	$Q = 1.054 (H_a)^{1.538}$	4.3 – 700
61.0	24"	$Q = 1.426 (H_a)^{1.55}$	12 – 950

Nota: Extraído de CONAGUA (Pequeño fragmento de tabla)

Ecuación de Descarga

En base a la Tabla 28, se tiene que la ecuación de descarga parametrizada en base a diversos estudios y aplicaciones. La forma de la ecuación es la siguiente.

$$Q_{\text{DESCARGA}} = 0.535 (H_a)^{1.53} \quad \dots (3.5.1.3.1)$$

Tirante a 2/3 de A (H_a).

Para el cálculo se considera el caudal de diseño, obtenido anteriormente ya que es el que pasa por el canal desarenador. Con esto la fórmula para obtener el tirante es la siguiente:

$$H_a = \left(\frac{Q_{\text{DIS}}}{0.535} \right)^{\frac{1}{1.53}} \quad \dots (3.5.1.3.2)$$

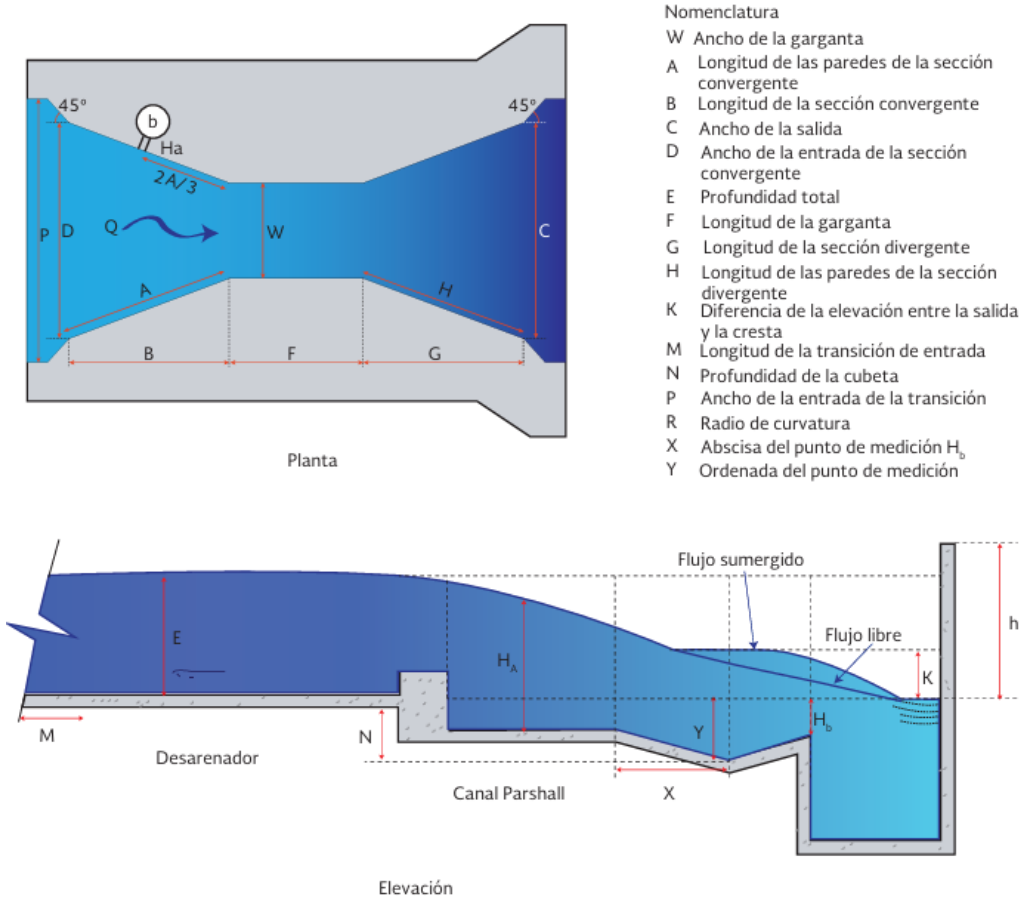
$$H_a = \left(\frac{0.116 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.535 \text{ s}} \right)^{\frac{1}{1.53}} = 0.369 \text{ m}$$

Dimensiones Canal de Parshall

Cada una de las medidas correspondientes al canal se encuentran definidas en la (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019). Además de que cuentan con un esquema gráfico en vista planta y lateral con cada una de las partes del Canal de Parshall.

Figura 12

Partes y Configuración del Canal de Parshall.



Nota: Extraído de CONAGUA.

Tabla 29

Dimensiones de la canaleta Parshall, de acuerdo con la configuración de la Figura 12.

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y
2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9			50	0.8	1.3
5.1	41.4	40.6	13.5	21.4	35.6	11.4	25.4	2.2	4.3			70	1.6	2.5
7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7	40.6	30.5	76.8	2.5	3.8
15.2	62.1	61	39.4	40.3	45.7	30.5	61	7.6	11.4	40.6	30.5	90.2	5.1	7.6
22.9	88	86.4	38	57.5	61	30.5	45.7	7.6	11.4	40.6	30.5	108	5.1	7.6

30.5	137.2	134.4	61	84.5	91.5	61	91.5	7.6	22.9	50.8	38.1	149.2	5.1	7.6
45.7	144.9	142	76.2	102.6	91.5	61	91.5	7.6	22.9	50.8	38.1	167.6	5.1	7.6
61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61	91.5	7.6	22.9	50.8	38.1	185.4	5.1	7.6

Nota: Extraído de CONAGUA (Pequeño fragmento de tabla).

Ancho de Canal a 2/3 de A (W_a).

Ancho interno del canal medido a 2/3 de la longitud de A, desde el inicio del tramo considerado, observando la Figura 12 y adoptando las variables ubicadas en la Tabla 29, se obtiene el valor de la siguiente manera:

$$W_a = D - \left[\frac{2}{3} * \left(\frac{D - W}{2} \right) \right] \quad \dots (3.5.1.3.3)$$

$$W_a = 57.5 \text{ cm} - \left[\frac{2}{3} * \left(\frac{57.5 \text{ cm} - 22.9 \text{ cm}}{2} \right) \right]$$

$$W_a = 45.97 \text{ cm} \cong 0.4597 \text{ m}$$

Velocidad en el punto V_a

$$V_a = \frac{Q_{DIS}}{H_a * W_a} \quad \dots (3.5.1.3.4)$$

$$V_a = \frac{0.116 \frac{m^3}{s}}{(0.3689 \text{ m}) * (0.4597 \text{ m})} = 0.686 \frac{m}{s}$$

Tirante Hidráulico en el Canal (h)

Se usa la ecuación de Bernoulli, según lo explicado anteriormente en el canal de Parshall al existir un estrangulamiento, existe una variación en la energía del sistema, además de tener pérdidas.

$$\frac{(V_H)^2}{2 * g} + h = \frac{(V_a)^2}{2 * g} + H_a + H_l \quad \dots (3.5.1.3.5)$$

Tomar en cuenta que H_l representa el 10 % de las perdidas en el canal de Parshall, la fórmula más desarrollada queda de la siguiente manera:

$$\frac{(V_H)^2}{2 * g} + h = \frac{(V_a)^2}{2 * g} + H_a + 0.1 \left[\frac{(V_a)^2}{2 * g} - \frac{(V_H)^2}{2 * g} \right] \quad \dots (3.5.1.3.6)$$

$$\frac{\left(0.3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} + h = \frac{\left(0.686 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} + 0.369 m + 0.1 \left[\frac{\left(0.686 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} - \frac{\left(0.3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \right]$$

$$h = 0.3903 m \cong 0.40 m$$

Ancho de Sección Parabólica (T)

Ancho hidráulico del canal, cuando tiene una geometría curva transversal, donde el fondo y las paredes tiene una forma parabólica ya que el ancho no es constante. Se obtiene de la siguiente manera:

$$T = \frac{3 * A_T}{2 * h} \quad \dots (3.5.1.3.7)$$

$$T = \frac{3 * 0.387 m^2}{2 * 0.4 m} = 1.454 m$$

Tabla 30

Valores externos Dimensionamiento de Canal de Parshall.

Otros Parámetros Dimensionamiento Canal de Parshall	
Tirante a 2/3 de A	0.2441 m

Ancho de Canal a 2/3 de A	0.4597 m
Velocidad en el punto.	0.552 m/s
Tirante Hidráulico del Canal	0.40 m
Ancho de Sección Parabólica	1.189 m

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

3.5.2 Tratamiento primario

3.5.2.1 Diseño de laguna anaerobia

Se presenta la recopilación de los datos necesarios para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante una laguna anaerobia. Estos son la basa para el respectivo dimensionamiento:

Tabla 31

Datos requeridos para el dimensionamiento.

Datos Previos para Dimensionamiento Laguna de Estabilización.	
Población de diseño (P)	8461 hab
Agua residual per cápita (q)	52 l/hab*día
Q diseño	61.88 l/s
	5346 m ³ /día
DBO Afluente	252 mg/L
Temperatura	24.2 C
Coliformes fecales	1600000 NMP/100mL

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

Cálculo de la carga volumétrica orgánica de diseño

Esta representa la masa total de contaminación orgánica que ingresa a la laguna diariamente.

$$C.O = \frac{Q_{\text{diseño}} * DBO_{\text{afuente}}}{1000} \quad \dots (3.5.2.1.1)$$

$$C.O = 1347.203993 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Este indica que la carga diaria que debe ser tratada por la laguna anaerobia es de aproximadamente 1347.203 kg DBO/día. Este valor es fundamental para la siguiente etapa de diseño, que consiste en determinar el volumen y las dimensiones de la laguna basado en el criterio de carga volumétrica superficial permisible.

Carga volumétrica de diseño

Este representa la máxima de contaminación que cada metro cúbico de volumen de la laguna puede procesar eficientemente por día. Con esto, es factible determinar el volumen requerido de la laguna y se selecciona directamente en función de la temperatura de la zona de estudio, ya que la actividad microbiológica en los sistemas anaerobias es sensible a la temperatura. Para garantizar la robustez del diseño se basó en:

Tabla 32

Valores de diseño para cargas volumétricas en función de la temperatura (CONAGUA).

Temperatura	Carga volumétrica (g/DBO/m³-día)	Remoción del DBO %
<10 °C	100	40
10-20 °C	20T-30	2T+20
>20 °C	300	60*

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

Se considera que la temperatura mínima registrada en la zona de estudio es de 24.2 °C debido a que este valor supera los 20 °C y siguiendo el criterio normativo (CONAGUA), la

carga volumétrica máxima admisible es de $300 \frac{g}{\frac{DBO}{m^3 \cdot día}}$. Se proyecta una eficiencia de remoción del 60%.

Tabla 33

Porcentaje de remoción esperado CONAGUA.

% de remoción de DBO
60 %

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

Volumen de la laguna (Va)

Una vez establecida la carga orgánica de diseño (C.O) y la carga volumétrica de diseño, se procede a calcular el volumen total necesario de la laguna (Va) para trata la DBO.

$$Va: \frac{Li * Qi}{\lambda_v} \quad \dots (3.5.2.1.2)$$

$$Va: 4490.68 \text{ m}^3$$

Este resultado de 4490.68 m^3 representa el volumen mínimo requerido para que la laguna, basándose en el criterio de carga orgánica, el cual será utilizado para determinar las dimensiones geométricas finales de la laguna anaerobia.

Área de la laguna (Aa)

Para determinar el área superficial de la laguna, se aplicó una relación geométrica básica donde el área es el cociente entre el volumen de la laguna, y una profundidad adoptada (Z), según la ecuación:

$$Aa: \frac{V_a}{Z} \quad \dots (3.5.2.1.3)$$

Para la selección del parámetro Z , se trabajó bajo el criterio de la normativa CONAGUA, la cual establece un rango de profundidad admisible de 2 a 4 metros, con el objetivo de equilibrar la eficiencia térmica y la capacidad de almacenamiento de lodos, se adoptó una profundidad de diseño (Z) de 3.5 metros. Sustituyendo lo previamente calculado junto con la profundidad seleccionada, se obtiene:

$$A_a = \frac{4490.68}{3.5} = 1283.05 \text{ m}^2$$

Este resultado representa la superficie de espejo de agua mínima requerido para garantizar que el sistema procese la carga orgánica de diseño bajo las condiciones de temperatura de la zona de estudio.

Tiempo de retención hidráulica

Este parámetro representa el tiempo promedio que el agua residual permanece almacenada dentro de la laguna, permitiendo el contacto necesario para que ocurra el proceso de sedimentación y degradación biológica. Su determinación es crucial para asegurar que la eficiencia del tratamiento.

Se calcula mediante la relación entre el volumen de la laguna y el caudal del afluente, en m^3/s , expresado:

$$O_a = \frac{Va}{Q_i} \quad \dots (3.5.2.1.4)$$

Para garantizar la robustez del diseño hidráulico, se verificó el parámetro basándose en los rangos operativos recomendados por CONAGUA, de 1 a 5 días. Al realizar el respectivo cálculo se obtiene:

$$O_a = \frac{4490.68 \text{ m}^2}{5346 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)} = 0.84 \text{ días}$$

Se obtuvo un tiempo de retención preliminar de 0.84 días. Dado que este valor es inferior al límite mínimo de 1 día establecido por la normativa, el diseño no cumpliría con el tiempo necesario. Por consiguiente, se adopta un tiempo de 2 días. Este ajuste asegura el cumplimiento del rango normativo y proporciona un factor de seguridad operativa ante cualquier variación de caudal, garantizando la eficiencia del sistema

Cálculo de la concentración de DBO en el efluente.

Ya determinado el volumen de la laguna y la carga volumétrica de diseño, se procede a proyectar la calidad del agua a la salida de la laguna. Esta concentración se calcula a partir de la concentración del afluente (DBO_i) bajo el criterio de eficiencia de remoción típica.

Considerando la carga volumétrica de diseño, y las condiciones climáticas ($T = 24.2^\circ\text{C}$). Según la normativa de diseño y literatura especializada (Comisión Nacional del Agua, 2015) las lagunas anaerobias poseen una eficiencia de remoción mínima del 60%.

$$DBO_{\text{afluente}} = 252 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ remoción} = 60\%$$

La carga orgánica biodegradable que ingresará al sistema de humedales se determina mediante la siguiente relación.

$$DBO_e = DBO_{\text{entrada}} * (1 - \%R) \quad \dots (3.5.2.1.5)$$

$$DBO_e = 252 * (1 - 0.6)$$

$$DBO_e = 100.8 \text{ mg/L}$$

El cálculo proyecta una concentración residual de 100.8 mg/L. Este resultado asegura que; a carga orgánica que recibe el humedal ha sido reducida significativamente, protegiendo el medio granular contra la colmatación biológica y permitiendo que el tratamiento secundario se enfoque en el pulimiento final del efluente.

Cálculo de la concentración de DQO en el efluente

Siguiendo la misma metodología aplicada para la Demanda Bioquímica de Oxígeno, la determinación de la concentración de demanda bioquímica de Oxígeno a la salida de la laguna se realizó bajo el criterio de remoción típica.

Las lagunas anaerobias se caracterizan por su alta capacidad para degradar materia orgánica concentrada en tiempos de retención cortos. Según la literatura especializada (Mara, 2003), este tipo de unidades operando bajo condiciones de clima cálida ($> 20^{\circ}\text{C}$) alcanzan eficiencias de remoción de carga orgánica que oscilan típicamente entre el 40% al 60%.

Se adoptó un porcentaje de remoción mínimo del 40%. Esta decisión introduce un factor de seguridad al sistema, garantizando que el tratamiento secundario (humedal) sea dimensionado para soportar la carga orgánica incluso si la laguna opera en condiciones de mínima eficiencia.

- Carga de entrada $DQO_{\text{entrada}} = 513 \text{ mg/L}$, obtenido mediante trabajo de laboratorio
- Eficiencia de diseño asumida (%R): 40%

$$DQO_{\text{salida}} = DQO_{\text{entrada}} * (1 - \%R) \quad \dots (3.5.2.1.6)$$

$$DQO_{\text{salida}} = 513 * (1 - 0.40)$$

$$DQO_{\text{salida}} = 307.8 \text{ mg/L}$$

La etapa anaerobia logra reducir la carga orgánica a 307.8 mg/L . Si bien este valor representa una disminución considerable con respecto al crudo, aún supera el límite de descarga directa, confirmando la función de la laguna como unidad de desbaste primario que acondiciona el agua residual para su tratamiento definitivo en el sistema de humedales.

Decaimiento de coliformes fecales.

Para estimar la reducción de coliformes fecales en el sistema, es necesario utilizar el modelo cinético de primer orden conocido como la fórmula de Chick-Watson corregida, ajustada a condiciones climáticas del sitio.

Dado que la velocidad de mortalidad bacteriana es dependiente de la temperatura, la constante de reacción se calculó mediante la siguiente fórmula, en la cual se corrigió la constante de decaimiento K , utilizando la ecuación de Arrhenius.

$$K = A * e^{\frac{-Ea}{R*T}} \quad \dots (3.5.2.1.7)$$

$$K_t = 2.6 * (1.19)^{(T-20)}$$

Siendo:

- K_t : Constante global de decaimiento de coliformes fecales a la temperatura del agua T (expresada en d^{-1})
- 2.6: Constante de reacción estándar a 20C (K_{20}), en d^{-1} .
- 1.19: Coeficiente de temperatura, adimensional
- T : Temperatura de diseño

Según la fórmula establecida, el valor de 1.19 indica una alta correlación entre la temperatura y la tasa de mortalidad bacteriana; es decir, un incremento en la temperatura del agua acelerará considerablemente la eliminación de coliformes fecales. Al ejecutar el respectivo cálculo, se obtiene lo siguiente:

$$K_t = 2.6 * (1.19)^{(24.2-20)}$$

$$K_t = 5.40 \text{ d}^{-1}$$

Este valor obtenido es significativamente superior a la constante de reacción base a 20 C, de 2.6 d^{-1} sugerida en la literatura para estas condiciones (Marais, 1974), denota una elevada eficiencia. En términos operativos, este valor obtenido implica una rápida disminución de la

concentración de coliformes fecales, lo que permite alcanzar los estándares de calidad con tiempos de retención hidráulica menores.

Estimación de la calidad del efluente (N_e)

Para determinar la concentración final de coliformes fecales en la salida de la laguna, se aplicó el modelo de flujo de mezcla completa bajo una cinética de primer orden, el cual asume una dispersión instantánea del contaminante, lo cual representa una aproximación conservadora y segura para el diseño de sistemas biológicos naturales.

La concentración final de coliformes fecales N_e se determinó mediante la aplicación de la ley de Chick modificada.

$$N_e = \frac{N_i}{1 + Kt * O_a} \quad \dots (3.5.2.1.8)$$

Siendo:

- N_e : Concentración de coliformes fecales en el efluente (NMP/100mL).
- N_i : Carga bacteriana inicial en el afluente ingresando
- Kt : Constante cinética corregida ($5.40d^{-1}$)
- O_a : Tiempo de retención hidráulica

$$N_e = \frac{1600000}{1 + 5.40(d^{-1}) * 2(dias)}$$

$$N_e = 135628.42 \text{ NMP/100mL}$$

Dimensionamiento geométrico

Una vez determinado el volumen y área superficial requerida, se procedió a dimensionar físicamente la unidad. Para garantizar un flujo hidráulico eficiente, se adoptó una relación largo-ancho de 2:1.

$$r = \frac{L}{B} = 2 \quad \dots (3.5.2.1.9)$$

Para el cálculo de largo y ancho de la laguna, se toma en consideración las características geotécnicas del sitio, identificando como suelo arcilloso, se seleccionó una pendiente para los taludes internos de 3H:1V (3 horizontales por 1 vertical). Esta inclinación es suave es necesaria para prevenir deslizamiento de tierra y asegurar la estabilidad estructural.

$$B = \left(\frac{\text{Area}_{\text{laguna}}}{r} \right)^{0.5} + z * t \quad \dots (3.5.2.1.10)$$

$$B = \left(\frac{1283.05}{2} \right)^{0.5} + 3.5 * 3$$

$$B = 32.33 \text{ m}$$

$$L = \left(\frac{\text{Area}_{\text{laguna}}}{32.33} \right)^{0.5} + z * t \quad \dots (3.5.2.1.11)$$

$$L = \left(\frac{1283.05}{32.33} \right)^{0.5} + 3.5 * 3$$

$$L = 57.66 \text{ m}$$

$$A_{\text{sup}} = B * L \quad \dots (3.5.2.1.12)$$

$$A_{\text{sup}} = 32.33 * 57.66$$

$$A_{\text{sup}} = 1863.94 \text{ m}^2$$

Tabla 34.

Dimensiones obtenidas de la laguna.

Dimensiones Laguna	
B	32.33m
L	57.66
A_sup	1863.94 m ²

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

Estimación de lodos y frecuencia de mantenimiento

En lagunas, la acumulación de material sedimentable y biomasa inerte en el fondo reduce progresivamente el volumen útil de tratamiento. Para determinar la vida útil operativa antes de requerir mantenimiento, se siguieron los lineamientos de diseño de CONAGUA, considerando un aporte per cápita típica. Previo al cálculo, es importante mencionar nuevamente el volumen de la laguna:

Tabla 35.

Volumen de la laguna previamente calculado.

Volumen de la laguna
4490.68 m ³

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

Continuando, se estableció como límite operativo máximo una acumulación de lodos correspondiente a 1/3 del volumen total (33%) de la laguna. Este criterio se adopta siguiendo los lineamientos de (Comisión Nacional del Agua, 2015) junto con (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 1983) los cuales indican que permitir una acumulación superior, reducen el tiempo de retención hidráulica comprometiendo la calidad del efluente.

Tabla 36.

1/3 volumen de la laguna calculado.

1/3 volumen de la laguna
1496.89 m ³

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

Luego, se debe encontrar la altura óptima en la que se debe sacar la altura del lodo, la cual se obtiene:

$$\text{Altura} = \frac{1}{\frac{3 \text{ volumen}}{\text{Area}_{\text{laguna}}}} \quad \dots (3.5.2.1.13)$$

$$\text{Altura} = 1.167 \text{ m}$$

Esto significa que cuando la capa de lodo que se acumuló en el fondo de la laguna alcance 1 metro de altura es el momento obligatorio de limpiar.

Continuando, para hallar el Volumen de lodos, se requiere conocer la población servida al final del periodo de diseño, junto con la tasa de acumulación, adoptando un valor de 0.04 $\frac{\text{m}^3}{\text{hab} \cdot \text{año}}$, correspondiente a un valor estándar para lagunas con climas tropicales (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 1983).

$$V_{\text{lodos}} = P * T_{\text{acum}} \quad \dots (3.5.2.1.14)$$

$$V_{\text{lodos}} = 8461 \text{ hab} * 0.04 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} * \text{año}}$$

$$V_{\text{lodos}} = 338.44 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Finalmente, se requiere obtener la frecuencia de limpieza T_{limpieza} se obtiene dividiendo tanto la capacidad de almacenamiento para la tasa de generación anual, obteniendo:

$$T_{\text{limpieza}} = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{lodos}}} = \frac{1496.89 \text{ m}^3}{338.44 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}} \quad \dots (3.5.2.1.15)$$

$$T_{\text{limpieza}} = 4.43 \text{ años}$$

Con este tiempo de limpieza siendo cada 4 años y medio, los costos de operación son mínimos comparados con una planta convencional (que genera lodos todos los días)

3.5.3 Tratamiento Secundario

3.5.3.1 Diseño de humedal subsuperficial de flujo horizontal

Para la etapa de tratamiento secundario, se dimensionó un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. A continuación, se mostrarán tanto información recopilada previamente como ciertos coeficientes adaptados para este tipo de sistemas.

Tabla 37.

Tabla de datos recopilados de la laguna y coeficientes adaptados (DBO)

Parámetro	Valor	Unidad
Hidráulicos y cargas		
Caudal de diseño	5346	m ³ /día
DBO afluente (Co)	100.87	mg/L
Cinéticos (Reed et al, 1995)		
Constante para 20 °C	0.23	d ⁻¹
K_t		
Coefficiente de corrección de temperatura θ	1.06	-
C*	15	mg/L
Geométricos y físicos		
Altura adoptada (d)	1	m
Porosidad del medio (n)	0.5	-

Pendiente del lecho (S)	0.006	m/m
Temperatura	24.2	C

Nota: Fuente de Elaboración propia a partir de datos de laboratorio y coeficientes de (Reed et al. 1995).

Como se aprecia en la Tabla 34, se establecieron los parámetros de dimensionamiento. Se consideró una cinética de primer orden con flujo pistón, adoptando una constante de reacción base K_{20} de $0.23 d^{-1}$ y una concentración de fondo (C^*) de 15 mg/L, valores recomendados por (Reed *et al.*, 1995) para humedales con medio de soporte de grava gruesa.

Asimismo, se definió una porosidad efectiva (n) del 50% y una profundidad de lámina de agua de 0.70m, condiciones que buscan maximizar el contacto entre el biofilm adherido al medio pétreo y el agua residual.

Selección de tipo de vegetación

El tipo de vegetación más utilizada a nivel Latinoamérica, en la configuración de humedal subsuperficial es la *Typha domingensis* o comúnmente llamada totora. En el contexto de humedal de flujo subsuperficial horizontal, en un estudio piloto realizado por (Schierano et al, 2020), la planta totora es bastante usada debido a sus alta adaptabilidades a las condiciones locales del lugar al que se aplica. Se tiene caso de aplicación en lugares donde la zona es árida con poca precipitación, además de tolerar una salinidad elevada y pH alto, por todo lo mencionado es la opción más idónea para Santa Elena.

Además, presenta buenas eficiencias en la remoción de nutrientes y materia orgánica, dando los siguientes porcentajes: SST con 78.4 %, DBO con 57.9 %, DQO 68.7 %, Nitrógenos totales (NTK) con 47.8 %.

Figura 13

Typha domingensis (totora/espadaña).



Corrección de la constante cinética K_t .

Debido a que la temperatura de diseño (24.2 °C) es superior a la estándar (20 °C), se ajustó la constante de reacción K_{20} utilizando la ecuación de Arrhenius modificada. Esto refleja el incremento de la actividad metabólica bacteriana debido al calor.

$$K_t = K_{20} * \theta^{(T-20)} \quad \dots (3.5.2.1.16)$$

$$K_t = 0.23 * 1.06^{(24.2-20)}$$

$$K_t = 0.294 \text{ d}^{-1}$$

Tiempo de retención hidráulica.

