



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE FACULTAD DE INGENIERIA DE
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERIA CIVIL**

TEMA

**EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS PARA
EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

TUTOR

PH.D MARCIAL CALERO AMORES

AUTORES

**FERNANDO RODRIGO ANCHUNDIA CALVA
BYRON ANTONIO CERCADO MIRANDA**

GUAYAQUIL

2025

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
AUTOR/ES: FERNANDO RODRIGO ANCHUNDIA CALVA BYRON ANTONIO CERCADO MIRANDA.	TUTOR: PH.D MARCIAL CALERO AMORES
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: INGENIERIA CIVIL
FACULTAD: FACULTAD DE FACULTAD DE INGENIERIA DE INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2025	N. DE PÁGS: 135
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción	
PALABRAS CLAVE: Diseño arquitectónico, Diseño estructural, Ingeniería civil, Ingeniería sísmica, Operación de construcción	
RESUMEN: El proyecto de desarrollo de Valles de Beata en Guayaquil no tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales, lo que provoca riesgos para la salud del medio ambiente. Este estudio evaluó dos soluciones de tratamiento desde una perspectiva técnica, económica y ambiental: una depuradora compacta de aguas residuales (tecnología INTAL) y un sistema de fangos activados (CODEMET), así como dos opciones de red de alcantarillado (canalización horizontal de HDPE y zanja abierta con	

tubería de PVC). La metodología incluyó un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), análisis hidráulico, presupuestos detallados y la aplicación de la matriz de impacto ambiental de Leopold. Los resultados demostraron que la combinación de la depuradora de aguas residuales INTAL y la tubería de HDPE es la alternativa más viable, con una eficiencia de tratamiento del 85% al 90%, una vida útil de 50 años y el menor impacto ambiental. La inversión inicial estimada es de aproximadamente 269.600 USD para la planta de tratamiento y 190.074 USD para la red de alcantarillado, cuyos costes anuales de mantenimiento oscilan entre los 2.000 USD y los 3.700 USD. Esta solución cumple con la normativa local vigente y ofrece sostenibilidad a largo plazo. Se recomienda su implantación, acompañada de un plan de gestión ambiental y formación para los operadores locales.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	SI ☒	NO ☐
CONTACTO CON AUTOR/ES: FERNANDO RODRIGO ANCHUNDIA CALVA BYRON ANTONIO CERCADO MIRANDA.	Teléfono: 0994718937 0997206917	E-mail: fanchundiac@ulvr.edu.ec bcercadomi@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	PhD. Marcial Calero Amores (Decano de la Facultad) Teléfono: 042596500 Ext. 241 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Título. Mgtr. Jorge Enrique Torres Rodríguez (Director de Carrera) Teléfono: 042596500 Ext. 241 E-mail: etorres@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE SIMILITUD

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TT_2025A_ANCHUNDIA -
CERCADO

6%
Textos
sospechosos

1% Similitudes

0% similitudes entre comillas

0% entre las fuentes mencionadas

5% Idiomas no reconocidos (ignorado)

5% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TT_2025A_ANCHUNDIA - CERCADO.pdf	Depositante: Marcial Calero	Número de palabras: 22.286
ID del documento: 74a76ccb551821009e65cd93c36604abae16c864	Fecha de depósito: 17/8/2025	Número de caracteres: 148.344
Tamaño del documento original: 5,35 MB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 17/8/2025	