Se calculó el tiempo necesario que el agua debe permanecer en contacto con el medio filtrante para reducir la DBO de 252 mg/L a 100.89 mg/L. Según el modelo de flujo pistón de primer orden:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_t} \quad \dots (3.5.2.1.17)$$

$$t = \frac{\ln\left(\frac{100.887}{50}\right)}{0.594}$$

$$t = 2.389 \text{ dias}$$

El tiempo de retención hidráulica calculado es de 2.389 días, este representa el período medio de residencia del agua residual dentro del lecho poroso. Este parámetro es crítico para el diseño, debido a que define el tiempo de contacto efectivo entre la materia orgánica disuelta (sustrato) y el biofilm microbiano adherido al medio de soporte. Un tiempo de reacción incompleta, resulta en un efluente que no cumple con los estándares de calidad establecido por TULSMA.

Área superficial requerida.

Para determinar la superficie horizontal necesaria del humedal, se aplicó la ecuación fundamental para sistemas de flujo subsuperficial (Reed *et al*, 1995), la cual relaciona la carga hidráulica y orgánica con la cinética de degradación del sistema.

La fórmula empleada fue:

$$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_t * d * n} \quad \dots (3.5.2.1.18)$$

Donde:

- Q: caudal medio de diseño
- Ln (Co/Ce): Logaritmo natural de la relación de remoción
- K_t : Constante corregida
- d : Profundidad útil de la zona de raíces
- n : Porosidad del medio de grava (0.5)

$$A_s = \frac{(10052.74) * \ln\left(\frac{100.89}{50}\right)}{0.293 * 0.50 * 0.50} \quad \dots (3.5.2.19)$$

$$A_s = 2280.77 \text{ m}^2$$

Esta área representa la extensión física horizontal necesaria para el emplazamiento del lecho poroso y la vegetación. Este parámetro es determinante para el diseño, debido a que

establece la superficie de contacto disponible para distribuir la carga hidráulica y soportar la cinética de degradación biológica dentro del humedal.

Un sub-dimensionamiento de esta área provocaría una sobrecarga superficial, resultando en una remoción insuficiente de la carga orgánica que impediría cumplir con los límites máximos permisibles de descarga.

Tabla 38.

Resumen de parámetros geométricos e hidráulicos para la configuración rectangular (8 módulos).

Parámetros	Cantidades	Unidades
Número de módulos	8	u
Área de cada módulo	2280.77	m ²
Relación larga: ancho	1	
Ancho de un módulo	47.75	m
Largo de un módulo	47.75	m
Ancho total efectivo	382.06	m
Tiempo de retención hidráulica	2.39	días

Nota: Fuente de Elaboración Propia.

Con base en los requerimientos de caudal y la necesidad de optimización operativa, se definió la configuración final del sistema, cuyos parámetros se detallan en la Tabla 35 El diseño establece un tren de tratamiento compuesto por 8 módulos independientes operando en paralelo, decisión fundamentada en los siguientes criterios técnicos:

Esta configuración permite aislar individualmente cualquiera de las celdas para labores de mantenimiento sin detener la operación de la planta. Al retirar un módulo de servicio, el caudal se redistribuye entre las 7 unidades restantes, incrementando la carga hidráulica en apenas

un 11%. Este incremento es marginal y puede ser absorbido temporalmente por el sistema sin comprometer la calidad del efluente.

Al limitar el ancho de cada celda 77.49 m, se mejora la distribución del agua a través de la sección transversal, minimizando la formación de zonas muertas y cortocircuitos hidráulicos que son frecuentes en humedales de forma cuadrada o excesivamente anchos.

Verificación de cumplimiento de nutrientes

Para garantizar que el flujo se mantenga en régimen subsuperficial y evitar el afloramiento de agua residual en la superficie del lecho, es necesario primero calcular la verificación de no desborde (ley de Darcy)

$$Q_{max} = K_s * A_c * S \quad \dots (3.5.2.1.20)$$

Donde:

- Qmax: Cantidad máxima de agua que las piedras pueden
- Ks: Conductividad hidráulica
- Ac: Área de sección transversal disponible
- S: Pendiente

Tabla 39.

Comprobación de la capacidad hidráulica a través de la Ley de Darcy.

Parámetros	Cantidad	Unidades
Conductividad hidráulica del medio filtrante	6000	$\frac{m^3}{m^2 * día}$
Área de la sección transversal	267.44	m^2
Caudal máximo	9627.88	$m^3/día$

Se seleccionó un material granular grueso, con una conductividad hidráulica (K_s) de $6000 \frac{m^3}{m^2 \cdot día}$. Este valor es característico de gravas limpias, necesarias para minimizar problemas en la zona de entrada. Mientras que el área de la sección viene dada por la multiplicación de ancho total efectivo y profundidad, dando como resultado lo que se encuentra en la Tabla 36.

Al comparar la capacidad máxima $11159.14 \text{ m}^3/\text{día}$ con el caudal de diseño $10053 \text{ m}^3/\text{día}$, se observa que $Q_{max} > Q_{diseño}$, confirmando que el gradiente hidráulico y la porosidad seleccionados son los óptimos, lo cual se considera hidráulicamente seguro.

Tabla 40.

Tabla de datos a utilizar para comprobación de cumplimiento de NTK, ajustada por temperatura.

Parámetros	Símbolo	Cantidades	Unidades
Coefficiente de temperatura (θ)	(θ)	1.05	-
Coefficiente inicial	C_0	75	mg/L
Constante para $20 \text{ }^\circ\text{C}$ día^{-1}	K_{20}	0.23	día^{-1}
Temperatura $^\circ\text{C}$	T	24.2	C
Tiempo de retención hidráulica	θ	2.39	días
Constante de reacción corregida	K_{NTK}	0.282	día^{-1}

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de laboratorio y coeficientes de (Reed et al. 1995).

Para validar la funcionalidad en la parte de remoción de NTK, se realizó ciertas verificaciones que se muestran en la Tabla 37, en este se corrigió la constante cinética base a 0.23 d^{-1} , utilizando un coeficiente de temperatura $\theta = 1.05$ específico para nitrificación en humedales (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 1983), mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$K_{NTK} = K_{20} * \theta^{(T-20)} \quad \dots (3.5.2.1.21)$$

Esto resultó en una constante de reacción de K_{NTK} de 2.82 dia^{-1} , lo que representa un incremento del 22% en la velocidad de degradación respecto a condiciones estándar. La concentración inicial de 75 mg/L, fue obtenida mediante trabajos de laboratorio, el tiempo de retención hidráulica fue previamente calculado.

$$C_e = C_o * e^{(-K_{NTK}*t)} \quad \dots (3.5.2.1.22)$$

$$C_e = 75 * e^{(-0.282*2.39)}$$

$$C_e = 38.20 \text{ mg/L}$$

Finalmente, se procedió a contrastar la concentración de efluente proyectada mediante el modelo cinético ajustado (38.2 mg/L), con los estándares de calidad vigente. El límite máximo permisible establecido por el TULSMA (Libro VI, anexo 1) para descargas de cuerpo de agua dulce es de 50 mg/L para NTK, tal como se puede observar en la Figura 12.

Figura 14.

Límites máximos permisibles a un cuerpo de agua dulce.

KO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE
NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1.000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	200
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,1
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	180
Sólidos totales	ST	mg/l	1.000
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	1000
Sulfuros	S ²⁻	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Fuente: Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

El diseño propuesto logra una concentración final inferior al umbral regulatorio, lo cual valida que el sistema de 8 módulos operando bajo 24.2 C y tiempo de retención de 2.39 días es técnica y legalmente viable, garantizando una descarga ambientalmente segura.

Verificación de cumplimiento de SST

A diferencias de contaminantes como los NTK que requieren procesos complejos, la eliminación de Sólidos Suspendedos Totales (SST) en humedales de flujo subsuperficial se rige predominantemente por mecanismos físicos. El lecho de grava actúa como un reactor de filtración.

Para cuantificar este fenómeno, se aplicó el modelo de decaimiento de primer orden (flujo pistón). Esta elección se fundamenta en que la tasa de remoción es proporcional a la concentración de sólidos remanentes: la mayor parte de la clarificación ocurre en el primer tercio del humedal.

$$C_e = C_o * e^{(-K_{SST} * t)} \quad \dots (3.5.2.1.23)$$

Donde:

- C_o : Valor obtenido en la caracterización del agua en el laboratorio.
- t : Tiempo de retención hidráulico (previamente calculado).
- K_{SST} : Constante cinética de remoción. Se adoptó un valor conservador sugerido por (Reed et. al, 1995) ($K=1$), contemplando la reducción efectiva por acumulación de lodos y envejecimiento del sistema, asegurando que el diseño sea resiliente a largo plazo.

Tabla 41.

Parámetros de diseño para el modelo de remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Concentración de entrada	C_o	150.3	mg/L
Coefficiente de temperatura	(θ)	1	-
Constante para 20 °C dia^{-1}	K_{20}	1	d^{-1}
Temperatura	°C	24.2	
Tiempo de retención hidráulica.	T	2.39	Días
Constante de reacción	K_{SST}	1	d^{-1}

Nota: Elaboración propia a partir de datos de laboratorio y coeficientes de (Reed et al. 1995).

- A diferencia de la remoción de materia orgánica (DBO) y patógenos, que son procesos bioquímicos dependientes de la actividad metabólica bacteriana, la eliminación de SST se rige por mecanismos físicos. La literatura de Reed *et al.* 1995) establece que estos procesos físicos presentan una independencia térmica, por ende se asume un coeficiente de temperatura de 1.

$$C_e = 150.3 * e^{(-1*2.39)}$$

$$C_e = 13.78 \text{ mg/L}$$

Para determinar la viabilidad de la descarga, se contrastaron los resultados del modelo cinético con los estándares de calidad ambiental, tal como se puede observar en la Figura 12. En lo referente a SST, la normativa establece un límite máximo permisible de 130 mg/L para descargas a cuerpos de agua dulce.

El diseño propuesto, bajo las condiciones operativas calculadas, proyecta una concentración final de 13.78 mg/L, lo cual CUMPLE con holgura el límite máximo permisible establecido por la TULSMA.

Verificación de calidad microbiológica (coliformes fecales).

La eliminación de organismos patógenos en humedales de flujo subsuperficial se modela mediante una cinética de decaimiento de primer orden (Ley de Chick). Este proceso no depende de químicos, sino de mecanismos naturales como la filtración, la radiación, la temperatura del agua, entre otros.

$$N_e = N_o * e^{(-K_T*t)} \quad \dots (3.5.2.1.24)$$

Tabla 42.

Parámetro de diseño y coeficientes cinéticos para remoción de coliformes fecales.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
-----------	---------	-------	--------

Concentración de entrada	No	135628.42	NMP/100mL
Temperatura del agua	T	24.2	C
Tiempo de retención	T	2.39	días
Constante cinética base	$K_{\text{coliformes}}$	2.6	d^{-1}
Coefficiente de temperatura	θ	1.19	d^{-1}
Límite TULSMA	LMP	2000	NMP/100mL

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del proyectos y coeficientes de (Reed et al. 1995).

La concentración de entrada es el resultado obtenido de concentración de efluente de la laguna. Asimismo, se seleccionó una constante cinética base de 2.6 basada en la literatura de (Reed *et al.* 1995), debido a que este valor representa una tasa de mortalidad bacteriana característica debido a la filtración física y decaimiento natural en medio granular.

Se aplicó un coeficiente de temperatura $\theta = 1.19$. Este valor elevado se justifica por la fuerte dependencia térmica de la tasa de mortalidad de organismos patógenos, lo que resulta en una eficiencia de desinfección significativamente mayor a la temperatura de diseño seleccionada compara con condiciones estándar.

Finalmente, el tiempo de retención hidráulica de 2.39 días, calculado en base al volumen de poros del lecho de grava.

Se aplicó el modelo de primer orden de flujo pistón:

$$N_e = N_o * e^{(-K_{\text{coliformes}} * t)}$$

$$N_e = 135628.42 * e^{(-2.60 * 2.39)}$$

$$N_e = 0.33 \text{ NMP/mL}$$

Verificación de la concentración final de DBO (Ce).

Con el área superficial de diseño, se procedió a modelar la concentración final esperada en el efluente. Para esta comprobación, se utilizó el modelo cinético completo propuesto (Kadlec & Knight, 1996), el cual integra la concentración de fondo (C*). Este parámetro representa la DBO residual generada naturalmente por la descomposición de materia vegetal dentro del humedal, siendo un límite irreductible de limpieza. La ecuación utilizada:

$$C_e = C^* + (C_o - C^*) * e^{\left(\frac{-K_t * A}{Q}\right)} \quad \dots (3.5.2.1.25)$$

$$C_e = 15 + (100.89 - 15) * e^{\left(\frac{-0.294 * 996085.32}{10053}\right)}$$

$$C_e = 46.51 \text{ mg/L}$$

El valor obtenido es significativamente inferior al límite máximo permisible establecido por el TULSMA, (100mg/L para descargas a cuerpo de agua dulce). Esto demuestra que el diseño propuesto no solo cumple con la normativa, sino que ofrece un margen de seguridad amplio, protegiendo al cuerpo receptor incluso de eventuales picos de carga o variaciones operativas.

Verificación de la concentración final de DQO (Ce).

Con el área superficial de diseño, se procedió a modelar la concentración final esperada en el efluente para la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Para esta comprobación, se utilizó el modelo cinético completo, el cual integra la concentración de fondo (C*).

Este parámetro es crítico en el diseño de humedales para DQO, ya que representa la carga orgánica residual generada internamente por la descomposición de la materia vegetal y detritos del propio humedal, la cual es irreductible (Kadlec & Knight, 1996).

Tabla 43.

Tabla de datos recopilados de la laguna y coeficientes adaptados (DQO).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de diseño	5436	m ³ /día
DQO afluente (C _o)	307.8	Mg/L
Cinéticos (Kadlec & Knight, 1996)		
Constante para 20 °C K _t	0.25	d ⁻¹
Coeficiente de corrección de temperatura θ	1.06	-
C*	40	mg/L

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de laboratorio y coeficientes de (Kadlec & Knight, 1996).

Utilizando el modelo cinético de primer orden con concentración residual (k-C*) y considerando la carga de ingreso proveniente de la laguna $C_o = 307.8 \text{ mg/L}$ se tiene:

$$C_e = C^* + (C_o - C^*) * e^{\left(\frac{-K_t * A}{Q}\right)} \quad \dots (3.5.2.1.26)$$

$$C_e = 10 + (307.8 - 40) * e^{\left(\frac{-0.32 * 96085.32}{5436}\right)}$$

$$C_e = 130.05 \text{ mg/L}$$

El modelo predice una concentración final de 130.05 mg/L. Este resultado es satisfactorio y cumple holgadamente con el límite máximo permisible establecido por el TULSMA (200 mg/L para descargas a cuerpos de agua dulce).

La inclusión del parámetro de concentración de fondo C*= 40 mg/L aporta robustez al diseño, demostrando que, incluso considerando la aportación natural orgánica del humedal, el efluente mantiene una calidad para su vertido.

Diseño de cobertura vegetal

Para garantizar el desarrollo de una biomasa saludable y la conformación de la rizosfera necesaria para los procesos de filtración y degradación biológica, se estableció un plan de siembra basado en los criterios de densidad recomendados

Criterios de selección:

- Se utilizará una distribución al tresbolillo (triangular) con 3 plantas /m² separadas 0.60 m. Este esquema maximiza la cobertura del área superficial y evita la canalización del flujo (cortocircuitos hidráulicos) entre las plantas.

Figura 15.

Ejemplo de tresbolillo.



La distribución geométrica adoptada resulta en una densidad inicial de 0.5 u/m². El sistema está compuesto por 8 módulos de operación en paralelo, cada uno con un área superficial de 6386.20 m². Para determinar el número de unidades requeridas, se aplicó un factor de seguridad del 5% para compensar mermas por estrés de trasplante.

Cálculo por módulo.

$$N_{\text{módulo}} = A_{\text{módulo}} * D_s \quad \dots (3.5.2.1.27)$$

$$N_{\text{módulo}} = \text{poner cuanto sale área actualizada} * 3$$

$$N_{\text{módulo}} = \text{plantas/módulos}$$

Considerando la totalidad del sistema de tratamiento:

$$N_{\text{módulo}} = * 8 \quad \dots (3.5.2.1.28)$$

$$N_{\text{módulo}} = 4565 \text{ unidades}$$

Se requerirá el suministro de rizomas o plántulas con una altura de tallo mínima de 20 a 30 cm por encima del sustrato, asegurando que la parte vegetativa sobresalga del nivel de agua operativo durante la fase de arranque para evitar el ahogamiento de la planta

Capítulo 4

4. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

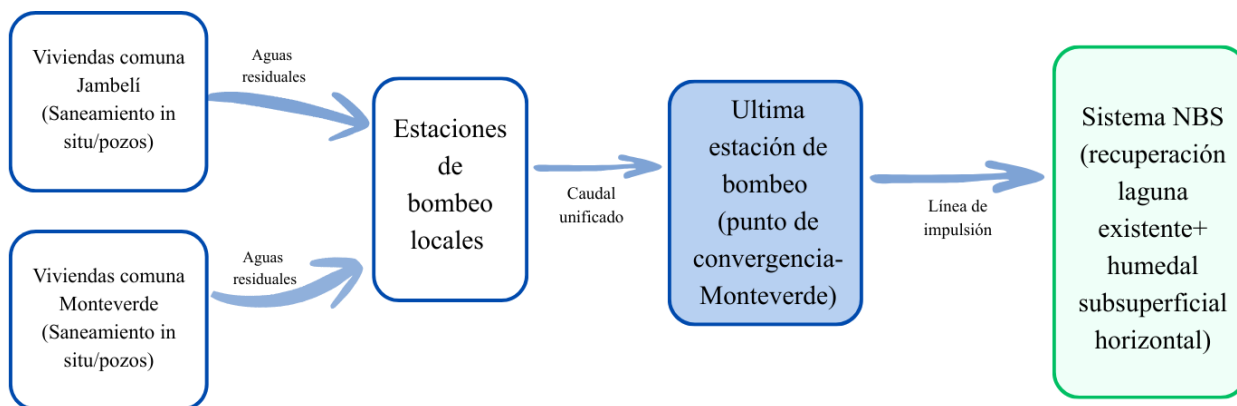
4.1. Descripción del proyecto (máximo de 300 palabras)

El sitio de estudio correspondiente a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Mancomunidad se localiza en la provincia de Santa Elena. El sistema tomo como punto de partida la última estación de bombeo de la comuna Monteverde.

Durante la visita técnica realizada, se estableció esta estación como el punto de recolección donde se concentrarán los caudales futuros de ambas comunas, una vez establecida la interconexión, ya que actualmente esta estación cumple con esa función. Desde esta última estación de bombeo, se impulsa el caudal de aguas servidas hacia la laguna de oxidación existente. La propuesta de diseño establecida toma en cuenta la laguna de oxidación como tratamiento primario, posteriormente se acoplará un humedal de flujo subsuperficial horizontal.

Figura 16

Esquema conceptual de convergencia de caudales hacia la PTAR propuesta.



Nota: Elaboración propia

Debido a que el actual sistema presenta deficiencias operativas, se plantea complementar la infraestructura existente mediante el diseño de un sistema descentralizado basado en Soluciones Basadas en la Naturaleza (NBS). Se propone la implementación de humedales de flujo subsuperficial horizontal, el diseño se basa en la conformación de 8 módulos, seccionados por dos fases de 4 módulos por fase. El diseño busca brindar una solución que sea eco amigable y sostenible, alineándose directamente con el ODS 3 al reducir el riesgo de propagación de enfermedades de origen hídrico y el ODS 6 al brindar una gestión segura de las aguas residuales de las comunas Monteverde y Jambelí.

La implementación de este tipo de sistema conlleva a relaciones con el medio biótico del área de influencia, junto con interacciones sociales con la comunidad. Por lo mencionado, se vuelven esencial un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), ya que este va a permitir identificar y predecir los impactos positivos y negativos, a fin de reducir lo negativo asegurando que el diseño cumpla con la normatividad y sostenibilidad.

4.2.Línea base ambiental

En este punto, se describe las condiciones actuales del entorno donde se desarrollará la Planta de Tratamiento. El objetivo de esta sección es identificar los componentes, físicos, bióticos y socioeconómicos que conforman el área de influencia del proyecto, con el fin de definir las condiciones operativas que influyen en diseño de la PTAR e identificar los posibles impactos (positivos y negativos) que podrían generarse durante la ejecución y operación de esta.

4.2.1 Medio físico y calidad hídrica

La PTAR se localizará en el punto de recepción de aguas residuales de la mancomunidad, las cuales tienen la siguiente información.

4.2.1.1 Georeferenciación

El sitio de emplazamiento de la PTAR, ubicado estratégicamente cerca del filo costero, se localiza en una zona de topografía predominantemente plana y ligeramente ondulada. Esta característica es favorable, ya que permite la implementación de lagunas y humedales con posibles mínimos movimientos de tierra, optimizando el flujo hidráulico por gravedad dentro del sistema de tratamiento. En la mancomuna predominan suelos típicos de las zonas semiáridas y costeras, con una textura arenosa. Este tipo de suelo tiene alta permeabilidad, lo que genera un incremento en la posibilidad de filtración de agua residual.

4.2.1.2 Condiciones climáticas e hidrológicas

La mancomuna se enmarca en un clima tropical seco (semiárida) y costero, fuertemente influenciado por la corriente de Humboldt, durante la época de invierno. En verano, en cambio, se caracteriza por altas temperaturas medias anuales y elevada humedad relativa. Estas condiciones resultan beneficiosas, dado que optimizan los tiempos de retención hidráulica requeridos. No obstante, deben ser contrastadas con las tasas de evaporación significativas, por ello deben ser incorporadas en el balance hídrico de diseño, para evitar déficits

Estas comunas presentan un marcado déficit hídrico permanente, con precipitaciones muy bajas y concentradas en un corto periodo anual, lo que resulta en un flujo efímero en los drenajes naturales superficiales.

4.2.2 Medio biótico y ecosistemas

Se identifica el estado de los ecosistemas, así como de la flora y fauna que podrían verse afectados por la ocupación del terreno y aquellos que, por efecto de la mejora en la calidad de agua, podrían resultar beneficiados.

4.2.2.1 Ecosistemas

En el ámbito terrestre predomina la cobertura vegetal natural, caracterizada por matorrales y bosque secos poco o medianamente alterado. En el ámbito acuático se reconocen ecosistemas claves como playas, los cuales son sensibles a la contaminación por nutrientes y patógenos, así como la presencia de un manglar en la vecina comuna Palmar.

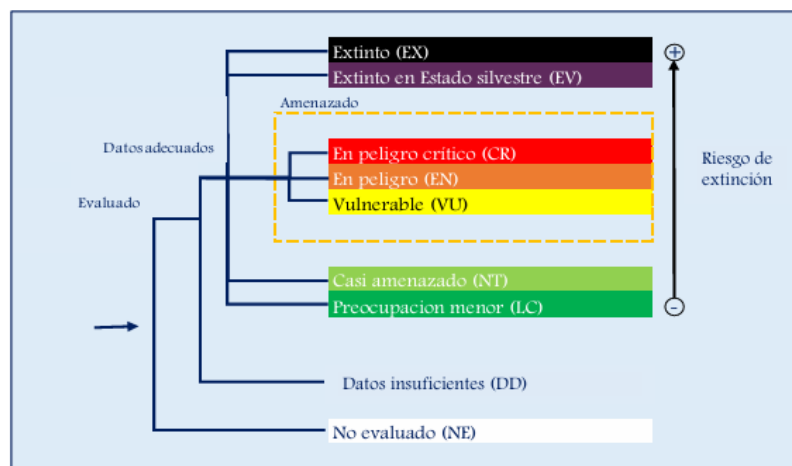
4.2.2.2 Flora y fauna

El área de Bosque Tropical Seco se caracteriza por especies adaptadas a la escasez hídrica como algarrobos (*Prosopis Pallida*), ceibos (*Ceiba Trischistandra*) y varias especies de cactáceas.

La fauna esperada está asociada tanto al Bosque Tropical Seco como a las zonas de playa, incluye reptiles como iguanas y serpientes, micromamíferos y un rango amplio de avifauna (tanto residentes como migratorias costeras). La mayoría de estas especies se encuentran clasificadas entre preocupación menor y vulnerables según (Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), 2023).

Figura 17

Valoración de especies según UICN.



Nota: Elaborado por el Ministerio del Agua, Ambiente y Transición económica (MAATE).

4.2.3 Medio socioeconómico y salud.

En esta etapa se analiza el contexto social, sanitario y productivo del área de estudio o donde se realizará el proyecto. Se evidencia la ausencia actual de un sistema de saneamiento, el riesgo sanitario asociado y los diversos impactos que genera la implementación de una Planta de Tratamiento eficiente.

4.2.3.1 Alcantarillado sanitario y saneamiento

A pesar de contar con un sistema de alcantarillado sanitario instalado, la mancomunidad se mantiene reacia a integrarse a la red principal, optando mayoritariamente por soluciones de saneamiento in situ, principalmente mediante pozos sépticos individuales.

Las aguas residuales generadas convergen hacia un grupo de lagunas. Sin embargo, este punto de descarga no funciona como una unidad de tratamiento, ya que el caudal residual permanece estancado, sin recibir procesos de depuración biológica o física. Un tema aún más preocupante, es que no se ejecuta ningún tipo de remoción, deshidratación o gestión de los lodos acumulados, convirtiendo esto en un foco de contaminación con elevada carga orgánica y patógena

4.2.3.2 Actividades económicas y sostenibilidad

La mancomuna se caracterizan por una economía que combina actividades marino costeras con la producción agropecuario de secano. Gran parte de la población se dedica a la pesca artesanal y, en menor medida, al turismo costero. En el interior, tiene cierta actividad de desarrollo de cultivos temporales como maíz y frejol, así como la ganadería extensiva a pequeña escala, aprovechando los recursos del Bosque Seco Tropical (*Gobierno Autónomo Descentralizado de Colonche, 2023*).

Las actividades previamente mencionadas, depende de manera directa con la calidad ambiental, disponibilidad y gestión de recursos hídricos, por lo que la mejora en el saneamiento de ambas contribuye de buena manera a la sostenibilidad comunal.

4.3.Actividades del proyecto

El análisis de este apartado se realizó identificando sistemáticamente cada acción dentro de las fases de planificación, construcción, rehabilitación y operación. Se considera especialmente la remoción y gestión de lodos de las lagunas preexistentes y la interacción de las obras con el medio hídrica y biótico costero.