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.guayaquil.gob.ec https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/UPFE-CAF/UPFE 2024/PE-MI... 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (90 palabras)
2	www.guayaquil.gob.ec https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/UPFE-CAF/UPFE 2024/PE-MI... 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (84 palabras)
3	noesis.uis.edu.co https://noesis.uis.edu.co/bitstreams/6895c273-0f1a-4ef4-9a57-2982325fb629/download 23 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (47 palabras)
4	hdl.handle.net Evaluación económica de un sistema de tratamiento de aguas r... https://hdl.handle.net/10893/7150 20 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
5	1library.co Velocidades Máximas, Mínimas, Diámetros, Pendientes y Profundida... https://1library.co/article/velocidades-maximas-minimas-diametros-pendientes-y-profundida... 20 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	localhost Evaluación y propuesta de mejora del sistema de tratamiento de agua... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/redug/32739/3/Tesina PORTILLA ALLAN corregido Salto...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
2	doi.org Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Man... https://doi.org/10.3390/su151410940	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
3	hdl.handle.net Elaboración de una guía para el diseño de plantas de tratamient... https://hdl.handle.net/10656/13628	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	repositorio.upsc.edu.pe Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residua... http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/749	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (15 palabras)
5	Documento de otro usuario #65b910 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32131553/
2	http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/241
3	https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-018-0266-0
4	https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a
5	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722006477?via



Firmado electrónicamente por:
**MARCIAL SEBASTIAN
CALERO AMORES**
Validar únicamente con FirmaEC

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El(Los) estudiante(s) egresado(s) Fernando Rodrigo Anchundia Calva y Byron Antonio Cercado Miranda, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma:



FERNANDO RODRIGO ANCHUNDIA CALVA

C.I. 0923523708

Firma:



BYRON ANTONIO CERCADO MIRANDA

C.I.0920391844

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de INGENIERIA DE INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Titulación EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, presentado por el (los) estudiante (s) FERNANDO RODRIGO ANCHUNDIA CALVA Y BYRON ANTONIO CERCADO MIRANDA como requisito previo, para optar al Título de INGENIERIA CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

PH.D MARCIAL CALERO AMORES

C.C. 0905197869

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios y a mi familia por su apoyo incondicional durante cada etapa de este proceso. Del mismo modo, expreso mi gratitud a mis docentes y tutores, quienes con sus orientaciones y conocimientos hicieron posible la culminación de esta tesis.

Fernando Rodrigo Anchundia Calva

Expreso mi sincero agradecimiento a mi familia, por su constancia, motivación y comprensión a lo largo de mi formación profesional. También agradezco a las autoridades y docentes de la institución por brindar las herramientas necesarias que me permitieron desarrollar este trabajo de titulación.

Byron Antonio Cercado Miranda.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, por su paciencia, apoyo y comprensión durante todo este proceso. Sin su amor y motivación, este logro no habría sido posible.

Fernando Rodrigo Anchundia Calva

Doy gracias a mis hijos y seres queridos, quienes me inspiraron y me dieron la fuerza necesaria para superar cada desafío y culminar con éxito esta etapa académica.

Byron Antonio Cercado Miranda.

RESUMEN

El proyecto de desarrollo de Valles de Beata en Guayaquil no tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales, lo que provoca riesgos para la salud del medio ambiente. Este estudio evaluó dos soluciones de tratamiento desde una perspectiva técnica, económica y ambiental: una depuradora compacta de aguas residuales (tecnología INTAL) y un sistema de fangos activados (CODEMET), así como dos opciones de red de alcantarillado (canalización horizontal de HDPE y zanja abierta con tubería de PVC). La metodología incluyó un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), análisis hidráulico, presupuestos detallados y la aplicación de la matriz de impacto ambiental de Leopold. Los resultados demostraron que la combinación de la depuradora de aguas residuales INTAL y la tubería de HDPE es la alternativa más viable, con una eficiencia de tratamiento del 85% al 90%, una vida útil de 50 años y el menor impacto ambiental. La inversión inicial estimada es de aproximadamente 269.600 USD para la planta de tratamiento y 190.074 USD para la red de alcantarillado, cuyos costes anuales de mantenimiento oscilan entre los 2.000 USD y los 3.700 USD. Esta solución cumple con la normativa local vigente y ofrece sostenibilidad a largo plazo. Se recomienda su implantación, acompañada de un plan de gestión ambiental y formación para los operadores locales.