Tabla 44.

Tabla de muestra de actividades de proyecto.

Fase	Labor	Acción
Planificación	Estudios y trámites	Levantamiento topográfico de detalle del sitio.
		Caracterización geotécnica del suelo y permisos ambientales
		Obtención de licencias y permisos ambientales
Construcción	Movimiento de Tierras y Excavación	Desbroce y limpieza del área de trabajo.
		Excavación de zanjas y vasos.
	Obra Civil e Impermeabilización.	Compactación de suelo de fondo.
		Construcción de estructura de llegada Pre - Tratamiento
		Colocación de Geomembrana (Rehabilitación de laguna de oxidación existente)

	Equipamiento e Implementación	Colocación del medio filtrante (grava y arena) en los vasos. Siembra de especies freatófitas nativas (vegetación de humedal).
Operación	Cierre y Puesta en marcha	Retiro de instalación anteriores y temporales, junto con limpieza final. Puesta en marcha (monitoreo de funcionamiento)

Nota: Fuente de Elaboración propia.

4.4. Identificación de impactos ambientales

El proyecto de diseño de una PTAR para la Mancomuna Monteverde-Jambelí, puede generar tanto impactos ambientales negativos como positivos, derivadas de las distintas fases del proyecto: planificación, construcción y Operación. Estas fases están compuestas por distintas actividades. Estas actividades son evaluadas por distintos componentes con los siguientes factores ambientales:

Tabla 45.

Identificación de impactos ambientales existentes.

Sistema	Componente	Factores Ambientales.
Físico	Aire	Calidad del aire (partículas de polvo).
	Agua	Calidad Agua Superficial.
	Suelo	Calidad del suelo.
Biótico	Fauna	Fauna terrestre y acuático
		Vectores sanitarios (mosquitos)
	Social	Salud Pública

		Percepción/ Conflictos Ambientales
Socioeconómico	Económico	Generación de empleo (local)
		Actividades productivas (pesca)
	Paisaje	Calidad visual

Nota: Fuente de Elaboración propia.

Considerando todos estos factores ambientales, dado que el enfoque del proyecto de diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la mancomuna se centra en la rehabilitación de la laguna de oxidación junto a la implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, los impactos ambientales positivos ocurren en la fase de Obra Civil e Impermeabilización, Equipamiento e implementación y Puesta en Marcha. Sin embargo, se tienen impactos ambientales negativos en el Movimiento de tierras y Excavación.

4.4.1 Impactos Positivos

- Colocación de Geomembrana: Ayuda a impermeabilizar áreas y evitar filtraciones. La geomembrana será utilizada para la rehabilitación de la laguna de oxidación existente y también será ubicada en la zona de los humedales artificiales. Esto evita que el tratamiento de aguas residuales cause efectos negativos en el ambiente local, salud y contribuye a la sostenibilidad del ecosistema.
- Colocación de medio filtrante (Grava): De gran utilidad para procesos de tratamiento en sistemas como humedales artificiales, principalmente cuando se tienen suelos arcillosos. La grava ayuda a la filtración de partículas contaminante y por ende favorece a la purificación del agua.
- Siembra de especies vegetales (Macrófitas): Plantas acuáticas que se utilizan comúnmente en humedales artificiales, contribuyen a la biodiversidad local, se

adaptan a las condiciones locales. Contribuye a evitar la eutrofización de cuerpos de agua cercanos y mejora calidad del agua tratada.

- Retiro de Instalaciones temporales: Esto ocurre una vez que las actividades de construcción han finalizado, aquí se recupera espacio natural, se quitan elementos con deficiencias.
- El sistema propuesto y diseñado entra en funcionamiento de manera efectivo, cumpliendo con criterios de remoción de nutriente y materia orgánica.

4.4.2 Impactos Negativos

- Desbroce y limpieza: Implica la eliminación de la vegetación, lo que causa la degradación del suelo y puede afectar a la biodiversidad local. El suelo característico de la región es arcilloso.
- Excavación de zanjas y vasos: Esta actividad puede deteriorar propiedades del suelo como su estabilidad y capacidad de absorción, además de que con una mala gestión puede contaminar cuerpos de agua cercanos. Además de las molestias que puede generar a la comunidad por maquinaria.
- Compactación del suelo de fondo: Aunque esta actividad se realiza para que suele sea lo suficientemente firme para soportar la PTAR, este puede provocar que el suelo sea menos permeable, provocando problemas de drenaje y una desestabilización del terreno a futuro.

4.4.3 Matriz de Leopold

Según (*Leopold, Clarke, Balsley, & Hanshaw, 1971*), la Matriz de Leopold es una herramienta utilizada para la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de un proyecto. Relaciona las actividades de un proyecto y sus efectos sobre el medio ambiente. La matriz se organiza en

dos componentes principales: Columnas (actividades del proyecto) y Filas (Factores ambientales).

En la matriz se colocan se colocan dos medidas. La primera es la magnitud (M), que se relaciona con la intensidad de cambio debido a la actividad realizada, este puede tener un impacto positivo (+) o negativo (-), en este caso se califica como -10 (negativo muy alto) y +10 (positivo muy alto).

La importancia (I), se relación con que tan relevante es el impacto calificándose de 1 a 10 con el criterio de 1 (bajo) y 5 (muy alto). De esta manera se suman las interacciones ambientales positivas y negativas, para así determinar los distintos componentes ambientales junto a sus impactos.

Mosquitos		-2/2	-1/2	-1/1	-2/1	-3/2	5/5	6/4		11
										15
Salud		6/6			7/5		7/7	4/4		24
Pública										22
Percepción										6
Conflicto ambiental	-5/3	-6/5	-2/2	-3/3	2/2		4/2	-3/2		19
Generación empleo	5/5	5/5	5/3	6/4	6/4	6/6	6/6	4/4	3/3	46
Actividad productiva		-2/3							3/3	7
Calidad visual										9
										5
	-5/4	-6/4	6/8	-4/4	-4/4		5/3	-2/2		17
A. Negativa	6	9	6	6	1	3	0	5	0	
A. Positiva	8	11	8	7	7	5	9	8	4	379
Impacto Ambiental	-50	-97	-40	-25	128	51	185	32	30	214

Con la matriz de Leopold se pudo evidenciar y verificar que los impactos ambientales negativos más significativos ocurren en la fase de Movimiento de Tierras y Excavaciones. De la misma manera que los impactos ambientales positivos más significativos ocurren en la colocación de la geomembrana tanto para la laguna como para los humedales y la siembra de vegetación, lo cual se alinea a los objetivos del proyecto.

4.5. Valoración de impactos ambientales

De acuerdo con la evolución realizada con la Matriz de Leopold, se procedió a la clasificación de la importancia de los impactos en función de la interacción Magnitud Importante. Este análisis permitió categorizar los impactos de manera cuantitativa como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 47.

Tabla de criterios de evaluación obtenido.

Criterio de Evolución	1	2.5	5	7.5	10
Extensión	Puntual	Local	Parcial	Ampliada	Regional
Duración	Muy corto	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo	Permanente
Reversibilidad	Totalmente reversible	Parcialmente reversible	Medianamente reversible	Parcialmente irreversible	Totalmente irreversible

Nota: Fuente de Elaboración propia.

Cabe mencionar que, para la cuantificación de la importancia, de acuerdo (Erazo, 2020) se utilizaron coeficientes para los criterios de Evaluación. A criterio de los autores los

coeficientes seleccionados fueron 0.40, 0.30 y 0.30 para la extensión, duración y reversibilidad respectivamente.

$$Importancia = (W_E * E) + (W_D * D) + (W_R * R) \quad \dots (4.5.1)$$

Donde:

- W_E : Coeficiente de Extensión.
- E : Extensión
- W_D : Coeficiente de Duración.
- D : Duración
- W_R : Coeficiente de Reversibilidad.
- R : Reversibilidad

La valoración del Impacto Ambiental (IA), se lleva a cabo utilizando la siguiente ecuación, la magnitud se considera como valor absoluto por la naturaleza del cálculo. Sin embargo, durante el análisis del valor de IA, se mantiene el valor original.

$$IA = \pm \sqrt{i * |M|} \quad \dots (4.5.2)$$

Tabla 48.

Tabla de valoración de Impacto Ambiental.

Actividad	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia	Magnitud	Índice IA
Pérdida de vegetación y fauna por desbroce y limpieza.	2.5	2.5	7.5	6.25	-5	-5.59
Excavación para zanja y vasos	2.5	10	5	5.5	-4	-4.69

Colocación						
Geomembrana para laguna de estabilización y humedal artificial.	5	7.5	7.5	6.5	+5	+5.79
Implementación de humedales artificiales.	2.5	7.5	7.5	5.5	+5	+5.24
Retiro de instalaciones temporales	2.5	10	7.5	6.25	+4	+5.00

Nota: Fuente de Elaboración propia.

En base a los valores obtenido, se tiene una escala de valor de Impacto Ambiental, que sirve como referencia para saber que tan significativo es el impacto.

Tabla 49.

Puntaje obtenido de Impacto Ambiental

Clasificación	Puntaje del IA
Significancia alta	$ IA \geq 6.5$
Significancia media	$4.5 \geq IA > 6.5$
Despreciable	$0 > IA > 4.5$

A partir de esta escala de valoración, se puede interpretar que aquellas las actividades relacionadas al movimiento de tierras provocan efectos negativos adversos para el medio ambiente. Y las actividades relacionadas a la rehabilitación de laguna existente y la implementación de humedales efectos que contribuyen.

4.6. Propuestas de medidas de prevención/mitigación

4.6.1 *Perdida de vegetación y fauna por desbroce y limpieza.*

- Delimitar y señalar el área estrictamente necesaria (usar cintas, estacas, avisos de “no intervenir”)
- Desbroce selectivo: Evitar tala total y masiva, tratar de conservar árboles o arbustos que no se encuentran en el perímetro y área delimitada.

4.6.2 *Excavación para zanjas y vasos*

- Colocar trampa de sedimentos, para evitar que estos sean desplazadas o arrastradas en épocas de lluvia.
- Control de polvo y emisiones: Riego continuo de frentes de excavación, establecer límites de velocidad durante el proyecto y un correcto mantenimiento y monitoreo de maquinaria.

4.6.3 *Colocación de geomembrana en laguna de estabilización y humedal artificial.*

- Verificar una correcta limpieza de terreno, se debe retirar piedra, raíces y cualquier objeto punzante-
- Colocar una geomembrana adecuada más un geotextil ya sea por encima o dependiendo del caso para evitar punzonamiento.
- Buena limpieza y manejo de lodos para evitar contaminación de cuerpos receptores de agua cercanos (camaroneras cercanas).

4.6.4 *Implementación de Humedales Artificiales*

- Elegir macrófitas nativas que se puedan adaptar a las condiciones locales.
- Tener un diseño correcto de entrada para agua cruda y salidos de agua tratada
- Asegurar correcto pretratamiento, y buena granulometría para correcta remoción de materia orgánica y evitar taponamientos

4.6.5 Retiro de Instalaciones temporales

- Separar materiales reciclables, ordinarios y peligroso si el caso es aplicable, para su posterior disposición en sitios autorizados.
- Retiro completo y limpio de todos los materiales, bodegas o algún campamento temporal.
- Restauración del sitio: rehabilitación de la vegetación, restauración del terreno.

4.7. Resultados de medidas

A partir de la evaluación efectuada en la matriz de impacto ambiental, se derivan las siguientes conclusiones en relación con la interacción del proyecto y los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos:

- El proyecto presenta una viabilidad ambiental favorable, evidenciada por un balance final de impacto de 214 puntos. Aunque la fase constructiva genera una carga ambiental negativa acumulada, esta es superada significativamente por los beneficios generados durante la fase de operación y mantenimiento, demostrando que el proyecto es sustentable a largo plazo.
- Las actividades de desbroce y excavación representan los impactos negativos más altos (con valores de -97 y -50 respectivamente), afectando principalmente a la calidad del aire (material particulado), niveles sonoros y las estructuras del suelo. No obstante, estos impactos se caracterizan por ser temporales, reversible y mitigables.
- La introducción de componentes bióticos (siembra de macrófitos) y la puesta en marcha del sistema invierten la tendencia, generando impactos positivos altos (valores de 128 a 185) asociados a la restauración.

- El impacto más significativo recae en las variables de salud pública y generar empleo. El sistema propuesto resuelve la deficiencia en el sistema sanitario existente y ayuda a la economía local durante su construcción y futura operación.
- Implementar la geomembrana y el medio filtrante con plantas, reduce el riesgo de contaminación de aguas subterráneas y suelos por problemas de filtración. El sistema establece la implementación de futuros hábitats para diversa fauna terrestre, además de mejorar la calidad visual del paisaje.

Con base en los resultados obtenidos en la evaluación de impacto ambiental, se tienen las siguientes recomendaciones:

- El rubro aire tiene una afectación negativa, se recomienda humedecer las zonas de excavación y vías de acceso, para evitar la acumulación y dispersión excesiva de polvo.
- Se recomienda realizar pruebas de estanqueidad y calidad en la instalación de la geomembrana antes de la colocación del medio filtrante, con el fin de asegurar “cero filtraciones”
- Se recomienda establecer un cronograma de poda técnica de los macrófitos para mantener la eficiencia hidráulica del humedal y la calidad visual.
- Es recomendable establecer como política del proyecto la priorización de mano de obra local de la mancomuna para las labores de construcción y mantenimiento.

Capítulo 5

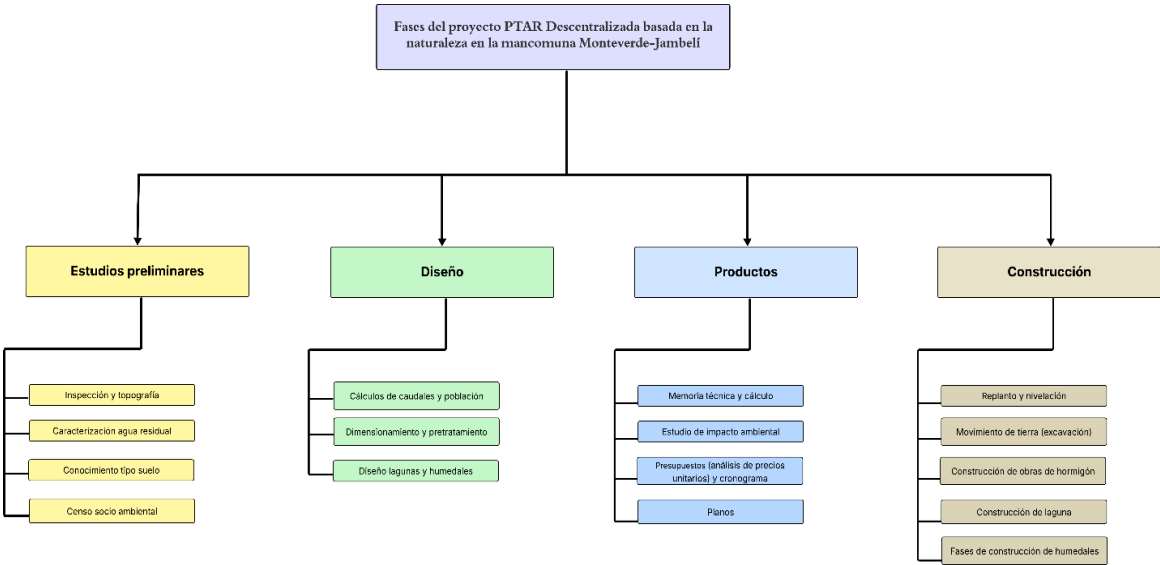
5. PRESUPUESTO

5.1. Estructura Desglosada de Trabajo

La Figura 17. presenta la estructura de desglose de trabajo, donde se observan los componentes del proyecto jerarquizados por fases. Durante los estudios preliminares, se ejecutaron levantamiento in situ y ensayos de laboratorio para definir los parámetros de diseño. Esta información recolectada fue esencial para el dimensionamiento de las distintas etapas de la planta de tratamiento, se utilizaron metodologías para humedales y lagunas, a fin de cumplir con la normativa ambiental vigente (TULSMA).

Figura 18.

Fase del proyecto a ejecutarse.



Nota: Elaboración propia.

5.2. Especificaciones Técnicas

Las especificaciones técnicas del presente proyecto se han elaborado con base en las normas del Instituto ecuatoriano de Normalización (INEN) para materiales de construcción y las pruebas de laboratorio necesarias para la caracterización del agua, así como a las normas de diseño de la (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) y (Comisión Nacional del

Agua) para sistemas de tratamiento natural y la normativa ambiental vigente (Ministerio del Ambiente del Ecuador).

Dichas especificaciones has sido adaptadas a las condiciones particulares de la mancomuna, considerando especialmente los requerimientos para la implementación de sistemas naturales (lagunas y humedales), garantizando la coherencia técnica con los rubros definidos en estos estudios junto con la sostenibilidad del proyecto.

5.2.1 Obras preliminares

5.2.1.1 Desbroce, desbosque y limpieza del terreno

Este rubro comprende la remoción y retiro de capa maleza, arbustos y elementos presente en el área destinada para la implementación de lagunas y humedales. Este incluye la carga y desalajo de materiales en zonas autorizadas por la fiscalización, dejando el terreno apto para el replanteo y excavación. Se evita alterar zonas apartadas del área de influencia, minimizando efectos negativos.

Procedimiento:

1. Delimitar área de trabajo con ayuda de equipo topográfico y previo estudio de curvas de nivel
2. Retiro manual de arbustos y maleza, preservando vegetación marcada para su preservación.
3. Remoción de la capa vegetal hasta un espesor promedio de 20-30cm
4. Carga del material de desperdicio en volquetas o acopio del suelo orgánico fértil para reutilización posterior en conformación de taludes y áreas verdes.
5. Limpieza final y nivelación del terreno.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- TULSMA VI: Normas de calidad ambiental y manejo de desechos.
- NTE INEN 2266: Transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos (aplica si se generan residuos peligrosos).

Equipo y herramientas mínimas:

- Herramienta menor (Incluido costo de mano de obra).
- Tractor de orugas (bulldozer), mínimo referencial de 150 HP.

Mano de obra mínima:

- Peón/ayudante.
- Operador de maquinaria pesada (tractor).

Medición:

Se medirá en metro cuadrados (m^2) de material removido medido en banco (volumen natural antes de esponjamiento).

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro cuadrado (m^2) excavado y aprobado por fiscalización. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

300-320 m^2 considerando trabajos de desbroce, remoción de vegetación y conformación del terreno (no excavación masiva).

5.2.1.2 Mantenimiento y limpieza manual de taludes en lagunas existentes

Este rubro comprende el mantenimiento y limpieza manual de los taludes internos, externos y coronas de los diques de las lagunas de estabilización existentes. La actividad consiste

en el retiro de vegetación no deseada (maleza, arbustos). Estos trabajos se ejecutarán de forma estrictamente manual para evitar daños en la compactación de los diques de arcilla ya consolidados, así como permitir la inspección visual de posibles filtraciones o irregularidades en los taludes, sistema opera por gravedad.

Procedimiento:

1. Eliminación de vegetación mediante el uso de herramientas manuales, cotando vegetación a ras de suelo, sin remover la capa superficial del terreno, con el fin de prevenir procesos de erosión del talud arcilloso.
2. Recolección y acopio de los restos vegetales en sacos de yute, asegurando que material retirado no caiga en el interior del vaso de la laguna, a fin de evitar el incremento de la carga orgánica.
3. Despeje y limpieza de las estructuras de entrada y salida existentes para facilitar las futuras interconexiones y labores de mantenimiento.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- Geodesia del IGM (Instituto Geográfico Militar).
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.

Equipo y herramientas mínimas:

- Herramientas menores (machetes, rastrillos, implementos manuales, entre otros)

Materiales:

- Sacos de yute

Mano de obra mínima:

- Maestro de obra (10% tiempo, para supervisión y control).
- Peón u operario.

Medición:

La medición se realizará por metro cuadrados (m^2) de talud y corona efectivamente limpiados y aprobados por la fiscalización.

Forma de pago:

El pago se efectuará por (m^2) ejecutado. Estos precios constituirán la compensación total por concepto de mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, costos indirectos y todas las operaciones conexas necesarias para la correcta ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

400 m^2 considerando terreno limpio y despejado, brindando condiciones normales de accesibilidad.

5.2.1.3 Replanteo y nivelación con equipo de precisión

Este rubro comprende la georreferenciación, marcación y nivelación en el terreno de los ejes, y cotas de todas las obras contempladas en el proyecto (lagunas, humedales, canales, tuberías), tomando en cuenta las dimensiones de cada uno, se trasladan los detalles indicados en planos al sitio. Etapa fundamental para garantizar el correcto funcionamiento hidráulico del sistema por gravedad.

Procedimiento:

1. Localización y verificación de los hitos de control geodésico (BM) existentes.
2. Colocación de mojones de hormigón y estacas de madera y referencias auxiliares.
3. Trazado de ejes y perímetros de lagunas y humedales mediante el uso de Estación Total.
4. Nivelación de precisión para definir cotas de fondo y coronación de diques y pendientes hidráulicas del sistema.

5. Referenciación de puntos clave de control, que servirán para la verificación y seguimiento durante la construcción.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- Geodesia del IGM (Instituto Geográfico Militar).
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.

Equipo y herramientas mínimas:

- Estación total calibrada
- Nivel de ingeniero (nivel automático).
- Prismas, jalones, cintas métricas.

Materiales:

- Estacas de madera
- Clavos
- Pintura aerosol
- Piola

Mano de obra mínima:

- Topógrafo
- Cadeneros y/o ayudantes de topografía

Medición:

La medición se realizará por metro cuadrados (m^2) de área efectivamente replanteada y nivelada.

Forma de pago:

El pago se efectuará por (m^2) ejecutado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

700-800 m^2 considerando terreno limpio, despejado y en condiciones normales de accesibilidad.

5.2.1.4 Campamento provisional y bodega.

Esta actividad comprende la construcción e instalación de lugares temporales destinadas a oficinas de fiscalización y residencia, bodegas de materiales, y zonas para uso del personal. Estas estructuras deben ser seguras, higiénicas y funcionales durante todo el periodo de ejecución de la PTAR, garantizando condiciones dignas para los trabajadores.

Procedimiento:

1. Nivelación de terreno donde será ubicado el campamento provisional.
2. Construcción de estructuras desmontables adaptadas según las necesidades del proyecto.
3. Habilitación de bodegas cerradas y protegidas para el almacenamiento de materiales sensibles (cemento, geomembrana, accesorios).
4. Implementación de servicios básicos, según lo establecido en la normativa vigente.
5. Desmontaje y limpieza de instalaciones temporales.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- Código del trabajo: condiciones de seguridad y salud en obras de construcción.
- Disposiciones de seguridad industrial y ambiental aplicable en campamentos de obra.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.

Equipo y herramientas mínimas:

- Herramientas de carpintería y albañilería.
- Equipo eléctrico menor y herramienta manual auxiliar.

Materiales:

- Madera
- Planchas de zinc
- Contenedor prefabricado para oficina o bodega.
- Material eléctrico e hidrosanitario provisional.

Mano de obra mínima:

- Carpintero
- Electricista
- Peones

Medición:

La medición se realizará por metro cuadrados (m^2) efectivamente construido en el sitio de la obra.

Forma de pago:

El pago se efectuará por (m^2) instalado y mantenido. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

2 m^2 /día considerando terreno limpio, despejado y en condiciones normales de accesibilidad.

5.2.2 Movimientos de tierra e impermeabilización.

5.2.2.1 Excavación a máquina en material arcilloso (95%).

Este rubro comprende la excavación del suelo necesario para alcanzar las cotas de fondo de necesarias para los humedales artificiales. Se considera que el tipo de suelo a excavar es predominantemente arcilloso, además de que el fondo debe ser protegido frente a saturación por exceso de precipitaciones o incremento del nivel freático, ya que este pierde gran capacidad portante al humedecerse. El material excavado es recolectado y colocado en zonas autorizadas para su posterior desalojo.

Procedimiento:

1. Replanteo topográfico para definir los límites, alineamientos y cotas de excavación.
2. Excavación por capas perfilando los taludes establecidos en el diseño.
3. Control constante de cotas de excavación.
4. Drenaje inmediato de agua generada durante trabajos de excavación.
5. Ubicación de material excavado en bodegas a una distancia pertinente de la zona de trabajo.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- NTE INEN 2267: Geotecnia y cimentaciones (excavaciones a cielo abierto).
- Normas del IEES: Para trabajos en zanjas y taludes.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.

Equipo y herramientas mínimas:

- Excavadora oruga (mínimo 130 HP).
- Herramienta menor
- Bomba de achique (en caso de presencia de agua durante la excavación).

Mano de obra mínima:

- Operador de excavadora.
- Peón u operario.

Medición:

La medición se realizará por metro cúbico (m^3) de material excavado medido en banco (volumen natural antes de esponjamiento).

Forma de pago:

El pago se efectuará por (m^3) excavado y aprobado por fiscalización. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

350-370 (m^3) dependiendo de la profundidad del corte, accesibilidad al terreno y condiciones climáticas.

5.2.2.2 *Excavación manual en material arcilloso (5%).*

Este rubro comprende excavación y desalojo manual de tierra, empleando herramientas menores como pico y pala, en aquellas zonas donde el equipo mecánico no puede acceder o donde se requiere un trabajo de precisión y refinamiento. Estas zonas incluyen esquinas de cimentación, zanjas para tuberías sanitarias menores, perfilado final del fondo de lagunas, conforme a los lineamientos establecidos en el proyecto.

Procedimiento:

1. Marcación previa a los límites exactos de la excavación.

2. Ejecución de la excavación manual mediante el uso de herramienta menor (picos, palas, barras), cuidando de no alterar el suelo de fundación por debajo del nivel de diseño.
3. Recorte y perfilado de paredes y el fondo hasta obtener secciones uniformes y las cotas exactas indicadas en los planos.
4. En caso de lluvia, se deberá proteger la excavación o drenar inmediatamente el agua, considerando que el suelo arcilloso pierde manejabilidad y estabilidad al saturarse.
5. El material excavado se colocará de manera provisional a un costado de la excavación a una distancia de 60 cm del borde, para su posterior retiro o reutilización como material de relleno.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- NTE INEN 2267: Geotecnia y cimentaciones. Requisitos de seguridad en excavaciones.
- Normas de seguridad industrial: Uso obligatorio de botas y casco dentro de zanjas.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.

Equipo y herramientas mínimas:

- Herramienta menor

Materiales:

- Agua

Mano de obra mínima:

- Peones

Medición y forma de pago:

La medición se realizará por metro cúbico (m^3) de material excavado en banco (volumen real del hueco). El pago incluye la excavación y el acopio lateral del material.

Rendimiento diario con cuadrilla:

3-4 (m^3), dependiendo de la dureza del material arcilloso, profundidad de excavación y condiciones climáticas

5.2.2.3 Carga, transporte y desalojo de material (suelo arcilloso).

Este rubro comprende la carga mecánica, transporte y disposición final del material sobrante proveniente de las excavaciones, constituido principalmente por suelo arcilloso esponjado, hacia los sitios de escombrera autorizados por la Fiscalización y la autoridad ambiental local.

Este rubro considera el efecto del esponjamiento del material, estimando un aumento de volumen del 20-30% para suelos arcillosos, así como la limpieza de las vías de tránsito afectadas durante la operación. Para este rubro, se ha realizado un balance de masas.

Procedimiento:

1. Carga del material acopiado o directamente desde la excavación hacia las volquetas mediante excavadora o cargadora frontal.
2. Colocación de lonas o cubiertas sobre la tolva de las volquetas, con el fin de evitar la caída de material particulado o terrones de arcilla en la vía pública.
3. Transporte del material respetando los límites de velocidad y rutas establecidas hasta el sitio de disposición final.
4. Descarga y extendido del material en la escombrera autorizada.
5. Limpieza de llantas, compuertas y carrocería de las volquetas antes de reingresar a vías pavimentadas, para evitar contaminación y deterioro de infraestructura vial.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- TULSMA libro VI, anexo 1: Gestión de desechos sólidos y escombros.

- Ordenanzas municipales de Santa Elena: Tránsito pesado y aseo de calles.

Equipo y herramientas mínimas:

- Cargadora frontal o excavadora.
- Volquetas de 12-14 m³.
- Herramienta menor

Materiales:

- Agua

Mano de obra mínima:

- Operador de maquinaria pesada
- Peones
- Chofer profesional licencia tipo E

Medición:

La medición se realizará por metro cúbico (m^3) de material transportado y dispuesto, medido en banco o convertido desde volumen esponjado mediante factor de esponjamiento.

Forma de pago:

El pago se efectuará por (m^3) de material transportado y dispuesto al precio unitario. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

90-100 (m^3), dependiendo de la disponibilidad del material, estado de las vías y número de equipos disponibles.

5.2.2.4 Conformación y compactación de diques (material mejorado).

Este rubro comprende la construcción, elevación, conformación y compactación de los muros perimetrales (diques) de las lagunas de estabilización, empleando material de préstamo importado de mejor calidad o material selecto proveniente de la excavación (si cumple los ensayos de laboratorio).

Los diques deberán presentar condiciones de impermeabilidad, estabilidad y resistencia, para contener de manera segura el volumen de agua residual tratada, evitando filtraciones y fallas estructurales. El material será colocado en capas horizontales controladas y compactadas hasta alcanzar la densidad especificada para garantizar la estabilidad estructural a largo plazo.

Procedimiento:

1. Escarificación y humedecimiento de la superficie de base para asegurar una buena adherencia entre el terreno existente con el nuevo material de relleno.
2. Tendido y distribución del material en capas sueltas no mayores a 30 cm de espesor
3. Acondicionamiento de humedad del material mediante riego o aireación, hasta alcanzar la humedad óptima determinada en laboratorio ($\pm 2\%$).
4. Compactación mecánica de cada capa utilizando rodillo "pata de cabra" para suelos cohesivos, iniciando desde los bordes hacia el centro del dique.
5. Perfilado de taludes internos y externos con motoniveladora, conforme la pendiente establecida en el diseño.
6. Verificación de densidad en campo en cada capa compactada antes de colocar la siguiente.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- AASHTO T-180 / ASTM D1557: Determinación de la densidad máxima y humedad óptima (Proctor Modificado).
- AASHTO T-191 / ASTM D1556: Densidad en sitio (Método del Cono de Arena).

- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.

Equipo y herramientas mínimas:

- Motoniveladora (130-150 HP)
- Rodillo vibratorio (10-12 Ton)
- Tanquero de agua
- Herramienta menor

Mano de obra mínima:

- Operador de (pesado
- Albañil
- Peón
- Chofer profesional

Medición:

La medición se realizará por metro cúbico (m^3) de terraplén compactado, determinado por las secciones transversales del proyecto verificados mediante control topográfico en obra. No se medirá material suelto en volqueta ni esponjado

Forma de pago:

El pago se efectuará por (m^3) de terraplén compactado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales, ensayos de control, costos indirectos y todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

100-130 m^3/dia , variando en función la distancia a las zonas de acopio y el número de volquetas disponibles.

5.2.3 Infraestructura de tratamiento

5.2.3.1 Cama de arena para protección y nivelación ($e=20cm$)

Este rubro comprende la conformación de una capa de amortiguamiento de arena fina o material selecto (limo arenoso) con espesor de 5 cm libre de plasticidad, para regularizar superficie de terreno natural. Esta capa de arena crea un colchón de protección que evita el punzonamiento de la geomembrana por piedras o terrones duros, garantizando la seguridad de impermeabilización.

Procedimiento:

1. Inspección final de la excavación para retirar raíces, rocas, escombros o material punzante que puede afectar a la geomembrana.
2. Acarreo del material al interior del vaso sin causar daño al fondo del humedal, depositándolo con cuidado para no transitar excesivamente sobre el suelo de fundación.
3. Distribución de la arena de forma manual o mecánica con equipo liviano (minicargadora) hasta alcanzar el espesor de diseño especificado, cubriendo toda el área uniformemente
4. Reglado manual para obtener una superficie lisa y uniforme libre de ondulaciones bruscas.
5. Riego ligero para dar cohesión a la arena. Posteriormente compactación manual empleando pisón para asegurar consistencia de la capa de arena y evitar que se desmorone al caminar sobre ella durante la instalación del liner.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- Especificaciones generales de movimiento de tierras (MTO).
- Recomendaciones de preparación de subrasante del Geosynthetic Institute (GRI).

Equipo y herramientas mínimas:

- Compactador mecánico
- Herramienta menor (palas, rastrillos, reglas de aluminio).

Materiales:

- Area de mar, libre de conchas grandes o piedras angulares que puedan afectar el revestimiento
- Agua

Mano de obra mínima:

- Peón
- Albañil.
- Maestro de obra

Medición:

La medición se realizará por metros cúbicos (m^3) de arena efectivamente colocada y nivelada en sitio.

Forma de pago:

El pago se efectuará por (m^3) colocado y nivelado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

10-25 (m^3), dependiendo de la disponibilidad del material y disponibilidad de equipos.

5.2.3.2 Suministro e instalación de geotextil no tejido (protección antipunzonamiento).

Este rubro comprende el suministro e instalación de geotextil no tejido de polipropileno (tipo 200 gr/m² o superior) sobre la cama de arena. Su principal objetivo es actuar como protección mecánica anti-punzonamiento de la geomembrana. Además, actúa como medio transmisor de gases del subsuelo hacia los taludes, evitando la formación de burbujas ("ballenas") bajo el revestimiento de la geomembrana.

Procedimiento:

1. Extensión de los rollos de geotextil sobre la cama de arena, desde la corona hacia el fondo, evitando arrugas excesivas o dobleces que puedan afectar la impermeabilidad de la geomembrana.
2. Asegurar un traslape mínimo de 10 a 15 cm entre paños adyacentes, asegura protección contra el punzonamiento
3. Fijación de los traslapes mediante cosido (puntada de cadeneta) o termofijado suave (pistola de calor) para asegurar la continuidad entre los paños durante la instalación.
4. Colocación inmediata de sacos de arena sobre el geotextil desplegado para evitar que el viento lo levante o desplace antes de colocar la geomembrana.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- AASHTO M288: Especificación estándar para geotextiles (Clase 1 o 2).
- ASTM D4833: Resistencia al punzonamiento.

Equipo y herramientas mínimas:

- Máquina de coser portátil para geotextiles o Pistola de calor.
- Generadores eléctricos 4kW
- Herramientas menores

Mano de obra mínima:

- Maestro mayor

- Peón

Medición:

La medición se realizará por metros cuadrados (m^2) de superficie cubierta (el área de traslapes no se cuantifica para pago).

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro cuadrado (m^2) de superficies cubiertas. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

300-500 m^2 dependiendo de las condiciones del viento y geometría de la laguna.

5.2.3.3 Suministro e instalación de geomembrana HDPE $e=0.75mm$

Este rubro comprende el suministro, transporte, despliegue y soldadura por termofusión de láminas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) de 0.75 mm de espesor sobre el fondo y taludes de las lagunas de estabilización. Su función principal es crear una barrera impermeable para evitar la infiltración de aguas residuales al suelo y mantos acuíferos, protegiendo así el ecosistema de las Comuna Monteverde y Jambelí. Incluye todas las pruebas de calidad de las uniones

Procedimiento:

1. Recepción y limpieza de la superficie de soporte (debe estar lisa, sin piedras ni objetos punzantes que puedan perforar la lámina). Incluye inspección de la cama de arena.

2. Despliegue de los rollos de geomembrana siguiendo la pendiente de máxima inclinación (de arriba hacia abajo) para facilitar la instalación, evitando arrugas excesivas o tensión extrema.
3. Traslape de paneles (mínimo 10-15 cm) para la soldadura efectiva.
4. Soldadura automática con equipo de cuña caliente para unir paneles, aplicando un doble cordón con canal de aire para prueba.
5. Soldadura de parches y detalles (tuberías) con extrusor manual (aporte de material).
6. Anclaje de la geomembrana en la zanja perimetral superior y luego se debe rellenar con material adecuado para asegurar la fijación mecánica de la geomembrana.
7. Ejecución de pruebas no destructivas: Presión de aire en el canal central y prueba de chispa en extrusiones.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- GRI-GM13: Especificación estándar internacional para propiedades de geomembrana HDPE
- ASTM D4437: Práctica estándar para determinar la integridad de las uniones de campo.

Equipo y herramientas mínimas:

- Máquina de soldar automática (cuña caliente).
- Extrusor manual.
- Generador eléctrico portátil.
- Kit de pruebas de presión (manómetro y aguja).
- Herramientas menores.

Materiales:

- Geomembrana HDPE $e=0.75$ mm

- Cordón de aporte HDPE (para extrusora).
- Sacos de lastre o material selecto.

Mano de obra mínima:

- Técnico instalador certificado (jefe de grupo).
- Ayudantes de despliegue y soldadura.

Medición:

La medición se realizará en metros cuadrados (m^2) de superficie efectivamente recubierta y anclada, incluyendo el desarrollo en taludes y fondo. No se pagarán traslapes adicionales por desperdicio no autorizado.

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro cuadrado (m^2) instalado y aprobado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

300-500 (m^2), varía según la geometría de la laguna, la cantidad de detalles y condiciones climáticas).

5.2.3.4 Excavación y relleno de zanja de anclaje.

Este trabajo consiste en la excavación manual o mecánica de una zanja perimetral ubicada en la corona de los diques y posterior relleno compactado. La función de la zanja es "anclar" o sujetar mecánicamente la geomembrana para evitar que se deslice por el talud debido a su propio peso o variaciones térmicas. El relleno debe realizarse con cuidado para no dañar el material geo sintético y asegurar estabilidad durante operación de la PTAR.

Procedimiento:

1. Trazo y replanteo de la zanja a la distancia indicada en planos (generalmente a 1.00 m del borde del talud).
2. Excavación de la zanja de sección rectangular o trapezoidal (dimensiones típicas: 0.50m ancho x 0.50m profundidad).
3. Verificación de que el fondo y paredes de la zanja estén libres de piedras, raíces U objetos punzantes.
4. Colocación del extremo de la geomembrana dentro de la zanja, asegurando buena adherencia.
5. Relleno de la zanja con el mismo material de excavación (tamizado si es necesario para evitar presencia de materiales gruesos. El relleno debe ser compactando en capas mediante pisón manual o equipo liviano.
6. Nivelación final de la corona del dique.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- Especificaciones del fabricante de la geomembrana para detalles de anclaje.
- NTE INEN 2267: Práctica de excavación segura.

Equipo y herramientas mínimas:

- Herramienta menor (picos, palas, pisones de mano).

Mano de obra mínima:

- Albañil/peón especializado.
- Ayudantes

Medición:

La medición se realizará en metros lineales (m) de zanja de anclaje excavada, rellena y compactada.

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro lineal (m) terminado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

30-60m dependiendo de condición del terreno, se considera excavación manual y relleno cuidadoso.

5.2.3.5 Hormigón de limpieza (replanteo).

Este trabajo consiste en el suministro, preparación, transporte, colocación y nivelación de una capa de hormigón simple de baja resistencia ($f'c=180 \text{ kg/cm}^2$) con un espesor de 5 cm. Se colocará directamente sobre el suelo de fundación excavado y compactado.

Procedimiento:

1. Verificación del fondo de excavación esté nivelado y compactado al 95% del Proctor Estándar.
2. Humedecimiento del terreno sin formar charcos para evitar que el suelo absorba el agua del hormigón.
3. Colocación del hormigón simple, extendiéndolo uniformemente sobre capa nivelada.
4. Nivelación y acabado de la superficie, reglear para obtener un acabado plano y horizontal, respetando el espesor mínimo de 5 cm.
5. Se deberá esperar a que el hormigón haya fraguado lo suficiente (mínimo 12 horas) antes de permitir el tránsito de personal para el trazo de ejes y armado de acero.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- NTE INEN 1855: Hormigón. Elaboración y curado en obra.
- NEC-SE-HM: Norma Ecuatoriana de la Construcción - Hormigón Armado (Recubrimientos mínimos y calidad de materiales).

Equipo y herramientas mínimas:

- Concretera mecánica (1 saco).
- Herramienta menor (picos, palas, pisones de mano).

Mano de obra mínima:

- Albañil/peón especializado.
- Peones

Medición:

La medición se realizará en metros cuadrados (m^2) de hormigón de limpieza efectivamente colocado con el espesor y niveles indicados en los planos.

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro cuadrado (m^2) terminado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales (cemento, áridos, agua) y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

30 - 35 m^2 /día (considerando preparación en sitio y nivelación manual).

5.2.3.6 Encofrado y desencofrado

Este rubro consiste en el suministro, transporte, fabricación, montaje, arriostamiento y posterior retiro de los moldes de madera o metal necesarios para dar forma a los elementos de hormigón armado o simple (plintos, riostras, columnas, muros, losas) de acuerdo con las líneas,

niveles y dimensiones indicadas en los planos del proyecto. El objetivo es obtener una estructura de hormigón con superficies uniformes, libre de "cangrejas" y con la geometría exacta requerida para el correcto funcionamiento hidráulico de la PTAR.

Procedimiento:

1. Verificación previa de los ejes y niveles sobre el replantillo o la base antes de iniciar el montaje.
2. La madera deberá estar limpios, libre de residuos de hormigón anterior. Se aplicará desmoldante en la cara interior del encofrado antes de colocar la armadura de refuerzo, evitando contacto con el acero.
3. Se armarán los tableros asegurando que las uniones sean estancas (cerradas), evitando la fuga de la lechada de cemento. Se colocarán suficientes puntales, cuartones y diagonales para soportar la presión lateral del hormigón fresco sin que el molde se "abra" o se deforme (evitar "barrigas").
4. Antes del vaciado, el fiscalizador deberá aprobar la verticalidad, horizontalidad, alineación, rigidez y estabilidad del encofrado.
5. El Retiro de los moldes, luego de alcanzar el tiempo mínimo de fraguado se hará con cuidado para no despostillar las aristas del hormigón.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- Especificaciones del fabricante de la geomembrana para detalles de anclaje.
- ACI 374R: Guía internacional estándar para el diseño, instalación y seguridad de encofrados
- NEC-SE-HM (Norma Ecuatoriana de la Construcción - Hormigón Armado): Capítulo de requisitos para la remoción de encofrados (tiempos mínimos de desencofrado) y calidad de superficies.

Equipo y herramientas mínimas:

- Herramienta menor (picos, palas, pisones de mano).

Mano de obra mínima:

- Albañil
- Carpintero

Medición

La medición se realizará en metros cuadrados (m^2) de superficie de hormigón que esté efectivamente en contacto con el encofrado. No se medirán áreas de madera que no toquen el hormigón (como los apuntalamientos o desperdicios).

Forma de pago

El pago se efectuará por metro cuadrado (m^2). El pago incluye la mano de obra, materiales (considerando su desgaste/ usos), clavos, alambre, desmoldante y herramientas necesarias, para su correcta ejecución.

Rendimiento diario con cuadrilla:

5-10 m^2 dependiendo de la geometría del elemento, la altura que va a tener el encofrado y las condiciones del sitio.

5.2.3.7 Hormigón simple $f'c=210 \frac{kg}{cm^2}$ (resistente a sulfatos).

Este rubro comprende el suministro, transporte, colocación, vibrado y curado de hormigón simple con una resistencia a la compresión de $f'c=210 \frac{kg}{cm^2}$ a los 28 días. Debido a la ubicación del proyecto en zona costera y la agresividad del suelo salino, se utilizará obligatoriamente cemento tipo V o HS (alta resistencia a sulfatos) para proteger las estructuras

contra el ataque químico y la corrosión. Se empleará la construcción de cajas, canales y estructuras en contacto directo con el suelo.

Procedimiento:

1. Comprobación de niveles y limpieza sobre la plantilla de hormigón pobre (replantillo) previamente ejecutada, garantizando que el acero de refuerzo no tenga contacto directo con el suelo salino.
2. Revisión de los encofrados, ejecutados y pagados en su rubro respectivo para verificar que se encuentren firmes, alineados antes del vaciado.
3. Garantizar que el recubrimiento del acero sea de mínimo 7.5 cm en caras contra el suelo y 5.0 cm en caras expuestas, usando separadores plásticos o de hormigón.
4. Vaciado del hormigón utilizando una relación agua/cemento baja (≤ 0.50) para reducir la permeabilidad y aumentar durabilidad frente a sulfatos.
5. Vibrado mecánico exhaustivo y continuo, evitando segregación para lograr máxima densidad del hormigón.
6. Curado inmediato y continuo por 7 días para evitar fisuras por donde pueda entrar la sal.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- **NTE INEN 490/ASTM C150:** Cemento Portland (especificación para tipo V).
- **NTE INEN 2380/ASTM C1157:** Cemento hidráulico por desempeño (tipo HS).
- **NEC-SE-HM/ACI 318:** Durabilidad en ambientes marinos (capítulo de requisitos de durabilidad).

Equipo y herramientas mínimas:

- Concreteira mecánica.
- Vibrador de hormigón.

- Herramienta menor de albañilería

Materiales

- Cemento tipo HS (resistente a sulfatos).
- Áridos limpios de buena calidad.
- Agua potable

Mano de obra mínima:

- Maestro albañil
- Ayudante albañil
- Operador equipo liviano
- Peón

Medición:

La medición se realizará en metros cúbicos (m^3) de hormigón colocado vibrado y curado, conforme a planos y especificaciones.

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro cúbico (m^3) ejecutado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

1-3 (m^3) dependiendo de la geometría de la estructura, accesibilidad al sitio y condiciones climáticas.

5.2.3.8 Acero de refuerzo $f_y=4200 \frac{kg}{cm^2}$

Este rubro comprende el suministro, transporte, corte, figurado (doblado) y colocación de varillas de acero corrugado con límite de fluencia $f_y=4200 \frac{kg}{cm^2}$, conforme a planos estructurales, para la conformación de armaduras de refuerzo para las estructuras de hormigón armado de la PTAR, garantizando su resistencia a esfuerzos de tracción y control de fisuramiento.

Procedimiento:

1. Recepción y almacenamiento del acero que se almacenará en lugar protegida de la humedad, barro y contaminación.
2. Limpieza de las varillas para eliminar óxido, grasa, aceite y pintura.
3. Corte y doblado en frío de acuerdo con la planilla de hierros de los planos estructurales.
4. Armado y amarre firme con alambre recocido #18.
5. Colocación de separadores ("galletas") para asegurar el recubrimiento mínimo según norma 7.5 cm contra el suelo y 5 cm en caras expuestas.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- **NTE INEN 102 / ASTM A615:** Varillas de acero corrugado.
- **NEC-SE-HM / ACI 318:** Requisitos de doblado y recubrimientos de protección.

Equipo y herramientas mínimas:

- Cizalla o amoladora de corte.
- Grifa o blanco de doblado.
- Herramienta menor.

Materiales

- Varillas corrugadas
- Alambre recocido #18.
- Separadores de hormigón (galleta)

Mano de obra mínima:

- Fierrero
- Ayudante de fierrero

Medición:

La medición se realizará en kilogramos (kg) de acero colocado, calculo con base al peso teórico indicado.

Forma de pago:

El pago se efectuará por kilogramo (kg) de acero de refuerzo instalado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

60-120 kg (incluye corte, doblado y amarre).

5.2.3.9 Cinta Waterstop PVC (juntas de hormigón).

Este rubro comprende el suministro e instalación de cinta de cloruro de polivinilo (PVC) virgen, flexible y nervada, de 150 mm (6") o 225 mm (9") de ancho con bulbo central. Este elemento se instalará embebido en el hormigón a lo largo de todas las juntas de construcción (juntas frías) y juntas de dilatación de las estructuras hidráulicas (cajas de distribución, desarenadores, muros de contención). Su función es actuar como barrera impermeable ("dique") evitando filtraciones de agua a través de la junta, garantizando la estanqueidad de la estructura.

Procedimiento:

1. Preparación de la zona de la junta debe estar libre de grasa, óxido o suciedad.

2. Alineación y ubicación de la cinta, esta debe colocarse en el centro del espesor del muro o losa. El bulbo central debe quedar alineado con la junta.
3. Asegurar la cinta a la armadura de refuerzo mediante grapas metálicas o alambre recocido cada 30 o 40 cm. Es crítico que la cinta no se doble ni se tumbe durante el vaciado.
4. Hormigonado y vibrado de manera cuidadosa alrededor de la cinta para asegurar que el concreto penetre entre las nervaduras y no queden "cangrejas" o vacíos, lo cual anularía la impermeabilización.
5. Las uniones longitudinales o en "L/T" de la cinta deben realizarse mediante termofusión (calor) con una plancha metálica, nunca por traslape simple.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- CRD-C 572: Especificación del Cuerpo de Ingenieros de EE. UU. para Waterstops de PVC.
- ASTM D638: Resistencia a la tracción del material PVC.

Equipo y herramientas mínimas:

- Plancha de termofusión (para empalmes).
- Herramienta menor (alicate, alambre).

Materiales

- Cinta Waterstop de PVC con bulbo central (nervada).
- Grapas de sujeción o alambre.

Mano de obra mínima:

- Fierro
- Ayudante de fierro

Medición:

La medición se realizará en metros lineales (m) de cinta instalada en su posición final.

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro lineal (m) instalado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

10-25 m incluye instalación y fijación, va a depender de su accesibilidad y complejidad de la junta.

5.2.3.10 Tapas de hormigón armado con marco metálico

Este rubro comprende la fabricación, transporte y colocación de tapas removibles de hormigón armado ($f'c = 210\text{kg/cm}^2$) destinadas a cajas de revisión, sedimentadores y cajas de válvulas. Las tapas incluirán un marco perimetral de perfil angular metálico y un contramarco empotrado en la estructura de la caja. Debido al ambiente salino de Monteverde y la presencia de gases corrosivos (H_2S), todos los elementos metálicos deberán protegerse con pintura epóxica. Incluyen agarraderas de acero liso escamoteables o fijas para su izaje.

Procedimiento:

1. Corte y soldadura de los perfiles angulares tipo L (50x50x5mm) para formar los marcos y contramarcos, asegurando la escuadra perfecta.
2. Limpieza mecánica de los perfiles (SSPC-SP2) y aplicación de una capa de fondo anticorrosivo y dos capas de pintura epóxica de alta resistencia química.
3. Instalación de la parrilla de refuerzo y fijación de asas de maniobra antes del vaciado.

4. Vaciado, vibrado y enrasado del hormigón a nivel del marco metálico, asegurando un acabado liso.
5. Curado mínimo durante 7 días.
6. Instalación sobre la estructura, verificando apoyo uniforme y aplicando lubricante (grasa) en las juntas metálicas para prevenir la corrosión por contacto y el agarrotamiento.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- **NTE INEN 2496:** Tapas de registro (cargas de diseño).
- **SSPC-SP:** Preparación de superficies metálicas para pintura.

Materiales

- Ángulos de hierro negro.
- Herramienta menor (alicate, alambre).
- Grasa industrial
- Hormigón $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ y acero de refuerzo.

Mano de obra mínima:

- Soldador
- Albañil

Medición:

La medición se realizará por unidad (u) de tapa terminada e instalada.

Forma de pago:

El pago se efectuará por unidad (u) terminada e instalada. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

4-6 unidades considerando fabricación en serie en patio de obra.

5.2.3.11 Desarenador de flujo horizontal con medidor Parshall

Este rubro comprende la construcción de una estructura monolítica de hormigón armado diseñada a la remoción de partícula inorgánica (arenas y gravas) mediante sedimentación por gravedad. La estructura integra dos componentes hidráulicos:

- **Camara de desarenado:** Canal de flujo horizontal donde se reduce la velocidad del agua para permitir la decantación de sólidos.
- **Canaleta Parshall:** Estructura de aforo ubicada a la salida, cuya garganta actúa como control hidráulico para mantener una velocidad constante y medir el caudal de ingreso a la planta.

Procedimiento:

1. Verificación topográfica y se trazado del eje longitudinal, asegurando la correcta alineación entre el canal de llegada, la transición y la garganta de la Parshall.
2. Colocación de parrilla de refuerzo (doble malla) respetando los recubrimientos mínimos de 5cm especificados para obras hidráulicas en contacto con aguas residuales.
3. El encofrado de la garganta Parshall deberá ser ejecutado con alta precisión (+/- 2mm) respecto a los planos, ya que cualquier desviación afectará la curva de calibración de caudal.

4. El hormigonado se realizará en una sola etapa (monolítico) o cuidando el tratamiento de juntas frías con Waterstop. El vibrado será mecánico y exhaustivo para evitar cangrejeras.
5. Una vez desencofrado y resanado, se procederá al masillado en la sección convergente de la Parshall (a 2/3 de la longitud de la pared lateral), nivelando el cero de la regleta con el piso de la garganta.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- **ASTM D1941:** Método estándar para medición de flujo en canal abierto (canaletas Parshall).
- **ISO 9826:** Medición de flujo de líquido en canales abiertos.
- USBR Water Measurement Manual (Capítulo 8).

Equipos

- Herramientas menores
- Concreteira
- Vibrador
- Cinta PVC Waterstop

Materiales

- Hormigón $f'c = 240 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ (resistente a sulfatos).
- Acero de refuerzo
- Encofrado
- Cinta PVC Waterstop
- Regleta de aforo
- Tubería de limpieza PVC 110 mm

Mano de obra mínima:

- Maestro
- Peón
- Maestro albañil

Medición:

La medición se realizará por unidad (u) de canaleta terminada, pulida y con regla instalada.

Forma de pago:

El pago se efectuará por unidad (u) de canaleta terminada, pulida e instalada. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

1 unidad considerando instalación y fijación, dependiendo de condiciones de acceso y complejidad en su geometría.

5.2.3.12 Suministro e instalación de rejillas de cribado.

Este rubro comprende el suministro, fabricación e instalación de rejillas metálicas de cribado para el canal de entrada (pretratamiento) de la PTAR. Las rejillas estarán conformadas por pletinas de acero inoxidable con separación entre barras y dimensiones según planos de diseño, para retener sólidos gruesos y flotantes. Incluye marco y anclajes al hormigón.

Procedimiento:

1. Verificación de dimensiones, niveles y condiciones en el canal de hormigón.
2. Fabricación de la rejilla en el taller.

3. Instalación en sitio con una inclinación (45° a 60°) para facilitar la limpieza manual y retiro de sólidos.
4. Fijación mediante pernos de anclaje o empotramiento, garantizando estabilidad.
5. Verificación de operatividad, firmeza y paso hidráulico.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- **ASTM A276:** Especificación de acero inoxidable calidad 304.
- **AWS D1.6:** Código de soldadura estructural para acero inoxidable.

Equipo y herramientas mínimas:

- Soldadura eléctrica
- Taladro percutor
- Herramienta menor

Materiales

- Pletinas de acero (inoxidable 304).
- Pernos de anclaje inoxidable
- Soldadura E308L

Mano de obra mínima:

- Soldador
- Ayudante

Medición:

La medición se realizará por unidad (u) de rejilla instalada y operativa.

Forma de pago:

El pago se efectuará por unidad (u) instalada. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

2 unidades dependiendo de dimensiones, accesibilidad y tipo de anclaje.

5.2.3.13 Suministro y colocación de grava filtrante

Este rubro comprende la provisión, transporte y colocación de grava triturada o canto rodado lavado, limpia y clasificada, con granulometría entre 12.7 mm a 25.4 mm (1/2" a "). Este material conformará el medio filtrante y de soporte en los humedales de flujo subsuperficial. La grava permitirá el paso del agua y el desarrollo del biofilm bacteriano y soporte de la vegetación.

Procedimiento:

1. Verificación de la integridad de la geomembrana. Si hay roturas, se deben reparar antes de colocar la piedra.
2. El material debe estar libre de finos, arcillas o tierra orgánica que puedan colmatar (taponar) el filtro. Si se detecta suciedad, se lavará en sitio.
3. Se extenderá en capas uniformes hasta alcanzar un espesor total de 40cm. Se debe tener especial cuidado al cubrir las tuberías de distribución y recolección para no desplazarlas de su nivel.
4. Distribución y nivelación manual o con equipo liviano hasta alcanzar espesores y nivel de diseño
5. Lavado previo si el material presenta exceso de finos o arcilla.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- **ASTM C33:** Agregados (limpieza y dureza).
- Manual de diseño de humedales EPA (criterios de porosidad).

Equipo y herramientas mínimas:

- Minicargadora (tipo Bobcat) o cargadora frontal.

- Herramienta menor (palas, rastrillos, carretillas).

Materiales

- Grava triturada o canto rodado, limpia y clasificada (19-50 mm).

Mano de obra mínima:

- Maestro de obra
- Peones

Medición:

La medición se realizará por metros cúbicos (m^3) de grava colocada en su posición final correspondiente al volumen geométrico del humedal relleno.

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro cúbico (m^3) instalado. El precio incluye el material, transporte, lavado y colocación.

Rendimiento diario con cuadrilla:

6.67 m^3 , sujeta a accesos y condiciones del humedal.

5.2.3.14 Siembra de macrófitas (*Typha domingensis*)

Este rubro comprende en la recolección, transporte, aclimatación y siembra de la especie vegetal *Typha domingensis* (conocida localmente como Totorá) sobre el lecho de grava de los humedales. Se establecerá una densidad de siembra optimizada de 0.5 unidades por metro cuadrado (m^2) en configuración de tresbolillo. Esta densidad permite reducir significativamente los costos de inversión inicial.

Procedimiento:

1. Selección y extracción de rizomas jóvenes y vigorosos de humedales naturales cercanos o viveros autorizados, evitando dañar las yemas de crecimiento

2. Poda de las hojas y tallos, dejando una altura remanente de 20 a 30 cm para reducir la evapotranspiración y facilitar el arraigo
3. Limpieza y lavado de los rizomas para eliminar el suelo nativo y posibles plagas.
4. Saturación previa del lecho filtrante (grava) con agua hasta el nivel de la superficie
5. Siembra manual directa, introduciendo el rizoma en la grava húmeda a una profundidad de 10-15 cm, asegurando que quede vertical y firme.
6. Mantenimiento del nivel de agua constante (a ras de sustrato) durante las primeras 4 semanas hasta observar brotes nuevos.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- Normas de manejo de flora nativa (MAATE).
- Manual de diseño de humedales construidos (EPA/RAS 2000)

Equipo y herramientas mínimas:

- Tijeras de podar de mango largo
- Palas de jardinería
- Guantes de protección
- Baldes o gavetas plásticas para transporte húmedo

Materiales

- Rizomas vivos de *Typha domingensis* (Totora).

Mano de obra mínima:

- Peones agrícolas o jardineros con experiencia en la zona.
- Capataz

Medición:

La medición se realizará por metros cuadrados (m^2) área efectivamente sembrada y prendida.

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro cuadrado (m^2) sembrado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

Se estima un rendimiento individual de 240 rizomas por jornada de 8 horas. Con 4 peones se alcanzará un avance diario de 960 a 1000 rizomas.

5.2.3.15 Tubería PVC perfilada para alcantarillado (interconexiones).

Este rubro comprende el suministro, transporte e instalación de tubería PVC de pared estructurada e interior liso (tipo Novafort o similar) para la conducción por gravedad de los efluentes provenientes de los pozos sépticos existentes hacia y entre las unidades de la planta. Dado que el flujo proviene de fosas sépticas, el material debe garantizar alta resistencia a la corrosión por sulfuro de hidrógeno (H_2S) y condiciones anaerobias. Incluye excavación de zanja, cama de arena y relleno compactado.

Procedimiento:

1. Colocación de cama de apoyo en zanja excavada a cota, colocar 10 cm de arena o material selecto nivelada y compactada.
2. Descenso y alineación de la tubería respetando la pendiente de diseño, utilizando lubricante vegetal en los empaques de caucho.
3. Colocación de material selecto (arena) a los costados y hasta 30 cm sobre la clave del tubo, compactando manualmente para evitar deformaciones.
4. Completar relleno según especificación del proyecto.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- NTE INEN 2059: Tubos de PVC rígido de pared estructurada e interior lisa.
- ASTM D3212: Juntas para tuberías plásticas de drenaje y

Equipo y herramientas mínimas:

- Herramienta menor (picos, palas).
- Pisón manual o compactador tipo “saltarín”.

Materiales

- Tubería PVC Alcantarillado (pared estructurada) resistente a la corrosión.
- Lubricante para PVC
- Empaques de caucho (O-rings) de alta resistencia química.

Mano de obra mínima:

- Maestro gasfitero
- Ayudantes

Medición:

La medición se realizará en metros lineales (m) de tubería instalada, medida sobre el eje y aceptada por fiscalización.

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro lineal (m) instalado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

40-50 m/día

5.2.3.16 *Válvulas de compuerta y accesorios.*

Este rubro comprende el suministro e instalación de válvulas de compuerta y accesorios asociados (codos, tees, uniones de desmontaje) para el control operativo de caudales en cajas de distribución y salida. Debido a la naturaleza agresiva del efluente séptico, el vástago y la tornillería de fijación deberán ser de acero inoxidable AISI 304 para garantizar la operatividad futura.

Procedimiento:

1. Limpieza de las bridas o extremos de conexión, retirando cualquier residuo sólido
2. Instalación de la válvula en la posición indicada, verificando verticalidad y alineación del vástago. Se utilizarán empaques de neopreno nuevos entre bridas.
3. Colocación de pernos de acero inoxidable y aprieta cruzado progresivo para asegurar la estanqueidad sin dañar los empaques.
4. Apertura y cierre total del mecanismo para verificar el número de vueltas y suavidad de operación.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- AWWA C509/C515: Válvulas de compuerta de asiento resiliente.

Equipo y herramientas mínimas:

- Herramienta menor
- Juego de llaves (boca o corona).

Materiales

- Válvulas de compuerta (Cuerpo de Hierro Dúctil, vástago de Acero Inoxidable 304/316).
- Pernos inoxidables
- Vástago inoxidable

Mano de obra mínima:

- Maestro gasfitero
- Ayudante

Medición:

La medición se realizará por unidad de válvula instalada.

Forma de pago:

El pago se efectuará por válvula instalada. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

Global (según complejidad y accesibilidad del sitio).

5.2.4 Estructuras metálicas**5.2.4.1 Estructuras metálicas varias (pasarelas, escaleras, barandas).**

Este rubro comprende el suministro, fabricación, transporte y montaje de elementos metálicos estructurales y de cerrajería necesarios para la operación y acceso seguro de la planta. Incluye específicamente pasarelas/pasadizos, escalerillas y barandas, conforme a planos, detalles y especificaciones.

Procedimiento:

1. Verificación de las dimensiones reales entre apoyos de hormigón antes de iniciar la fabricación en taller.
2. Se fabrica, corte, armado y soldadura de perfiles estructurales (Canales U, Ángulos L, Tubos) según planos, las soldaduras deben ser continuas y pulidas, libres de poros o escoria. Para las pasarelas, se soldará la rejilla electro forjada a los marcos soporte.

3. Se coloca una protección anticorrosiva, aplicando galvanizado en caliente por inmersión según norma ASTM A123 (después de fabricado, se sumerge la pieza entera en zinc fundido).
4. Finalmente, se fijan a las estructuras de hormigón mediante pernos de anclaje de acero inoxidable o anclajes químicos (epóxicos).
5. Verificación de rigidez, acabados y seguridad de tránsito.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- AISC: Manual de construcción en acero (diseño estructural).
- ASTM A123: Especificación para recubrimiento de zinc (galvanizado).
- OSHA 1910: Normas de seguridad para superficies de trabajo y escaleras (alturas de barandas, anchos mínimos).

Equipo y herramientas mínimas:

- Soldadora eléctrica.
- Taladro percutor.
- Grúa o tecele.
- Esmeril angular.

Materiales:

- Perfiles de acero estructural A36 (ángulos, canales, tubos).
- Rejilla metálica electroforjada.
- Pernos de anclaje (acero inoxidable).
- Soldadura E6011/E7018.

Mano de obra mínima:

- Maestro soldador calificado.
- Ayudante de montaje.

Medición:

La medición se realizará por kilogramos (kg) de acero instalado y aprobado. Esto incluye el peso de perfiles, platinas, rejillas y soldadura.

Forma de pago:

El pago se efectuará por kilogramo (kg) de acero instalado y aprobado/ El precio incluye suministro, fabricación, galvanizado, pintura y montaje.

5.2.5 Obras complementarias y accesos.**5.2.5.1 Capa de rodadura de material granular (vías internas).**

Este rubro comprende en la construcción de una capa de rodadura de material granular con espesor final de 20 cm de espesor compactado. Se conformará sobre la subrasante preparada en vías internas, bermas y patio de maniobra de la PTAR. Su objetivo es garantizar una superficie estable y resistente que permita el tránsito de vehículos de operación y mantenimiento (hidrosuccionadores, volquetas) en cualquier condición climática, evitando el atascamiento en el suelo arcilloso natural.

Procedimiento:

1. Transporte y descarga del material granular en el sitio de obra utilizando volquetas.
Evitando contaminación con material orgánico.
2. Distribución y extendido del material con motoniveladora en capas uniformes que no excedan los 25 cm de espesor suelto.
3. Humectación y mezclado del material con tanquero y motoniveladora hasta alcanzar la humedad óptima determinada en laboratorio.
4. Compactación mecánica con rodillo vibratorio liso hasta obtener una densidad mínima del 95% del Proctor Modificado.

5. Conformación del bombeo o pendiente transversal (2%) hacia los costados para asegurar el rápido escurrimiento de las aguas lluvias hacia las cunetas.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- NEVI-12- Vol 4 (Sección 403): Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes.

Equipo y herramientas mínimas:

- Motoniveladora.
- Rodillo Vibratorio liso (10-12 Ton).
- Tanquero de agua.

Mano de obra mínima:

- Operador de equipo pesado.
- Ayudante.

Medición:

La medición se realizará por metros cúbicos (m^3) de material compactado en sitio.

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro cúbico (m^3) de material compactado en sitio. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

200 m^3 , según distancia de acarreo, clina y disponibilidad de equipos.

5.2.5.2 Cabezal de descarga de hormigón armado.

Este rubro comprende la construcción de un cabezal de salida (a estructura de transición hidráulica de hormigón armado) ubicada al final de la tubería de descarga del efluente tratado. La estructura estará conformada por un muro frontal y aletas laterales (muros de ala) diseñados para contener el terraplén, fijar la posición de la tubería y proteger el talud contra la erosión provocada por el flujo de salida.

El rubro incluye la excavación manual, suministro de materiales, encofrado, acero de refuerzo, elaboración, vaciado, vibrado y curado del hormigón, así como el desencofrado y acabados finales.

Procedimiento:

1. Excavación de acuerdo con las dimensiones de los planos hasta alcanzar suelo firme. Se recomienda colocar una capa de hormigón de limpieza (replantillo) de 5 cm de espesor si el suelo es arcilloso.
2. Se cortará y figurará el acero según la planilla de hierros. Se colocarán las parrillas asegurando un recubrimiento mínimo de 5.0 cm (según ACI 318 para hormigón en contacto con suelo) utilizando separadores de mortero ("panelas").
3. Se armarán los moldes garantizando la verticalidad y la geometría. Se debe dejar el círculo pasante exacto para el empotramiento de la tubería de descarga, sellando el perímetro para evitar fugas de lechada.
4. Vaciado del hormigón controlado evitando una altura de caída libre superior a 1.50 m para evitar la segregación de los áridos
5. Se aplicará vibrado mecánico obligatorio durante el vaciado para eliminar el aire atrapado y evitar "cangrejas".
6. Retiro de encofrado lateral a las 24 horas. Inmediatamente después, se iniciará el curado mediante humedecimiento continuo con agua durante un mínimo de 7 días consecutivos para evitar fisuras por retracción.

7. Se procederá al resane de imperfecciones con mortero y al biselado de las aristas vivas (opcional).

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- ACI 318-19 (American Concrete Institute): Building Code Requirements for Structural Concrete.
- NEC-SE-HM (Norma Ecuatoriana de la Construcción): Estructuras de Hormigón Armado.

Equipos mínimos:

- Concretera
- Vibrador
- Herramientas menores

Mano de obra mínima:

- Albañil
- Peones

Herramientas mínimas:

- Hormigón $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$
- Acero de refuerzo
- Madera de encofrado
- Aditivo impermeabilizante

Medición:

La medición se realizará por unidad (u) terminada.

Forma de pago:

El pago se efectuará por unidad (u) de cabezal completamente terminada y recibida a satisfacción por la Fiscalización. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de

obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

1 unidad de cabezal terminado conforme a los planos.

5.2.5.3 Enrocado de protección (escollera en descarga).

Este rubro comprende en el suministro, transporte y colocación ordenada de piedras grandes (piedra bola, canto rodado o piedra de cantera fracturada), sanas, duras y durables, con un diámetro promedio de 300 mm a 500 mm. Se colocarán formando un manto protector o "delantal" a la salida del cabezal de descarga y en los taludes adyacentes del cuerpo receptor.

Procedimiento:

1. Se procederá a la excavación y perfilado del terreno en la zona de descarga hasta alcanzar las líneas y niveles del diseño. Es requisito indispensable la excavación de una zanja de anclaje o "dentellón" (uña) en el extremo inferior del talud (pie de la escollera) con una profundidad mínima de 0.60 m (o según planos).
2. Sobre la superficie perfilada se extenderá el geotextil no tejido (tipo 200 g/m²). Los paños se colocarán sin tensión ni arrugas excesivas, asegurando un traslape mínimo de 30 a 50 cm entre ellos. El geotextil se fijará temporalmente con estacas o piedras pequeñas para evitar su desplazamiento.
3. La colocación se iniciará desde la cota más baja (llenando primero el dentellón de anclaje) y avanzando progresivamente hacia la parte superior del talud. Las piedras deberán ser depositadas cuidadosamente con el cucharón de la excavadora a baja altura; no se permitirá el vertido por volteo libre desde alturas mayores a 1.00 m para no rasgar el geotextil ni causar segregación del material.

4. Se exigirá un acomodo selectivo para garantizar la estabilidad del manto. Las piedras más grandes deberán quedar apoyadas firmemente entre sí, logrando una trabazón mecánica efectiva. Los espacios vacíos o intersticios grandes deberán ser acunados con piedras de menor tamaño para formar una masa densa, uniforme y resistente al arrastre hidráulico de las piedras.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- ASTM D4992: Práctica estándar para evaluación de roca para control de erosión.
- AASHTO T-104: Solidez de los agregados mediante sulfato de sodio (resistencia a la intemperie y salinidad).

Equipo y herramientas mínimas:

- Excavadora (para movimiento de piedras grandes)
- Barras de acero.

Materiales:

- Piedra de cantera (fracturada/angulosa).
- Geotextil: No tejido de polipropileno

Mano de obra mínima:

- Operador de maquinaria.
- Ayudantes

Medición:

La medición se realizará por metros cúbicos (m^3) de escollera colocada en su posición final, verificado mediante levantamiento topográfico (secciones transversales antes y después).

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro cúbico m^3 de escollera colocada en sitio. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte,

materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

20 m³ sujeto a accesos, tamaño de grava y la condición del terreno

5.2.5.4 Cerramiento perimetral (postes y alambre de púas).

Este rubro comprende el suministro, transporte e instalación de un sistema de cerramiento perimetral para delimitar el predio de la PTAR y restringir el acceso de personas no autorizadas y animales. El cerramiento estará conformado por postes de hormigón armado prefabricados e hileras de alambre de púas galvanizado, conforme a los planos y trazado aprobado.

Procedimiento:

1. Replanteo y alineación del perímetro. Excavación de hoyos para cimentación de postes cada 2.50 metros de distancia.
2. Colocación y plomada de los postes, fijándolos en la base con hormigón simple.
3. Instalación de postes esquineros o tensores reforzados en cambios de dirección.
4. Instalación y tensado de 4 a 5 hileras de alambre de púas, asegurándolas a los postes mediante grapas o alambre galvanizado.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- ASTM A121: Especificación para alambre de púas de acero al carbono recubierto de zinc.

Equipo y herramientas mínimas:

- Herramienta menor (palas, barras, alicates).

Mano de obra mínima:

- Albañil

- Ayudantes

Medición:

La medición se realizará por metros lineales (m) de cerramiento terminado.

Forma de pago:

El pago se efectuará por metro lineal (m) de cerramiento terminado. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

30 m, según condiciones de terreno y accesibilidad.

5.2.6 Instalaciones eléctricas y de seguridad**5.2.6.1 Acometida eléctrica y caja de control.**

Este rubro comprende el suministro, construcción e instalación de todos los elementos necesarios para la acometida eléctrica en baja tensión (monofásica o bifásica 120/240V, según carga de diseño) desde la red de distribución pública hasta el tablero de control de la PTAR. Incluye la construcción del murete técnico de hormigón/mampostería, la instalación de la base porta-medidor, tubería conduit, cableado de alimentación, sistema de puesta a tierra y la caja de protección (breakers) para el control del alumbrado y equipos menores.

Procedimiento:

1. Se construirá un murete o pilastra de hormigón simple o mampostería de ladrillo en el límite del predio, respetando las dimensiones y diseño estandarizado de CNEL EP - Santa Elena. El murete deberá ser enlucido y pintado, e incluirá el nicho o espacio para empotrar la caja del medidor a la altura reglamentaria.

2. Se empotrará la tubería Conduit rígida dentro del murete, dejando la curva de entrada con su respectivo capacete (cabeza de servicio) para evitar el ingreso de agua de lluvia. Se instalará la base socket (base para el medidor) y la caja térmica para los disyuntores, asegurando que queden niveladas y firmes.
3. Al pie del murete se excavará para hincar una varilla de cobre (tipo Copperweld) de 5/8" x 1.80 m (mínimo). La conexión entre el cable de tierra desnudo y la varilla se realizará preferiblemente con suelda exotérmica garantizando una resistencia baja (menor a 25 Ohmios).
4. Se realizará el tendido del cable conductor (tipo concéntrico antifraude para la acometida y THHN para la salida) respetando el calibre del diseño (mínimo #8 o #6 AWG). Finalmente, se instalarán los disyuntores termomagnéticos (breakers) en la caja de control, dimensionados para proteger el circuito de iluminación y tomacorrientes de servicio.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- Normas de Homologación de la Unidad de Negocio CNEL EP - Santa Elena.
- NTE INEN 2396: Especificaciones para tableros y protecciones.

Equipo y herramientas mínimas:

- Combo o martillo
- Herramientas de electricista
- Herramienta menor
- Mampostería
- Cemento
- Arena

Mano de obra mínima:

- Electricista calificado
- Albañil

Materiales:

- Base socket para medidor
- Caja térmica o plástica (NEMA 3R para exteriores).
- Breakers (2 polos).
- Cable concéntrico y THHN
- Varilla Copperweld+ Conector
- Tubería Conduit PVC pesado
- Materiales de mampostería

Medición:

La medición se realizará por global de acometidas totalmente instaladas (incluye murete, cajas y cableado interno). No incluye el medidor en sí, que lo provee la empresa eléctrica.

Forma de pago:

El pago se efectuará por acometidas instaladas. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

Global, según accesibilidad, coordinación CNEL EP y complejidad de montaje.

5.2.6.2 Sistema de iluminación exterior (poste y luminarias LED).

Este rubro comprende el suministro, transporte e instalación de postes (de hormigón o metálicos) equipados con luminarias de tecnología LED de alta eficiencia (tipo cobra o reflector,

100W-150W) para la iluminación exterior de la planta. Su finalidad es proporcionar visibilidad para la seguridad perimetral y permitir la operación o inspección de las unidades de tratamiento durante la noche.

Procedimiento:

1. Excavación y construcción de plintos de hormigón conforme a planos.
2. Izaje y fijación de postes asegurando su verticalidad.
3. Montaje del brazo y la luminaria LED en la cima del poste.
4. Conexión del cableado de alimentación e implementación de puesta a tierra.
5. Pruebas de funcionamiento, verificación de encendido y orientación del flujo luminoso según el área a cubrir.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- Normas de Homologación de la Unidad de Negocio CNEL EP - Santa Elena.
- NTE INEN 2396: Alumbrado público.

Equipo y herramientas mínimas:

- Grúa o camión canasta (para izaje).
- Herramientas de electricidad.

Mano de obra mínima:

- Electricista calificado
- Ayudantes

Medición:

La medición se realizará por unidad (u) de luminaria instalada

Forma de pago:

El pago se efectuará por punto de luz (u) instalado y operativo. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y

dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

2-4 puntos/día según accesibilidad, tipo de poste.

5.2.6.3 Señalización de seguridad industrial y ambiental.

Este rubro comprende el suministro, fabricación e instalación de señalética vertical de seguridad dentro de las instalaciones de la PTAR. Incluye señales preventivas, informativas y prohibitivas (ej. "Uso Obligatorio de EPP", "Riesgo Biológico", "Profundidad de Laguna", "Prohibido el Paso", "Agua No Potable") elaboradas en material resistente a la intemperie (lámina galvanizada o PVC rígido con vinil reflectivo).

Procedimiento:

1. Determinación de la ubicación estratégica de cada señal según el plan de seguridad.
2. Instalación de soportes o postes metálicos pequeños donde no existan paredes.
3. Fijación de los letreros mediante pernos o abrazaderas.
4. Verificación de visibilidad y altura adecuada.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- NTE INEN 439: Colores, señales y símbolos de seguridad.

Equipo y herramientas mínimas:

- Taladro
- Llaves
- Destornilladores

Mano de obra mínima:

- Peón especializado.
- Ayudantes

Medición:

La medición se realizará por unidad (u) de letrero instalado.

Forma de pago:

El pago se efectuará por unidad (u) instalada. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla:

10-15 unidades según cantidad de postes y condiciones de instalación.

5.2.7 Varios**5.2.7.1 Limpieza final de la obra y retiro de escombros.**

Comprende la ejecución de todas las actividades necesarias para dejar la planta de tratamiento (PTAR) y sus áreas circundantes completamente limpias, libres de residuos de construcción, escombros, materiales sobrantes y basuras. El objetivo es entregar la obra en condiciones estéticas y funcionales para su operación inmediata.

Procedimiento:

1. Barrido y recolección manual de residuos en las áreas de circulación y estructuras.
2. Lavado de estructuras de hormigón si presentan manchas de mortero o tierra.
3. Acopio de materiales sobrantes reutilizables en la bodega (si aplica).
4. Carga de escombros y basura no reutilizable en volquetas. Transporte y disposición final en botaderos municipales autorizados.

Cumplimiento de normas y especificaciones:

- Plan de Manejo Ambiental del Proyecto (gestión de desechos sólidos).

Equipo y herramientas mínimas:

- Volqueta

- Herramienta menor (escobas, palas, sacos).
- Destornilladores

Mano de obra mínima:

- Cuadrilla de limpieza.

Medición:

La medición se realizará por rubro global (glb)

Forma de pago:

Se pagará por por ámbito global. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como por todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Rendimiento diario con cuadrilla: Se ejecuta una vez acabada la obra (glb).

5.3. Cantidades de obra

La cuantificación de los rubros para la Fase 1 del proyecto se basa en la implementación de cuatro módulos de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, con dimensiones individuales de 47.78 m por lado, alcanzando un área total neta de tratamiento de $9,130.28m^2$.

Las cantidades de obra han sido calculadas mediante un análisis geométrico riguroso, destacando un movimiento de tierras de $3,652.11m^3$ para la conformación de los vasos s y una impermeabilización total de $10,225.00m^2$ utilizando geomembrana HDPE de 0.75 mm.

La selección de espesores optimizados, tales como los 40 cm de grava filtrante y la utilización de $1,826.06 m^3$ de arena de mar de procedencia local como capa de protección de 20 cm, responde a una estrategia de ingeniería de valor orientada a minimizar los costos de inversión inicial y logística de transporte, garantizando la viabilidad técnica y económica del sistema de tratamiento para la mancomuna Monteverde-Jambelí.

Tabla 50.*Resumen de rubros y cantidades*

Item	Rubro	Unidad	Cantidad
Obras preliminares			
1.01	Desbroce, desboque y limpieza del terreno	m^2	10.500
1.02	Limpieza de taludes en lagunas existentes	m^2	7140
1.03	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m^2	9130
1.04	Campamento provisional y bodega	m^2	25
Movimiento de tierra e impermeabilización			
2.01	Excavación a máquina en material arcilloso (95%)	m^3	3652
2.02	Excavación manual (5%)	m^3	183
2.03	Carga, transporte y desalojo de material (suelo arcilloso)	m^3	362
2.04	Compactación de diques	m^3	1250
Infraestructura de tratamiento			
3.01	Cama de arena para protección y nivelación (e=20cm)	m^3	3652.12
3.02	Suministro e instalación de geomembrana HPDE de 0.75mm	m^2	19720
3.03	Excavación y relleno de zanja de anclaje.	m^2	19720
-93.04	Excavación y relleno de zanja de anclaje	m	90
3.05	Replanteo e=5cm	m^3	50
3.06	Encofrado y desencofrado	m^2	45
3.07	Hormigón simple $f'c=210$ kg/ cm^2 (resistente a sulfatos)	m^3	4.4
3.08	Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/ cm^2	Kg	400
3.09	Instalación de cinta waterstop	m	282.53
3.1	Tapas de hormigón armado con marco metálico	Unidad	4
3.11	Desarenador Parshall	Unidad	1
3.12	Suministro e instalación de rejillas de cribado.	Unidad	1
3.13	Suministro y colocación de grava filtrante	m^3	7000

3.14	Siembra de macrófitas (typha domingensis)	<i>Unidad</i>	8000
3.15	Tubería PVC perfilada	m	250
3.16	Válvulas, compuertas y accesorios	<i>Global</i>	1
Estructura metálica			
4.01	Estructura metálica varias (pasarelas, escaleras, barandas).	Kg	5000
Obras complementarias y accesos			
5.01	Capa de rodadura de material granular (lastre)	<i>m³</i>	210
5.02	Cabezal de descarga de hormigón armado.	<i>m³</i>	3
5.03	Enrocado de protección (escollera).	<i>m³</i>	25
5.04	Cerramiento perimetral.	<i>ml</i>	580
Acometida eléctrica (incluye murete)			
6.01	Acometida eléctrica (incluye murete)	<i>Global</i>	1
6.02	Sistema de iluminación exterior (postes+LED)	<i>Unidad</i>	6
6.03	Señalización de seguridad	<i>Unidad</i>	6
Limpieza final de la obra			
7.01	Limpieza final de la obra	<i>Global</i>	0.8

Tabla 51.

Precio total del proyecto.

Item	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Obras preliminares					
1.01	Desbroce, desboque y limpieza del terreno	m ²	10.500	1.63	\$17125.50

1.02	Limpieza de taludes en lagunas existentes	m ²	7140	0.57	\$4098.36
1.03	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	9130	2.25	\$20515.74
1.04	Campamento provisional y bodega	m ²	25	28.33	\$708.23
TOTAL					\$42447.83

Movimiento de tierra e impermeabilización

2.01	Excavación a máquina en material arcilloso (95%)	m ³	3652	1.62	5908.94
2.02	Excavación manual (5%)	m ³	183	21.65	3962.13
2.03	Carga, transporte y desalojo de material (suelo arcilloso)	m ³	362	4.57	1652.89
2.04	Compactación de diques	m ³	1250	4.17	5216.25
TOTAL					\$16740.21

Infraestructura de tratamiento

3.01	Cama de arena para protección y nivelación (e=20cm)	m ³	3652.12	4.08	14915.26
3.02	Suministro e instalación de geomembrana HPDE de 0.75mm	m ²	19720	2.72	53677.84
3.03	Excavación y relleno de zanja de anclaje.	m ²	19720	4.70	92703.72
-	Excavación y relleno de zanja de anclaje	m	90	5.87	528.48
93.04					
3.05	Replanteo e=5cm	m ³	50	9.32	465.95
3.06	Encofrado y desencofrado	m ²	45	11.76	564.29
3.07	Hormigón simple f'c=210 kg/cm ² (resistente a sulfatos)	m ³	4.4	139.66	614.52
3.08	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm ²	Kg	400	1.45	580.40
3.09	Instalación de cinta waterstop	m	282.53	22.37	6321.33

3.1	Tapas de hormigón armado con marco metálico	U	4	80.37	321.48
3.11	Desarenador Parshall	U	1	2969.62	2969.62
3.12	Suministro e instalación de rejillas de cribado.	U	1	391.48	391.48
3.13	Suministro y colocación de grava filtrante	m ³	7000	11.13	77938.00
3.14	Siembra de macrófitas (typha domingensis)		8000	0.55	4416.00
3.15	Tubería PVC perfilada	m	250	21.03	5257.25
3.16	Válvulas, compuertas y accesorios	Global	1	1848.17	1848.17
TOTAL					\$263,513.79
Estructura metálica					
4.01	Estructura metálica varias (pasarelas, escaleras, barandas).	Kg	5000	4.09	20470.00
TOTAL					\$20,470.00
Obras complementarias y accesos					
5.01	Capa de rodadura de material granular (lastre)	m ³	210	18.52	3888.36
5.02	Cabezal de descarga de hormigón armado.	m ³	3	358.11	1074.34
5.03	Enrocado de protección (escollera).	m ³	25	60.63	1515.85
5.04	Cerramiento perimetral.	ml	580	49.5	28,709.42
TOTAL					\$35,187.97
Acometida eléctrica (incluye murete)					
6.01	Acometida eléctrica (incluye murete)	Global	1	255.24	255.24
6.02	Sistema de iluminación exterior (postes+LED)	U	6	461.77	2770.63
6.03	Señalización de seguridad	U	6	298.91	1793.48
TOTAL					\$4,819.35

Limpieza final de la obra					
7.01	Limpieza final de la obra	Global	0.8	742.99	\$594.34
	TOTAL				\$594.34
	SUBTOTAL;			\$383,773.54	
	IVA 15%			\$57,566.03	
TOTAL DEL PRESUPUESTO				\$441,339.57	

El presupuesto se divide:

Presupuesto de Obra (Costo Directo)

Es el valor de campo, es decir lo que se gasta en la construcción de la obra.

- **Obras Preliminares:** Representa la preparación legal y física del terreno.
- **Movimiento de Tierras:** Es un rubro crítico. Al usar la tierra excavada para conformar los diques (compactación), evitamos pagar por traer material de relleno externo y reducimos el rubro de desalojo a solo 365.21 m³ de material vegetal.
- **Sistema de Impermeabilización:** Aquí logramos el mayor ahorro. Al usar 1,826.06 m³ de arena de mar local para la capa de 20 cm, eliminamos el costo de compra en cantera. Además, bajar el HDPE a 0.75 mm reduce el costo del material sin sacrificar la estanqueidad, dado que la columna de agua es baja (60 cm).
- **Medio Filtrante y Control:** Es el rubro más caro por el volumen de grava (3,652.11 m³). Sin embargo, al limitar el espesor a 40 cm, reducimos la inversión en un 33% frente al estándar de 60 cm. Incluye también el hormigón para las cajas de control y las 4,565 plantas (Typha).
- **Complementarias:** Son rubros de seguridad y estética, como los 420 m de cerramiento de alambre de púas, iluminación LED y limpieza final.

Análisis de Indirectos e Impuestos

Son los costos necesarios para gestionar la obra, contando imprevistos que sucedan.

- **Costos Indirectos (15%):** Cubre el sueldo del residente de obra, la seguridad industrial, los imprevistos y la utilidad del constructor.
- **IVA (15%):** Impuesto de ley que se aplica sobre la suma del costo directo y el indirecto.

Con el propósito de evaluar la competitividad financiera de la propuesta técnica para la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la comuna Monteverde-Jambelí, se ha realizado un análisis comparativo de costos o Benchmarking.

Esta evaluación permite contrastar el costo unitario por metro cuadrado obtenido tras la optimización del diseño técnico—que contempla módulos de 47.78m por lado, una capa de grava de 40 cm y el uso de geomembrana HDPE de 0.75 mm frente a tecnologías convencionales y humedales de diseño estándar en el contexto ecuatoriano y regional.

Dicho análisis fundamenta la viabilidad del proyecto como una solución de ingeniería de valor que maximiza el beneficio social y ambiental al menor costo de inversión posible.

Para validar la eficiencia económica de la propuesta, se presenta un análisis de benchmarking que contrasta el costo unitario por metro cuadrado de tratamiento secundarios de diseño optimizado frente a tecnologías convencionales y proyectos ejecutados en contextos similares.

Tabla 52.

Cuadro comparativo de inversión por tecnología de tratamiento secundario (Benchmarking).

Tecnología	Fuente / Referencia Técnica	Costo Est. (\$/m ²)	Observaciones
------------	--------------------------------	------------------------------------	---------------

Humedal SSF (Optimizado)	Diseño mancomuna Monteverde-Jambelí	\$26–\$30	Uso de arena de mar (1826.06 m ³) y reducción de 40cm
Humedal SSF Estándar	PTAR Puerto López, Manabí-Ecuador	\$55–\$75	Diseños con muros periféricos de hormigón armado y acarreo de material pétreo comercial desde canteras distintas.
Planta Compacta	PTAR urbanizaciones en Samborondón-Ecuador	\$110–\$160	Sistemas electromecánicos (SAD) que requieren equipos de aieración, sopladores y mantenimiento especializado constante
Lagunas Terciarias	Manuales OPS/OMS	\$35–\$45	Baja inversión en materiales, pero alta demanda de terreno y excavaciones masivas.

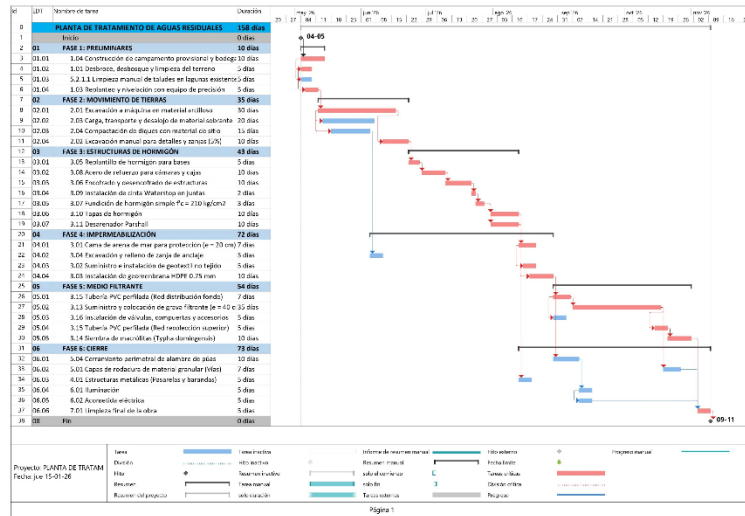
La tabla comparativa demuestra que la PTAR propuesta presenta el costo unitario mas competitivo del mercado rural, logrando una reducción significativa frente a un humedal de diseño estándar.

Esta eficiencia se atribuye directamente a la ingeniería de valor aplicada al proyecto: el aprovechamiento de la arena local de playa elimina costos de suministro externo, mientras que la optimización de los espesores de lecho filtrante minimiza el volumen de grava comercial, que representa el rubro de mayor incidencia económica en el presupuesto total.

5.4. Cronograma

Tabla 53.

Cronograma de actividades esperado.



La planificación de actividades para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se ha estructurado bajo una secuencia lógica y cronológica asegurando el uso óptimo de los recursos. Este proyecto contempla una duración de 158 días calendario, iniciando su ejecución en mayo de 2026 y proyectando su finalización en noviembre del mismo año.

La planificación se divide en seis fases críticas permitiendo un control detallado del avance de la obra:

- Fase 1 y 2 (preliminares y movimientos de tierras): Las primeras etapas abarcan 45 días, enfocándose en la adecuación del terreno, estableciendo las bases físicas del proyecto.
- Fase 3 (Infraestructura civil): Siendo el paso previo indispensable para la instalación de sistemas hidráulicos, siendo vital para la estanqueidad del sistema.
- Fase 4 y 5 (impermeabilización y medio filtrante): Representa el mayor esfuerzo logístico (72 y 54 días respectivamente), donde el solapamiento de tareas es vital para no extender el plazo total.

- Fase 6 (limpieza): Garantiza que la obra se entregue con todas las medidas de seguridad y cerramiento necesarios.

El análisis de la ruta crítica permite identificar la secuencia de actividades que determinan la duración mínima del proyecto, establecida en 158 días. Se han identificado los rubros que presentan un margen de holgura cero, lo que quiere decir que estos rubros deben ser monitoreados con prioridad absoluta durante la fase de ejecución.

Tabla 54.

Identificación de actividades críticas.

<p><i>Movimiento de Tierra (fase 2)</i></p>	<p>Excavación a máquina en material arcilloso (30 días) es el punto de partida crítico, ya que de ella depende el inicio de las estructuras de confinamiento y revestimiento.</p>
<p><i>Estructuras de hormigón (fase 3)</i></p>	<p>Con una duración acumulada de 43 días, tareas como encofrado, fundido de desarenador Parshall son hitos sucesivos que bloquean el avance de las redes hidráulicas.</p>
<p><i>Impermeabilización (fase 4)</i></p>	<p>El tendido de la geomembrana HDPE de 0.75 mm (10 días) es una actividad crítica de alta precisión; su retraso detiene por completo la carga del medio filtrante.</p>
<p><i>Medio filtrante (fase 5)</i></p>	<p>El suministro y colocación de grava filtrante (35 días) es la tarea crítica más extensa del</p>

proyecto. Debido al volumen de material y la necesidad de colocación manual para proteger el revestimiento, esta actividad define la fase final de estabilización biológica.

Capítulo 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

- La implementación de una Planta de Tratamiento en la mancomuna Monteverde – Jambelí, es una necesidad de vital importancia, por la ausencia de un sistema eficiente. Al tener problemas de funcionamiento como la infiltración, este sistema se ha convertido en un punto clave de contaminación que amenaza recursos naturales y salud de la población local. Una solución con un diseño adecuado es fundamental para reducir riesgos ambientales y garantizar eficiencia.
- En comunas rurales, los sistemas descentralizados con soluciones basadas en la naturaleza brindan una alternativa óptima para el tratamiento de aguas residuales, por su bajo costo operativo y constructivo. Además de que brinda una solución teniendo un enfoque sostenible que ayuda a preservar recursos naturales y brinda un servicio básico en este caso el saneamiento de la población local de ambas comunidades.
- El diseño de una PTAR debe considerar diferentes factores relacionados con condiciones locales, como la topografía, el clima, las características de las aguas residuales y la capacidad económica de la comunidad. Adoptar tecnologías adecuadas al contexto local es fundamental para maximizar eficiencia de tratamiento y minimizar costos. Sistemas como las lagunas de oxidación y humedales artificiales, en cualquiera de sus aplicaciones, ya que ofrecen soluciones económicamente viables, sostenibles y con gran capacidad de adaptación a las necesidades locales.
- La implementación de una PTAR debe asegurar el cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales vigentes en cuanto a la calidad de agua tratada y su disposición en el medio ambiente. Es esencial que la planta diseñada cumpla con los parámetros establecidos por los organismos pertinentes, como el Ministerio del Ambiente, los límites permisibles establecidos por la TULSMA y la Ley de Gestión

Integral del Agua. Esto garantizará la legalidad del proyecto y reduce el riesgo de sanciones futuras.

- La correcta implantación y éxito de una PTAR en comunidades rurales dependen a gran escala de la comunidad. La población local debe tener una participación activa, por lo que deben fortalecer su capacidad realizando capacitaciones a fin de que pueden gestionar y mantener el sistema funcionando de manera correcta. Esto no solo representa un ahorro económico en mantenimiento, sino que aumenta la aceptación del proyecto y genera conciencia sobre la importancia de la correcta gestión de sus aguas residuales.
- La implementación de una PTAR tiene un impacto positivo en la economía local, ya que genera empleo durante el tiempo de construcción, operación y mantenimiento del sistema. Además, mejora la calidad de agua, lo que aumenta la productividad actividades clave para la economía local como la agricultura y pesca artesanal. A largo plazo, el tratamiento adecuado de las aguas residuales previene costos asociados con la contaminación y enfermedades, lo que contribuye al desarrollo general de las comunidades. En particular, tanto Monteverde como Jambelí tienen la visión a futuro de convertirse en balneario turístico a futuro, por lo que la calidad del agua es fundamental para su correcta expansión y éxito del proyecto a futuro.

6.2.Recomendaciones.

- La falta de acceso a información sobre la Comuna Monteverde y Jambelí fue un obstáculo limitante para el proyecto. Un ejemplo de este fue la falta de información sobre el diseño del sistema existente. Otro ejemplo fue a la falta información sobre población existente a lo largo de los años. Estos datos son esenciales para el correcto diseño, operación y mantenimiento de la PTAR. La falta de acceso a esta información

puede comprometer a la factibilidad del proyecto, ya sea por un mal diseño o consideración errónea.

- Mejorar la información de la Normativa Ecuatoria vinculada al diseño de la PTAR (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992), ya que la información brindada es muy general y queda en lo teórico, falta de ejemplos aplicativos. Por este motivo se usa la (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019) de Mexico para el diseño, pero si se basó en la disposiciones o límites establecidos por la TULSMA y el Ministerio del Ambiente, esto asegura legalidad de proyecto y previene sanciones.
- En la actualidad, una persona por comuna es la encargada del mantenimiento para el correcto funcionamiento de la PTAR, esto no asegura la sostenibilidad de la planta a largo plazo. Es esencial contar con más personal capacitado, esto no solo beneficia a la capacidad operativa de la planta, sino que promueve la participación activa de la comunidad.
- Actualmente, solo una persona por comuna es la encargada del mantenimiento de la PTAR, lo cual no asegura la sostenibilidad a largo plazo del sistema, ya que la carga de trabajo recae solo en una persona. Es esencial contar con más personal capacitado para asegurar una eficiencia operativa. La formación continua no solo mejora la capacidad de operación sino promueve el empoderamiento de la comunidad en la gestión de recursos hídricos.
- En comunidades como Jambelí y Monteverde, se recomienda que el diseño de la PTAR se enfoque en soluciones basadas en la naturaleza, debido a su bajo costo y alta eficiencia. Se deben considerar tecnologías como la laguna de oxidación y humedales artificiales, que ofrecen soluciones viables.
- Considerar un plan de mantenimiento integral que tenga en consideración tanto el mantenimiento preventivo como correctivo de la nueva PTAR. Lo cual es necesario

un monitoreo continuo del sistema para evaluar su rendimiento, creando una brigada técnica local que gestione y garantice el funcionamiento diario de la planta, garantizando su eficiencia a largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

- Eddy, & Metcalf. (2014). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. McGraw Hill.
- Milićević, D., Milićević, M., & Trajković, R. (2024). *Decentralized wastewater treatment – a sustainable solution for protecting water resources from pollution*. Retrieved from Journal of the Faculty of Civil Engineering and Architecture: <https://journalcivengarch.org/article/16/pdf>
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (1983). *Design Manual: Municipal Wastewater Stabilization Ponds*. Cincinnati, OH: enter for Environmental Research Information.
- American Public Health Association (APHA). (2017). *APHA (American Public Health Association)*. Obtenido de <https://www.apha.org/>
- American Public Health Association. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24th Edition, Método 9221 B: Multiple-Tube Fermentation Technique*.
- Anda Sanchez, J. (2017). neamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y Ambiente*, pp.119-143.
- Arroyo , V., Ballesteros, M., & Mejia, A. (2015). *Universalización de servicios de agua potable y saneamiento*. Caracas: CAF.
- Asencio Prudente, P. (2016). *Estudio de factibilidad para la creación de una planta de eviscerado de pescado en la comuna Jambelí, parroquia Colonche, cantón Santa Elena, provincia Santa Elena, año 2016*. Obtenido de Repositorio Digital UPSE: <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/3493>
- Balon Vera, C. (2014). *Diseño de procesos presupuestarios participativos, para la comuna Monteverde, parroquia Colonche, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, año 2014*. Retrieved from Repositorio Digital UPSE: <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/1582>
- Banco de Desarrollo del Ecuador . (2022). *Informe de Servicios Institucionales*. Obtenido de <https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2022/08/316-GYE-2022-SJ-CSR2.pdf>
- Colares, G. S., Dell’Osbel, N., Paranhos, G., Cerentini, P., Oliveira, G. A., Silveira, E., . . . Machado, Ê. L. (2021, Noviembre). Hybrid constructed wetlands integrated with microbial fuel cells and reactive bed filter for wastewater treatment and bioelectricity

- generation. *Environ Sci Pollut Res Int (Environmental Science and Pollution Research International)*. doi:10.1007/s11356-021-17395-5
- Colares, S., Dell'Osbel, N., Wiesel, P., Olveira, G., Lemos, P. H., Da Silva, F., . . . Machado, E. (2021). *Floating treatment wetlands: A review and bibliometric analysis*. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720302862>
- Comisión Nacional del Agua . (2015). *Atlas del Agua en México* .
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Obtenido de Libro 26: Diseño de PTARM: Pretratamiento y tratamiento primario: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro26.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. Retrieved from Comisión Nacional del Agua – Biblioteca Digital de MAPAS: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>
- Consultora Ambiental Ecosambito C Ltda. (2019). *Estudio de impacto ambiental por la construcción, operación y mantenimiento de la planta de refinación de sal de la empresa ecuatoriana de sal y productos químicos C.A ECUADAL*.
- Cuadrado , W., Custodio, M., Espinoza, C., Vicuña, C., & Uribe, M. (2019). Capacity of Absorption and Removal of Heavy Metals from *Scirpus californicus* and Its Potential Use in the Remediation of Polluted Aquatic Environment. *Open Journal of Marine Science*, 9, 12. doi:<https://doi.org/10.4236/ojms.2019.92006>
- Da Silva, J. A., Sarti, A., Maintinguer, S. I., Kaiser, I. M., & Da Silva, G. H. (2007). Performance of an anaerobic baffled reactor with an aerobic chamber treating low-strength wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 100.
- De Simone, H. H., Paulo, P., & Boncz, M. (2017). *A constructed wetland system for residential greywater reuse: economic feasibility of, and willingness to pay for*. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624118991>
- Doni, F., Safitri, R., Suhaimi, N. S., Miranti, M., Rossiana, N., Mispan, M. S., . . . Uphoff, N. (2023). Evaluating the underlying physiological and molecular mechanisms in the system of rice intensification performance with *Trichoderma*-rice plant symbiosis as a model system. *Front Plant Sci (Frontiers in Plant Science)*. doi:10.3389/fpls.2023.1214213
- Environmental Protection Agency. (Agosto de 1993). *EPA-United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de Method 350.1: Determination of Amonia Nitrogen by Semi-

- Automated Colorimetry: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_350-1_1993.pdf?utm_source
- Erazo, T. (2020). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/596331832/Pc4-Erazo-Tito-Edy-Jefferson#page=107>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Colonche. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2023-2027*. GAD Colonche.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Jambelí. (2018). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT) Jambelí*. Obtenido de https://www.jambeli.gob.ec/images/PDyOT_JAMBEL%C3%8D_2018_ajustado.pdf?utm_source
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Elena. (2016). Acta N° 09, martes 1 de marzo del 2016. Santa Elena: GAD Santa Elena.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Rural Colonche. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural Colonche*. Colonche.
- Gonzabay Malavé, E. (2020). *Potencialidades del agroturismo en la comuna Jambelí, parroquia Colonche, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, año 2019*. Obtenido de Repositorio Digital UPSE: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5492>
- INAHMI. (2019). *Tabla de caudales históricos 2008-2018*. Quito: INAHMI.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1992). *Código de Partida Ecuatoriano*. Obtenido de CPE INEN 5 Parte 9-1: <https://dn790000.ca.archive.org/0/items/ec.cpe.5.9.1.1992/ec.cpe.5.9.1.1992.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2023). *INEC*. Obtenido de Censo de población y vivienda 2022: Resultados por territorio.
- Kadlec, R., & Knight, R. (1996). *Treatment wetlands*. Florida: Lewis Publishers.
- Leopold, L., Clarke, F., Balsley, J., & Hanshaw, B. (1971). *U.S. Geological Survey*. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/circ/1971/0645/report.pdf>
- Machado, A. I., Beretta, M., Fragoso, R., & Duarte, E. (2017). *Overview of the state of the art of constructed wetlands for decentralized wastewater management in Brazil*. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716308921>
- Mara, D. (2003). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Londres: Earthscan.
- Marais, G. v. (Febrero de 1974). Fecal bacterial kinetics in stabilization ponds. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 100, 119-137.

- Matovelle, C., Quinteros, S., & Ocho Garcia, S. A. (2025). *Performance of Equisetum spp and Zantedeschia aethiopica on the evaluation of artificial wetlands as an alternative for wastewater treatment in rural areas of the Ecuadorian Andes*. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666049024000033>
- Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2003). *Guía RAS-001*. Retrieved from Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio: https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-ras_001.pdf
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS-2000)*. Obtenido de Sección II. Título D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales: https://www.acuagyr.com/wp-content/uploads/2025/04/sistemas_de_recoleccion_aguas.pdf
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (08 de Junio de 2017). *Resolución 0330*. Obtenido de Republica de Colombia: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2003). *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI, Anexo I*. Retrieved from repositorio Institucional ESPOL (DSpace): <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/36/LIBRO%20VI%20Anexo%201%20Normas%20Recurso%20Agua.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2015).
- Monje, A., Nuñez, A., & Subiza, D. (2016). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15610/america-latina-y-el-caribe-agua-y-saneamiento-genero>
- Moran, M. (26 de Enero de 2024). *Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible*. . Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Municipalidad de Santa Elena. (2013). *Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP)*. Obtenido de <https://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/wp-content/uploads/downloads/2013/06/MUNICIPALIDAD-SANTA-ELENA1.pdf>

- Nagarajan, D., Kusmayadi, A., Yen, H., Dong, C., Lee, D., & Chang, J. (2019). Current advances in biological swine wastewater treatment using microalgae-based processes. *Bioresource Technology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121718>
- Noyola, A., Sagastume, J. M., & Güereca, L. P. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/287975365_Seleccion_de_Tecnologias_para_el_Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Municipales_guia_de_apoyo_para_ciudades_pequeñas_y_medianas
- Organización de las Naciones Unidas. (2025). *Informe sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2024*. Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Ortiz, R., Tamayo, C., & Chile, M. (2018). Coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia para el valle de Tumbaco. *Redalyc*, 9. doi:<https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1424>
- Peña, M., & Mara, D. (2004). *Waste Stabilisation Ponds*. Obtenido de IRC: International Water and Sanitation Centre : https://www.pseau.org/outils/ouvrages/irc_university_of_leeds_waste_stabilization_ponds_2004.pdf
- Pilay, M. M., Álvarez, M. J., Pisco, D. G., & Parrales, D. R. (2025). Pantanos secos artificiales para tratamiento de aguas residuales: Una revisión sistemática de literatura. *RECIMUNDO*.
- Reed, S., Crites, R., & Middlebrooks, E. (1995). *Natural systems for waste management and treatment*. New York: McGraw-Hill.
- Rodríguez Tomala, N. (2014). *Plan estratégico para la comuna Monteverde, de la parroquia Colonche, del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, 2014–2018*. Obtenido de Repositorio Digital UPSE: <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/1339>
- Rodríguez Tomalá, N. M. (2014). *Repositorio UPSE*. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/abcb1cee-5e29-4128-ba31-3ecbc74a5f35/content>
- Rubi Perez, M., Schiffmann, C., & Hack, J. (2024). *Multidimensional assessment of a Nature-based Solution for decentralized greywater treatment in Costa Rica*. Retrieved from ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772411524000478>

- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill International Book Company.
- Saldías, C., & Rodríguez, M. (2025). *Avances y desafíos del tratamiento descentralizado de aguas residuales en américa latina: revisión sistemática 2013–2024*.
- Schierano, M., Panigatti, M., Maine, M., Griffa Vignolo, C., & Boglione Mondino, R. (2020). Horizontal subsurface flow constructed wetland for tertiary treatment of dairy wastewater: Removal efficiencies and plant uptake. *Journal of Environmental Management*.
- Tchobanoglous, G. B. (2003). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento y reutilización (4.ª ed.)*. McGraw-Hill. Obtenido de <https://studylib.net/doc/27593304/ingenieria-de-aguas-residuales-volumen-i-y-ii-metcalf-and-e...>
- Tchobanoglous, G., & Schroeder, E. (1987). *Water quality: Characteristics, modeling, .* Addison-Wesley.
- UNICEF & OMS. (18 de Junio de 2019). *UNICEF*. Obtenido de <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potabl>
- UNICEF & OMS. (2020). *stado Mundial del Saneamiento: Un llamamiento urgente a transformar el saneamiento para mejorar la salud, los entornos, las economías y las sociedades*. Nueva York.
- Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). (2023). *Valoración de Especies*.

8. PLANOS Y ANEXOS

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTANTE : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 1.01

DETALLE: Desbroce, desbroque y limpieza del terreno

UNIDAD: m2

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,000	5,000	0,005	0,024	
TRACTOR ORUGA 150 HP	1,00	65,000	65,000	0,02	1,300	
PARCIAL M =					1,324	93,37%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro albañil	0,10	4,28	0,428	0,02	0,009	
Peón	1,00	4,23	4,230	0,02	0,085	
PARCIAL N =					0,094	6,63%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL O =				0,000	0,00%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	1,42	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	0,152	
OTROS INDIRECTOS 0%	0,071	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1,631	
VALOR PROPUESTO	1,63	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROPONENTE : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 1,02

DETALLE: Limpieza de taludes en lagunas existentes

UNIDAD: m2

M - EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%*mat.)	1,00				0,020	
PARCIAL M =					0,020	4,01%

N - MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro albañil	0,10	4,28	0,428	0,03	0,013	
Peón	3,00	4,23	12,690	0,03	0,381	
PARCIAL N =					0,394	78,96%

O - MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Sacos de polipropileno	Unidad	0,05	0,40	0,020	
PARCIAL O =				0,020	4,01%

P - TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Desalojo de desechos vegetales	m³	0,01	6,5	0,065	
PARCIAL P =				0,065	13,03%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

0,50	100,00%
0,050	
0,025	
0,574	
0,57	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROPONENTE : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 1,03

DETALLE: Replanteo y nivelación con equipo de presión

UNIDAD: m2

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,000	5,000		0,002	
EQUIPO TOPOGRAFICO	1,00	3,750	3,750	0,0027	0,010	
PARCIAL M =					0,012	5,24%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNALHR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Topografo	1,00	4,75	4,750	0,0027	0,013	
Cadenero	2,00	4,28	8,560	0,0027	0,023	
PARCIAL N =					0,036	15,72%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
Clavos	Kg	0,1000	1,03	0,103		
Piola	Global	0,1000	0,23	0,023		
Pintura Spray fluorescente verde	Lata	0,0100	2,52	0,025		
Madera (Estacas)	Unidad	0,2000	0,15	0,030		
PARCIAL O =					0,181	79,04%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

0,23	100,00%
0,023	
0,011	
0,263	
0,26	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROPONENTE : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 1,04

DETALLE: Campamento provisional y bodega

UNIDAD: m2

M.- EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,000	5,000	-	0,000	
Amoladora	0,60	4,300	2,580	0,83	2,141	
PARCIAL M =					2,141	8,69%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Carpintero	1,00	4,28	4,280	0,83	0,530	
Maestro electrico	0,10	4,75	0,475	0,83	0,530	
Peón	2,00	4,23	8,460	0,83	0,530	
PARCIAL N =					1,590	6,45%

O.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Madera de encofrado	Unidad	3,0000	4,00	12,000	
Cuarteros de encofrado	Unidad	1,2000	4,00	4,800	
Planchas de Zinc	Unidad	0,8000	5,00	4,000	
Clavos	Kg	0,5	1,03	0,103	
Punto de luz		0,1000	15		
PARCIAL O =				20,903	84,85%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

24,63	100,00%
2,463	
1,232	
28,325	
28,33	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROPONENTE : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 2,01

DETALLE: Excavacion a maquina en material arcilloso (95%)

UNIDAD: m3

M.- EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
EXCAVADORA 153HP 1,5M3	1,00	50,000	50,000	0,02	0,890	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,000	5,000	-	0,0132	

PARCIAL M = 0,903 **64,18%**

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Operador equipo pesado	1,00	4,750	4,750	0,02	0,095	
Peón	2,00	4,230	8,460	0,02	0,169	

PARCIAL N = 0,264 **18,76%**

O.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Madera (Estacas)	Unidad	0,1000	0,1500	0,015	
Saco 25 KG Cal	Saco	0,0500	4,5000	0,225	

PARCIAL O = 0,240 **17,08%**

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%

PARCIAL P = 0,000 **0,00%**

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	1,41	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	0,141	
OTROS INDIRECTOS 0%	0,070	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1,618	
VALOR PROPUESTO	1,62	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROPONENTE : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 2,02
 DETALLE: Excavación manual (5%)

UNIDAD: m3

M.- EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%/mat.)	1,00	5,000	5,000		0,480	
PARCIAL M =					0,480	4,77%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro de obra	0,25	4,52	1,130	1,00	1,130	
Peón	2,00	4,23	8,460	1,00	8,460	
PARCIAL N =					9,590	95,23%

O.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL O =					0,000	0,00%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)		10,07	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%		1,007	
OTROS INDIRECTOS 0%		0,504	
COSTO TOTAL DEL RUBRO		11,581	
VALOR PROPUESTO		11,58	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROponente : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 2,03

DETALLE: Carga, transporte y desalojo de material (suelo arcilloso)

UNIDAD: m3

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mal)	1,00	5,000	5,000		0,173	
VOLOQUETÁ	1,00	20,000	20,000	0,03	0,640	
EXCAVADORA 153HP 1,5M3	0,78	50,000	39,000	0,03	1,248	
PARCIAL M =					2,061	66,85%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Chofer profesional licencia tipo E	1,00	6,220	6,220	0,01	0,056	
Peón	0,78	4,230	3,299	0,01	0,030	
Operador equipo pesado	2,00	4,750	9,500	0,01	0,085	
PARCIAL N =					0,172	5,58%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Agua	m³	1,0000	0,85	0,850	
PARCIAL O =				0,850	27,57%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

3,08	100,00%
0,308	
0,154	
3,545	
3,55	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROPONENTE : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 2.04

DETALLE: Compactación de diques

UNIDAD: m3

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
MOTONIVELADORA (140G/K)	1,00	\$ 45,00	\$ 45,00	0,01	\$0,45	
RODILLO VIBRADOR INGERSOLL RAND 112HP	1,00	\$ 35,00	\$ 35,00	0,01	\$0,35	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	\$ 5,00	\$ 5,00		\$0,01	
TANQUERO	1,00	\$ 20,00	\$ 20,00	0,01	\$0,20	

PARCIAL M = 1,014 47,18%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Chofer profesional licencia tipo E	1,00	6,22	6,220	0,01	0,062	
Operador equipo pesado	2,00	4,75	9,500	0,01	0,095	
Peón	2,00	4,23	8,460	0,01	0,085	
Maestro albañil	1,00	4,28	4,280	0,01	0,043	

PARCIAL N = 0,285 13,26%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Agua	m³	1,0000	0,85	0,850	

PARCIAL O = 0,850 39,55%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%

PARCIAL P = 0,000 0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	2,15	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	0,215	
OTROS INDIRECTOS 0%	0,107	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	2,471	
VALOR PROPUESTO	2,47	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROPONENTE : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI



PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,01

DETALLE: Cama de arena para protección y nivelación (e=5cm)

UNIDAD: m3

M- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Compactador mecánico	1,00	6,250	6,250	0,07	0,438	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,000	5,000		0,000	
PARCIAL M =					0,438	4,04%

N- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Peón	1,00	4,230	4,230	0,07	0,296	
Maestro albañil	1,00	4,280	4,280	0,07	0,300	
Maestro de obra	0,10	4,520	0,452	0,07	0,032	
PARCIAL N =					0,628	5,79%

O- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Arena corriente fina	m³	1,100	8,890	9,779	
Agua	m³	0,010	0,850	0,009	
PARCIAL O =				9,79	90,18%

P- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

10,85	100,00%
1,085	
0,543	
12,482	
12,48	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROPONENTE : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,02

DETALLE: Suministro e instalación de geotextil no tejido (200gr/m²)

UNIDAD: m²

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
GENERADOR ELECTRICO (4kW)	1,00	4,460	4,460	0,02	0,089	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%/maL)	1,00	5,000	5,000		0,017	
MAQUINA DE COSER INDUSTRIAL (PORTATIL)	1,00	20,000	20,000	0,02	0,400	
PARCIAL M =					0,506	20,14%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro mayor en ejecución obras civiles	1,00	4,750	4,750	0,02	0,095	
Peón	3,00	4,230	12,690	0,02	0,254	
PARCIAL N =					0,349	13,89%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Geotextil 220 g/m ² (protección)	m ²	1,100	1,50	1,650	
Hilo para coser (alta resistencia)	Rolo	0,005	1,48	0,007	
PARCIAL O =				1,657	65,96%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)
 INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%
 OTROS INDIRECTOS 0%
 COSTO TOTAL DEL RUBRO
 VALOR PROPUESTO

2,51	100,00%
0,251	
0,126	
2,885	
2,89	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROponente : CELINNE MEDINA & JOHAN MELENDRES
 OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,03

DETALLE: Suministro e instalación de geomembrana HDPE de 1mm

UNIDAD: m2

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
GENERADOR ELECTRICO (4kW)	1,00	4,460	4,460	0,06000	0,268	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%*mat.)	1,00	5,000	5,000		0,000	
Kit de termofusión (cuña + extrusora)	1,00	20,000	20,000	0,0600	1,200	
Kit de pruebas (Vacuum/Aire)	1,00	20,000	20,000	0,0600	1,200	
PARCIAL M =					2,668	30,21%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro mayor en ejecución obras civiles	1,00	4,75	4,750	0,06000	0,285	
Peón	2,00	4,23	8,460	0,06000	0,508	
Ayudante de soldadura	1,00	4,23	4,230	0,06000	0,254	
PARCIAL N =					1,047	11,86%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Geomembrana HDPE 1mm (lisa)	m ²	1,100	4,20	4,620	
Cordon de aporte HDPE (soldadura)	Rollo (5kg)	0,005	99,00	0,495	
Insumos varios (fijas, trapos, marcadores)	Global	0,001	1,00	0,001	
PARCIAL O =				5,12	57,93%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

8,83	100,00%
0,883	
0,442	
10,155	
10,16	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,04

DETALLE: Excavación y relleno de zanja de anclaje

UNIDAD: m

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,00	5,000		0,079	
PARCIAL M =					0,079	4,74%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro albañil	1,00	4,28	4,280	0,19	0,792	
Peón	1,00	4,23	4,230	0,19	0,783	
PARCIAL N =					1,575	94,48%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
Agua	m³	0,015	0,85	0,013		
PARCIAL O =					0,01	0,78%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	1,67	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	0,157	
OTROS INDIRECTOS 0%	0,083	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1,917	
VALOR PROPUESTO	1,92	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,05
 DETALLE: Replanteo

UNIDAD: m2

M.- EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
CONCRETERA	1,00	4,50	4,500	0,25	1,125	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,00	5,000		0,159	
PARCIAL M =					1,284	16,02%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro albañil	1,00	4,28	4,280	0,25	1,070	
Peón	2,00	4,23	8,460	0,25	2,115	
PARCIAL N =					3,185	39,74%

O.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
Cemento tipo HS saco	Saco	0,320	7,97	2,550		
Arena corriente fina	m³	0,030	8,89	0,267		
Ripio	m³	0,040	18	0,720		
Agua	m³	0,010	0,85	0,009		
PARCIAL O =					3,55	44,24%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	8,02	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	0,802	
OTROS INDIRECTOS 0%	0,401	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	9,218	
VALOR PROPUESTO	9,22	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,06

DETALLE: Encofrado y desencofrado

UNIDAD: m2

M.- EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,00	5,000		0,298	
	1,00					

PARCIAL M = 0,298 2,91%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Carpintero	1,00	4,28	4,280	0,70	2,996	
Ayudante de albañil	1,00	4,23	4,230	0,70	2,961	

PARCIAL N = 5,957 58,27%

O.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Clavos	Kg	0,250	1,03	0,258	
Cuarteros de encofrado	Unidad	0,350	4	1,400	
Tabla dura de encofrado de 0.3 m	Unidad	0,420	5,5	2,310	

PARCIAL O = 3,97 38,81%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%

PARCIAL P = 0,000 0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

10,22 100,00%

1,022

0,511

11,756

11,76

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,07

DETALLE: Hormigón simple f'c=210 kg/cm² (resistente a sulfatos)

UNIDAD: m3

M.- EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
CONCRETERA	1,00	4,50	4,500	0,50	2,250	
VIBRADOR	1,00	4,00	4,000	0,50	2,000	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)					1,487	
PARCIAL M =					5,737	4,78%

N.- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro albañil	3,00	4,28	12,840	0,50	6,420	
Ayudante de albañil	3,00	4,23	12,690	0,50	6,345	
Peón	6,00	4,23	25,380	0,50	12,690	
Operador equipo liviano	2,00	4,28	8,560	0,50	4,280	
				0,50		
PARCIAL N =					29,735	24,77%

O.- MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
Cemento tipo HS saco	Saco	8,500	7,97	67,745		
Arena corriente fina	m ³	0,470	8,89	4,178		
Ripio	m ³	0,670	18	12,060		
Agua	m ³	0,180	0,85	0,153		
Aditec Curinsol	Litro	0,200	2,2	0,440		
PARCIAL O =					84,58	70,45%

P.- TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	120,05	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	12,005	
OTROS INDIRECTOS 0%	6,002	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	138,055	
VALOR PROPUESTO	138,06	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,08

DETALLE: Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm²

UNIDAD: Kg

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%/mat.)	1,00	5,00	5,000		0,017	
	1,00					
PARCIAL M =					0,017	1,35%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro fierro	1,00	4,28	4,280	0,04	0,171	
Ayudante de fierro	1,00	4,23	4,230	0,04	0,169	
PARCIAL N =					0,340	26,94%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
Varilla de refuerzo fy=4200 kg/cm ²	Kg	1,050	0,810	0,851		
Alambre recocido #18	kg	0,025	1,760	0,044		
Separadores (palletas)	Unidad	0,100	0,100	0,01		
PARCIAL O =					0,91	71,71%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	1,26	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	0,126	
OTROS INDIRECTOS 0%	0,063	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1,451	
VALOR PROPUESTO	1,45	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,09

DETALLE: Instalacion de Cinta waterstop

UNIDAD: m

M.- EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Plancha de termofusión (alquiler)	1,00	2,00	2,000	0,32	0,640	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%/maL)	0,05	5,00	0,250		0,136	
PARCIAL M =					0,776	4,42%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro fierro	1,00	4,28	4,280	0,32	1,370	
Ayudante de fierro	1,00	4,23	4,230	0,32	1,354	
PARCIAL N =					2,724	15,51%

O.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
Cinta de PVC Water stop (15cm/ 6")	Metro	1,050	12,6	13,230		
Grapas	Unidad	4,000	0,2	0,800		
Alambre recocido #18	kg	0,020	1,75	0,035		
PARCIAL O =					14,07	80,07%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

17,57	100,00%
1,757	
0,878	
20,200	
20,20	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,1

DETALLE: Tapas de hormigón armado con marco metálico

UNIDAD: unidad

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Soldadora eléctrica	1,00	1,98	1,980	2,00	3,960	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)					0,000	
PARCIAL M =					3,960	5,67%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro soldador especializado	1,00	4,75	4,750	2,00	9,500	
Maestro albañil	1,00	4,28	4,280	2,00	8,560	
Ayudante de soldadura	1,00	4,23	4,230	2,00	8,460	
PARCIAL N =					26,520	37,98%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Perfiles A36 (angulos/platina)	Kg	12,500	1,450	18,125	
Hormigón f _c =210 kg/cm ² (apto sulfatos)	m ³	0,040	138,060	5,522	
Acero de refuerzo	kg	5,000	1,200	6,000	
Pintura Epóxica + Catalizador + Diluyente (Kit epoxico poliamina bco)	Galón	0,100	46,970	4,697	
Agarraderas de acero liso	Unidad	2,000	2,500	5,000	
PARCIAL O =				39,34	56,35%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

69,82	100,00%
6,982	
3,491	
80,297	
80,30	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,11

DETALLE: Desarenador Parshall

UNIDAD: unidad

M.- EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)		5,00	0,000		13,952	
CONCRETERA	1,00	4,50	4,500	20,00	90,000	
VIBRADOR	1,00	4,00	4,000	20,00	80,000	

PARCIAL M = 183,952 7,15%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro mayor en ejecucion obras civiles	1,00	4,75	4,75	16,000	76,000	
Peón	3,00	4,23	12,69	16,000	203,040	
Maestro albañil	2,00	4,28			0,000	

PARCIAL N = 279,040 10,85%

O.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Hormigón f _c =210 kg/cm ² (apto sulfatos)	m ³	6,500	138,060	897,390	
Acero de refuerzo f _y =4200 kg/cm ²	kg	550,000	1,450	797,500	
Madera de encofrado	Unidad	1,000	4,000	4,000	
Cinta de PVC Water stop (15cm/ 6")	Metro	15,000	12,600	189,000	
Regletas de acero	Unidad	1,000	150,000	150,000	
Tubería limpieza PVC 110mm	m	3,000	12,000	36,000	
Aditivo impermeabilizante	Kg	7,000	5,000	35,000	

PARCIAL O = 2108,89 82,00%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%

PARCIAL P = 0,000 0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	2571,88	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	257,188	
OTROS INDIRECTOS 0%	128,594	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	2,957,664	
VALOR PROPUESTO	2,957,66	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,12

DETALLE: Suministro e instalación de rejillas de cribado

UNIDAD: unidad

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Soldadora Inverter	1,00	2,00	2,000	4,00	8,000	
Amoladora	1,00	4,30	4,300	4,00	17,200	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%/maL)		5,00			1,796	

PARCIAL M = 26.996 7,91%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro soldador especializado	1,00	4,75	4,750	4,00	19,000	
Ayudante de soldadura	1,00	4,23	4,230	4,00	16,920	
	0,00					

PARCIAL N = 35.920 10,52%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Pletina Acero Inoxidable 304 (1/4" x 1 1/2")	Kg	25,000	7,500	187,500	
Ángulo Acero Inoxidable 304	Kg	8,000	7,500	60,000	
Electrodos Inox E308L	Kg	1,000	12,000	12,000	
Pernos de Anclaje Inox (Expansivos)	Unidad	4,000	3,500	14,000	
Discos de corte/destaste	Unidad	2,000	2,500	5,000	

PARCIAL O = 278,500 81,57%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%

PARCIAL P = 0,000 0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

341,42	100,00%
34,142	
17,071	
392,629	
392,63	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,13

DETALLE: Suministro y colocación de grava filtrante.

UNIDAD: m3

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
MINICARGADORA	1,00	25,00	25,000	0,02	0,500	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%matL)	1,00				0,000	
PARCIAL M =					0,500	3,41%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro de obra	0,50	4,52	2,260	0,02	0,045	
Peón	3,00	4,23	12,690	0,02	0,254	
PARCIAL N =					0,299	2,04%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
Grava de río clasificada (puesta en obra)	m³	1,150	12,000	13,800		
Agua	m³	0,100	0,850	0,085		
PARCIAL O =					13,885	94,56%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

14,68	100,00%
1,468	
0,734	
16,886	
16,89	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,14

DETALLE: Siembra de macrófitas (typha domingensis) FALTA

UNIDAD: m2

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mal)	1,00				0,008	

PARCIAL M = 0,008 0,68%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Peón	4,00	4,23	16,920	0,01	0,169	

PARCIAL N = 0,169 14,36%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Rizomas de Tolora (Plantas vivas)	Unidad/Macolla	4,000	0,250	1,000	

PARCIAL O = 1,000 84,96%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%

PARCIAL P = 0,000 0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	1,18	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	0,118	
OTROS INDIRECTOS 0%	0,055	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1,354	
VALOR PROPUESTO	1,35	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,15

DETALLE: Tubería PVC perfilada (interconexiones).

UNIDAD: m

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00				0,130	
	1,00					
PARCIAL M =					0,130	0,70%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro de obra	1,00	4,52	4,520	0,20	0,904	
Peón	2,00	4,23	8,460	0,20	1,692	
PARCIAL N =					2,596	14,00%

D.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
Tubería PVC Novafort 250mm- metro lineal	METRO	1,100	14,000	15,400		
Lubricante vegetal	Kg	0,005	7,500	0,038		
Camá de arena para protección y nivelación (e=5cm)	m³	0,030	12,480	0,374		
PARCIAL O =					15,81	85,30%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)
 INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%
 OTROS INDIRECTOS 0%
 COSTO TOTAL DEL RUBRO
 VALOR PROPUESTO

18,54	100,00%
1,854	
0,927	
21,319	
21,32	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI



PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,16

DETALLE: Valvulas, compuertas y accesorios

UNIDAD: unidad

M.- EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,00			0,851	
PARCIAL M =					0,851	0,05%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Gasfitero/Piomero	1,00	4,28	4,280	2,00	8,560	
Ayudante de gasfitero	1,00	4,23	4,230	2,00	8,460	
PARCIAL N =					17,020	1,13%

O.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Válvula de Compuerta Hierro ductil 250mm (10")	Unidad	1,000	971,770	971,770	
Adaptador de brida universal (unir tubo-válvula 250mm)	Unidad	2,000	247,650	495,300	
Frenos de acero inoxidable + tuercas	Jgo	1,000	25,000	25,000	
PARCIAL O =				1492,07	98,82%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	1599,94	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	150,994	
OTROS INDIRECTOS 0%	75,497	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1.736.432	
VALOR PROPUESTO	1.736,43	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 4.01

DETALLE: Estructuras metálicas varias (pasarelas, escaleras, barandas).

UNIDAD: Kg

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
MOTONIVELADORA (140G/K)	1,00	45,00	45,000	0,04	1,800	
RODILLO VIBRADOR INGERSOLL RAND 112-HP	1,00	35,00	35,000	0,04	1,400	
TANQUERO	1,00	20,00	20,000	0,04	0,800	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)					0,023	
PARCIAL M =					4,023	50,38%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro soldador especializado	1,00	4,75	4,750	0,05	0,238	
Ayudante de albañil	1,00	4,23	4,230	0,05	0,212	
PARCIAL N =					0,450	5,63%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Pernos de acero inoxidable + tuercas	Jgo	0,020	25,000	0,500	
Acero estructural A36	Kg	1,050	1,800	1,890	
Galvanizado en caliente	Kg	1,000	0,800	0,800	
Discos de corte/tesbaste	Unidad	0,050	2,500	0,125	
Electrodos	Kg	0,050	4,000	0,200	
PARCIAL O =				3,520	44,00%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

	7,99	100,00%
	0,799	
	0,399	
	9,188	
	9,18	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 5.01

DETALLE: CAPA DE RODADURA DE MATERIAL GRANULAR (LASTRE)

UNIDAD: m3

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
MOTONIVELADORA (140G/K)	1,00	45,00	45,000	0,04	1,800	
RODILLO VIBRADOR INGERSOLL RAND 112HP	1,00	35,00	35,000	0,04	1,400	
TANQUERO	1,00	20,00	20,000	0,04	0,800	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)					0,036	
PARCIAL M =					4,036	17,05%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Operador equipo pesado	2,00	4,75	9,500	0,04	0,380	
Conductor profesional	1,00	4,15	4,150	0,04	0,166	
Ayudante de albañil	1,00	4,23	4,230	0,04	0,169	
PARCIAL N =					0,715	3,02%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Material de mejoramiento (lastre)	m³	1,250	15,000	18,750	
Agua	m³	0,200	0,850	0,170	
PARCIAL O =				18,92	79,93%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

23,67	100,00%
2,367	
1,184	
27,222	
27,22	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 5,02

DETALLE: Cabezal de descarga de hormigón armado.

UNIDAD: unidad

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Excavadora de oruga	1,00	55,00	55,00	0,40	22,000	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mal)	1,00				1,702	
PARCIAL M =					23,702	9,51%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro albañil	4,00	4,28	17,120	1,00	17,120	
Peón	4,00	4,23	16,920	1,00	16,920	
PARCIAL N =					34,040	13,66%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Hormigón f'c=210 kg/cm² (apto sulfatos)	m³	0,800	138,060	110,448	
Acero de refuerzo	kg	60,000	1,200	72,000	
Madera de encofrado	Unidad	1,000	4,000	4,000	
Aditivo impermeabilizante	Kg	1,000	5,000	5,000	
PARCIAL O =				191,45	76,83%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	249,19	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	24,919	
OTROS INDIRECTOS 0%	12,460	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	286,569	
VALOR PROPUESTO	286,57	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 5,03

DETALLE: ENROCADO DE PROTECCION (ESCOLLERA)

UNIDAD: m3

M- EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Excavadora de oruga	1,00	55,00	55,00	0,40	22,000	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00				0,349	
PARCIAL M =					22,349	42,39%

N- MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Operador equipo pesado	1,00	4,75	4,75	0,40	1,900	
Peón	2,00	4,23	8,46	0,40	3,384	
Ayudante de albañil	1,00	4,23	4,23	0,40	1,692	
PARCIAL N =					6,976	13,23%

O- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Piedra escollera (300-500 mm)	m³	1,100	18,000	19,800	
Geotextil 220 g/m² (protección)	m²	2,400	1,500	3,600	
PARCIAL O =				23,40	44,38%

P- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	52,73	100,00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%	5,273	
OTROS INDIRECTOS 0%	2,636	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	60,634	
VALOR PROPUESTO	60,63	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 5,04

DETALLE: CERRAMIENTO PERIMETRAL

UNIDAD: m

M- EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,00			0,170	
PARCIAL M =					0,170	0,14%

N- MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNALHR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro albañil	1,00	4,28	4,28	0,27	1,143	
Peón	2,00	4,23	8,46	0,27	2,259	
PARCIAL N =					3,402	2,86%

O- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Postes de Hormigón Prefabricado (cerramiento)	Unidad	14,000	5,860	82,040	
Alambre galvanizados clase 3 (triple zinc)	m	5,500	5,500	30,250	
Hormigón f'c=210 kg/cm ² (apto sulfatos)	m ³	0,020	138,060	2,761	
Grapas galvanizadas	lb	0,100	2,500	0,250	
PARCIAL O =				115,30	97,00%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

118,87	100,00%
11,887	
5,944	
136,704	
136,70	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 6.01

DETALLE: ACOMETIDA ELECTRICA (INCLUYE MURETE)

UNIDAD: unidad

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,00	5,00	0,40	2,000	
	1,00				1,403	
PARCIAL M =					3,403	1,53%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro albañil	8,00	4,28	34,24	0,40	13,696	
Maestro eléctrico	4,00	4,75	19,00	0,40	7,600	
Ayudante de electricista	4,00	4,23	16,92	0,40	6,768	
PARCIAL N =					28,064	12,64%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Kit murete (ladrillos, cemento, arena)	Glb	1,000	45,000	45,000	
Base Socket 100A 4 terminales (monofasica)	Unidad	1,000	15,000	15,000	
Caja Térmica NEMA 3R (intemperie) 8-16 circuitos	Unidad	1,000	40,850	40,850	
Disyunto principal 2 polos 50A (GE tipo THQP)	Unidad	1,000	18,250	18,250	
Válvula Copperweld + Conector (5/8" x 1.80m con conector de bronce)	Unidad	1,000	6,500	6,500	
Tubería Conduit PVC Pesado	Tubo (3m)	1,000	1,180	1,180	
Cable Concéntrico (Acometida)	Metro	10,000	6,370	63,700	
PARCIAL O =				190,48	85,82%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

221,95	100,00%
22,195	
11,097	
255,239	
255,24	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 6,02

DETALLE: SISTEMA DE ILUMINACION EXTERIOR (POSTES + LED)

UNIDAD: Unidad

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Camion grua	2,00	40,00	80,00	0,25	20,000	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%*mat.)	1,00				0,225	
PARCIAL M =					20,225	5,04%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro electrico	2,00	4,75	9,50	0,25	2,375	
Ayudante de electricista	2,00	4,23	8,46	0,25	2,115	
PARCIAL N =					4,490	1,12%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
Postes de Hormigón Prefabricado (cerramiento)	Unidad	1,100	5,860	6,446	
Luminaria LED Exterior (100W-150W)	Unidad	1,000	17,990	17,990	
Brazo Metálico Galvanizado 1.2m	U	1,000	25,000	25,000	
Cable THHN (Iluminación)	Metro	1,000	0,390	0,390	
Fotocélula+Base	U	12,000	26,000	312,000	
Abrazaderas y cinta bandit	Glo	1,000	15,000	15,000	
PARCIAL O =				376,83	93,84%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PARCIAL P =				0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

401,54	100,00%
40,154	
20,077	
461,772	
461,77	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 6.03

DETALLE: SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD

UNIDAD: unidad

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%mat.)	1,00	5,00			0,255	
	1,00					
PARCIAL M =					0,255	0,46%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro albañil	1,00	4,28	4,28	0,40	1,712	
Ayudante de albañil	2,00	4,23	8,46	0,40	3,384	
	1,00					
PARCIAL N =					5,096	9,15%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
Señalética Metal/Reflectiva (40x60)	U	1,000	25,000	25,000		
Tubo HG 2" x 3m (Soporte)	U	1,000	18,000	18,000		
Hormigón f'c=210 kg/cm ² (apto sulfatos)	m ³	0,030	138,060	4,142		
Pernos y abrazaderas	Glb	1,000	3,000	3,000		
PARCIAL O =					50,14	90,36%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

55,49	100,00%
5,545	
2,775	
63,817	
63,82	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA : PTAR MANCOMUNA MONTEVERDE JAMBELI

PROYECTO: CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 7.01

DETALLE: LIMPIEZA FINAL DE LA OBRA

UNIDAD: glo

M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
VOLOQUETA 8M³	4,00	40,00	160,00	1,00	0,429	
HERRAMIENTAS MENORES TIPO 1. (%/mat.)	1,00					
PARCIAL M =					0,429	0,81%

N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
Maestro de obra	1,00	4,52	4,52	0,40	1,808	
Peón	4,00	4,23	16,92	0,40	6,768	
PARCIAL N =					8,576	16,15%

O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
Agua	m³	50,000	0,850	42,500		
Sacos de polipropileno	Unidad	4,000	0,400	1,600		
PARCIAL O =					44,10	83,04%

P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
PARCIAL P =					0,000	0,00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

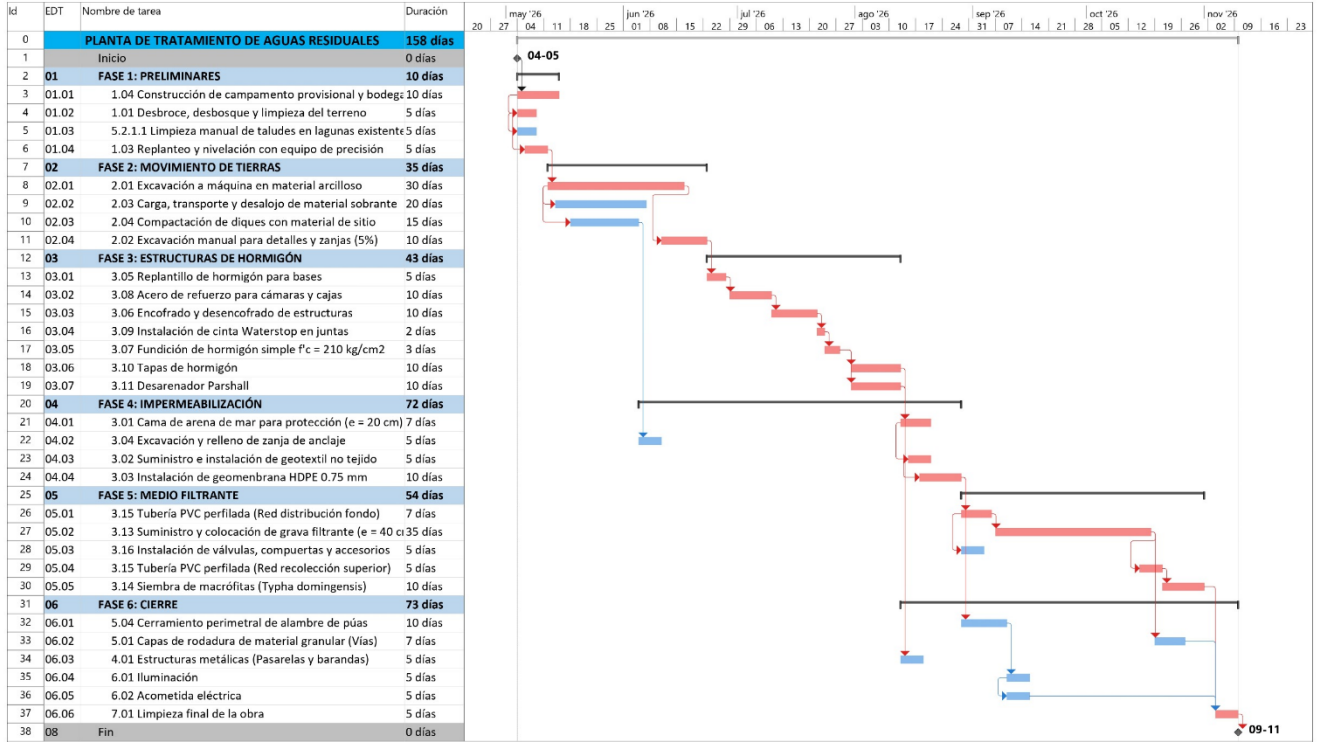
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0%

OTROS INDIRECTOS 0%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

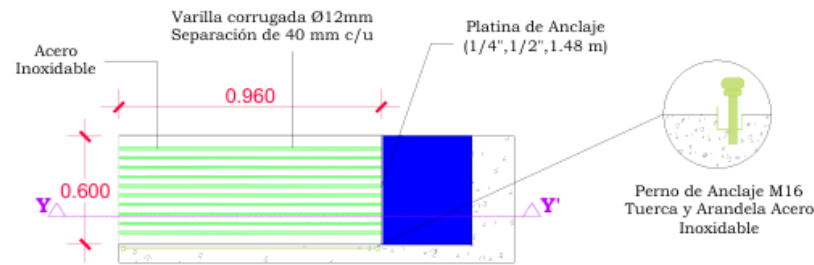
VALOR PROPUESTO

53,11	100,00%
5,311	
2,655	
61,071	
61,07	

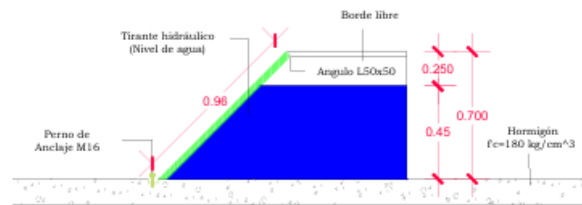


Proyecto: PLANTA DE TRATAM Fecha: jue 15-01-26	Tarea	Tarea inactiva	Informe de resumen manual	Hito externo	Progreso manual
	División	Hito inactivo	Resumen manual solo el comienzo	Fecha límite	Tareas críticas
	Hito	Resumen inactivo	Resumen manual solo fin	Tareas externas	División crítica
	Resumen	Tarea manual	Tareas externas	Progreso	
Resumen del proyecto	solo duración				

PLANO 1



REJILLA VISTA PLANTA
Escala: 1:1



REJILLA CORTE LONGITUDINAL (Y - Y')
Escala: 1:1

Datos:

- Tirante del canal = 0.45 m
- Borde libre = 0.250 m
- Altura total canal Rejilla = 1.050 m
- Hormigón f'c = 180 kg/cm³
- Número de espacios= 11
- Número de barras= 10
- Velocidad a través de rejilla = 0.585 m/s

Nota:

Rejilla de Limpieza Manual:

La rejilla está diseñada para la retención de sólidos gruesos presentes en las aguas residuales. La limpieza debe realizarse manualmente, de acuerdo con la frecuencia determinada por el operador de la planta (recomendación al menos una vez a la semana o cada dos días, si existe gran acumulación), para evitar obstrucciones en el flujo y asegurar la eficiencia del sistema de tratamiento.

El personal debe realizar inspecciones diarias para asegurar el buen funcionamiento de la rejilla y la eficiencia del tratamiento.

MACROUBICACIÓN

MICROUBICACIÓN

IMPLANTACIÓN GENERAL

SIMBOLOGÍA

	Hormigón f'c = 180 kg/cm³
	Agua
	Rejilla, varilla corrugada (12 mm)
	Pernos de anclaje
	Cotas
	Cortes
	Platina de Anclaje
	Angulo L50X50

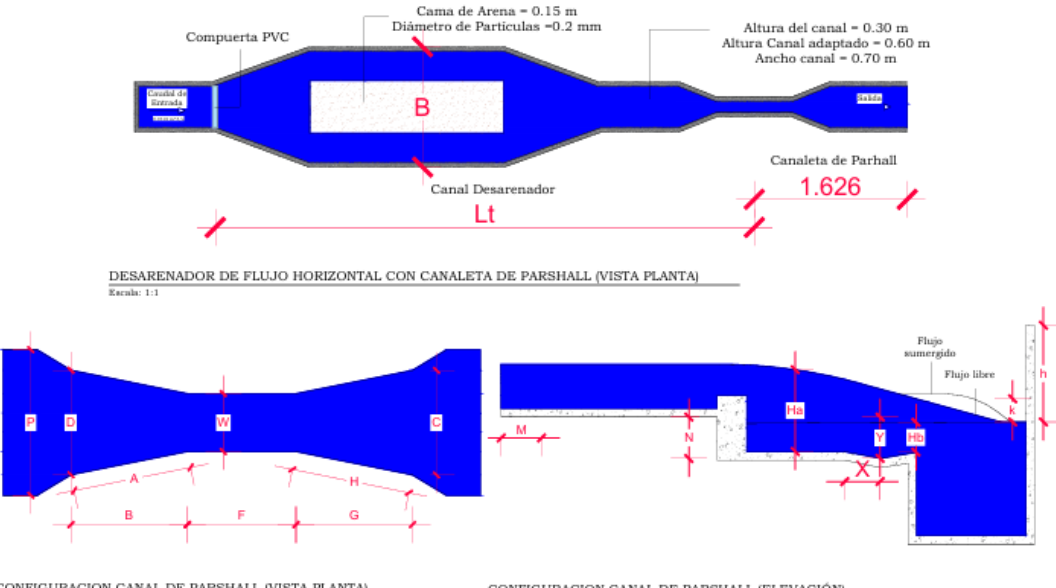
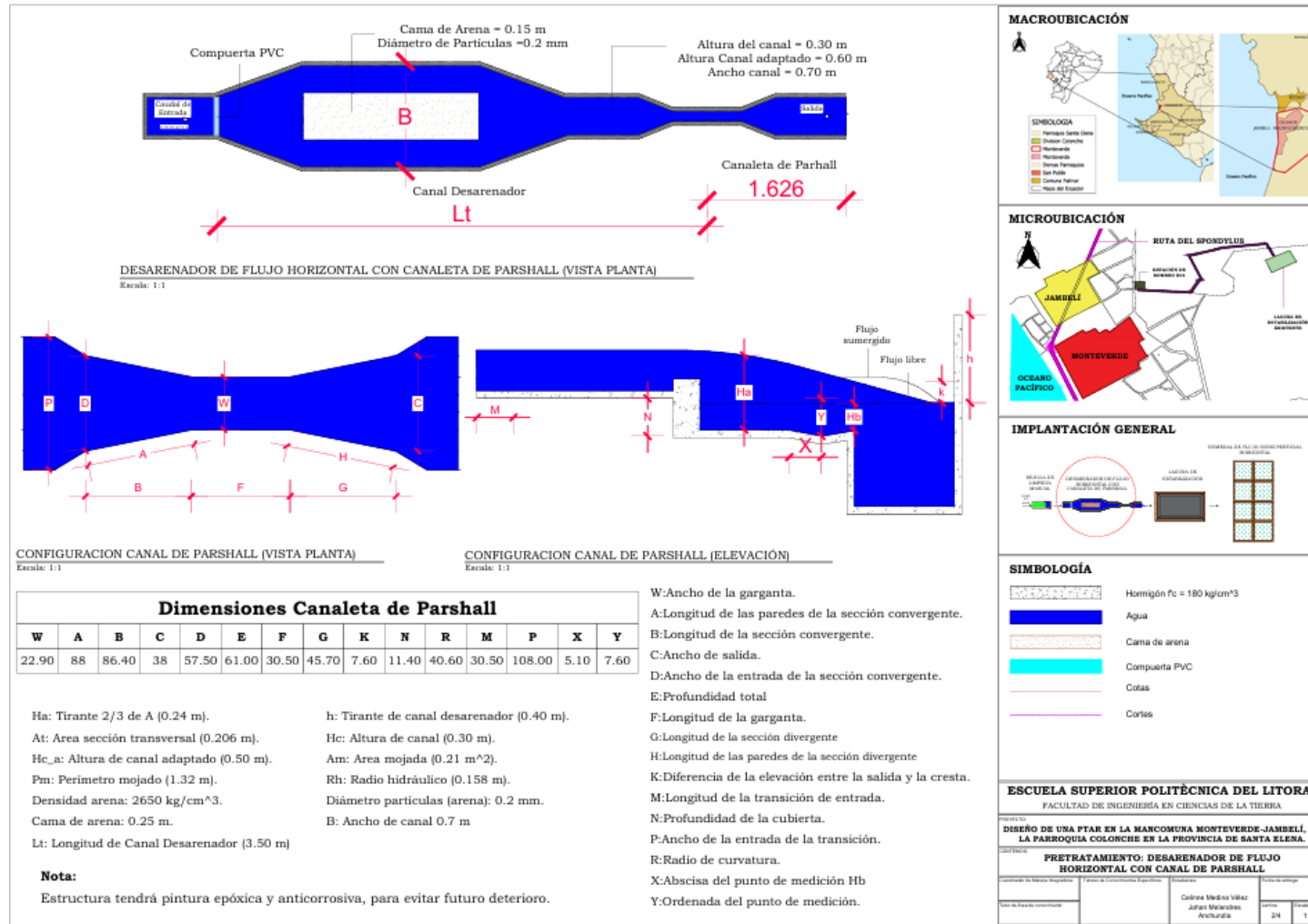
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:
DISEÑO DE UNA PTAR EN LA MANCOMUNA MONTEVERDE-JAMEBLÉ, EN LA PARROQUIA COLORCHE EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA.

LABORATORIO:
PRETRATAMIENTO: REJILLA

Coordinador de Materia Ingeniería:	Facultad de Ingeniería (Departamento):	Asignatura:	Formato entrega:
Nombre de la(s) estudiante(s):		Celina Macías Vilco Johan Macías Anabella	11/14 11/8 11/14

PLANO 2



Dimensiones Canaleta de Parshall

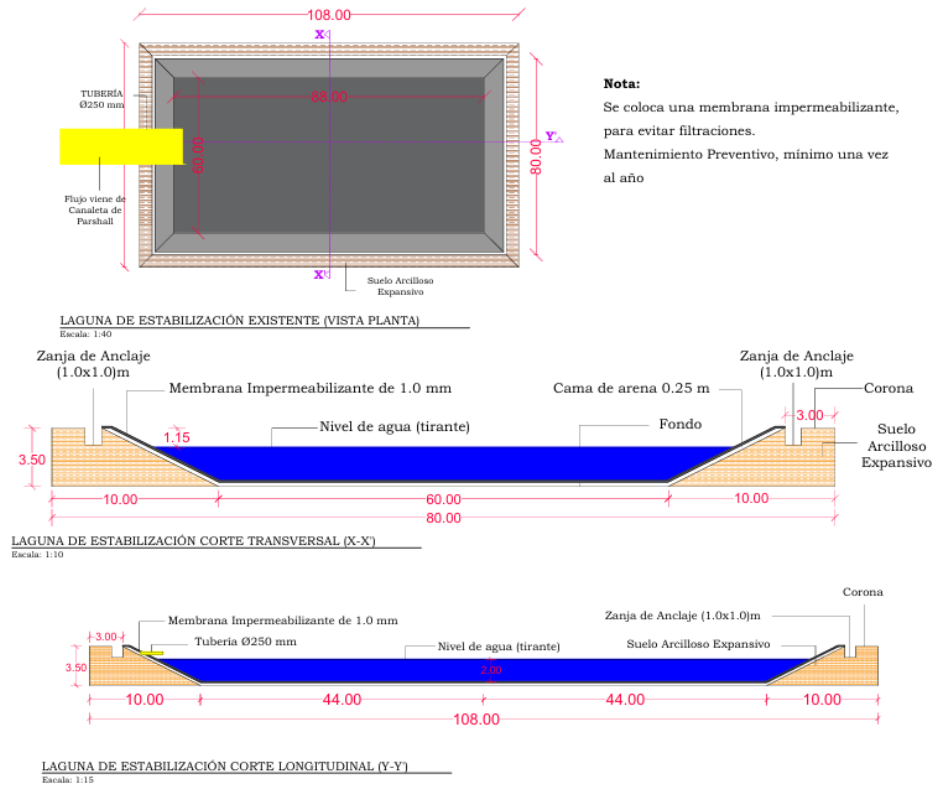
W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y
22.90	88	86.40	38	57.50	61.00	30.50	45.70	7.60	11.40	40.60	30.50	108.00	5.10	7.60

Ha: Tirante 2/3 de A (0.24 m).
At: Area sección transversal (0.206 m).
Hc,a: Altura de canal adaptado (0.50 m).
Pm: Perímetro mojado (1.32 m).
Densidad arena: 2650 kg/cm³.
Cama de arena: 0.25 m.
Lt: Longitud de Canal Desarenador (3.50 m)

h: Tirante de canal desarenador (0.40 m).
Hc: Altura de canal (0.30 m).
Am: Area mojada (0.21 m²).
Rh: Radio hidráulico (0.158 m).
Diámetro partículas (arena): 0.2 mm.
B: Ancho de canal 0.7 m

- W: Ancho de la garganta.
- A: Longitud de las paredes de la sección convergente.
- B: Longitud de la sección convergente.
- C: Ancho de salida.
- D: Ancho de la entrada de la sección convergente.
- E: Profundidad total
- F: Longitud de la garganta.
- G: Longitud de la sección divergente
- H: Longitud de las paredes de la sección divergente
- K: Diferencia de la elevación entre la salida y la cresta.
- M: Longitud de la transición de entrada.
- N: Profundidad de la cubierta.
- P: Ancho de la entrada de la transición.
- R: Radio de curvatura.
- X: Abscisa del punto de medición Hb
- Y: Ordenada del punto de medición.

PLANO 3

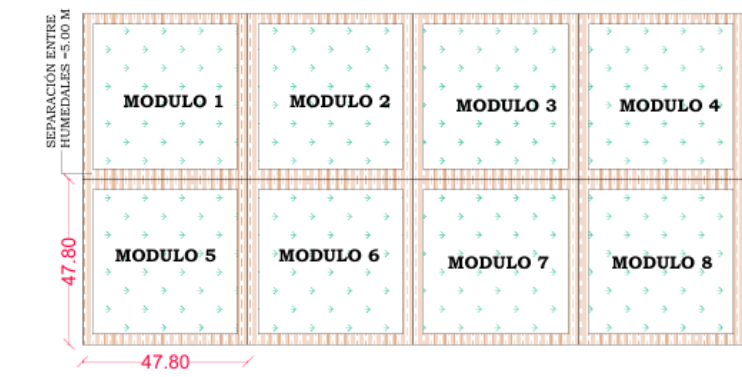


Nota:
Se coloca una membrana impermeabilizante, para evitar filtraciones.
Mantenimiento Preventivo, mínimo una vez al año

Nota:
Relación de Taludes 1V:2H
Dimensiones de Laguna Existente (Sobredimensionada), pero ubicadas en el lugar idóneo.
Cama de arena (Obtenida de la playa).
Temperatura media a la que va a estar expuesta la laguna 24.2 °C

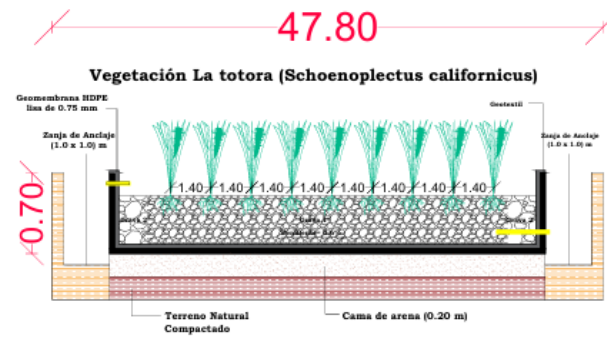


PLANO 4

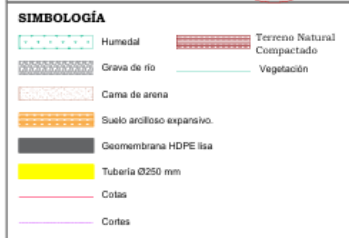
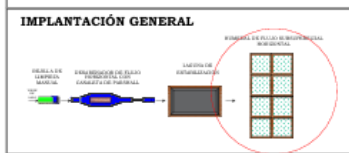


HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL (VISTA PLANTA, MODULOS)
Escala: 1:20

- Nota:**
- Relación 1H:1V (sin taludes)
 - Grava de río (propio de la comuna)
 - Cama de arena (obtenida de la comuna)
 - Terreno Compactado Natural (Arcilla expansiva)



HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL CORTE (1 MODULO)
Escala: 1:15



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

DISEÑO DE UNA PTAR EN LA MANCOMUNA MONTEVERDE-JUMBEL, EN LA PARROQUIA COLORCHE EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA.

TRATAMIENTO SECUNDARIO: HUMEDAL FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

Coordinador de Materia Integradora	Profesores de Convocatoria Específica	Alumnos	Fecha de entrega
Área de Asesoría y Orientación	Colina Medina Vélaz Johan Maldonado Arcabuzá	Colina Medina Vélaz Johan Maldonado Arcabuzá	4/4 IND.