Palabras clave: Diseño arquitectónico, Diseño estructural, Ingeniería civil, Ingeniería sísmica, Operación de construcción

ABSTRACT

The Valles de La Beata in Guayaquil lacks a wastewater treatment system, causing flooding, structural damage, and health risks. This study evaluated two treatment alternatives from a technical, economic, and environmental perspective: a compact wastewater treatment plant (INTAL) and an activated sludge system (CODEMET), as well as two remediation options (horizontal HDPE channeling and open trench with PVC pipe). The methodology included a mixed approach (qualitative and quantitative), hydraulic analysis, detailed budgets, and the Leopoldo Environmental Impact Matrix. The results demonstrated that the combination of the INTAL wastewater treatment plant and HDPE pipe is the most viable alternative, with a treatment efficiency of 85% to 90%, a 50-year lifespan, and the lowest environmental impact. The estimated initial investment is approximately USD 269,600 for the wastewater treatment plant and USD 190,074 for the sewer system, with annual maintenance costs ranging from USD 2,000 to USD 3,700. This solution complies with local regulations and offers long-term sustainability. Its implementation is recommended, accompanied by an environmental management plan and training for local operators.

Keywords: Architectural design, Structural design, Civil engineering, Seismic engineering, Construction operation

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I ENFOQUE DE LA PROPUESTA	3
1.1 Tema	3
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.3 Formulación del Problema	5
1.4 Objetivo General.....	5
1.5 Objetivos Específicos	5
1.6 Hipótesis.....	6
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	6
CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL	7
2.1 Marco Teórico.....	7
2.1.1 Antecedentes	7
2.1.2 Aguas residuales.....	10
2.1.3 Tratamiento de aguas residuales	10
2.1.4 Etapas del proceso tratamiento de aguas residuales	11
2.1.5 Propiedades físicas y bioquímicas de las aguas residuales	15
2.1.6 Parámetros principales para la caracterización de las aguas residuales	16
2.2 Marco Legal.....	21
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador	21
2.2.2 Código Orgánico del Ambiente (COA).....	21
2.2.3 Texto Unificado De Legislación Secundaria De Medio Ambiente	23
CAPÍTULO III.....	25
MARCO METODOLÓGICO.....	25
3.1 Enfoque de la investigación	25
3.2 Alcance de la presente investigación	25
3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos.....	26
3.4 Población y muestra	28
CAPÍTULO IV	39
PROPUESTA O INFORME.....	39

4.1	Presentación y análisis de resultados	39
4.1.1	Sistema de recolección hidráulica	39
CONCLUSIONES		95
RECOMENDACIONES		96
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA		97
ANEXOS.....		102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la urbanización Valles de la Beata y de la PTAR .	30
Figura 2 Corte transversal de sistema de tuberías frente a Valles de la Beata	52
Figura 3 Instalación horizontal de tubería HDPE	53
Figura 4 <i>Tubería HDP 250 mm de diámetro interno</i>	53
Figura 5 <i>Diseño de Pozos de inspección</i>	53
Figura 6 <i>Planos de cámaras de inspección</i>	54
Figura 7 Sección transversal y vista aérea de la tubería HDPE	55
Figura 8 Instalación de tubería zanja abierta	59
Figura 9 PTAR ubicada en el área verde de la urbanización	74
Figura 10 Ptar proveedor Intal	75
Figura 11 Ubicación Ptar dentro de la urbanización	78
Figura 12 Diseño de PTAR Codemet	81
Figura 13 Matriz de Impacto Ambiental de Leopold ptar intal compacta	85
Figura 14 Matriz de impacto ambiental de leopold ptar codemet lodos activados	86
Figura 15 Matriz de impacto ambiental de leopold tubería hdpe horizontal	86
Figura 16 Matriz de impacto ambiental de leopold tubería zanja abierta	87
Figura 17 Maqueta 3D del sistema combinado de PTAR INTAL y la tubería HDPE. ...	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Indicadores de Contaminación Fecal	19
Tabla 2	Límites de descarga en cuerpos de agua dulce	23
Tabla 3	Técnicas e instrumento	26
Tabla 4	Resultados de los análisis de calidad del agua residual	27
Tabla 5	Datos preliminares para el diseño de la PTAR.....	39
Tabla 6	Valores para el cálculo del caudal por el método racional.....	41
Tabla 7	Valores del estándar de diseño para tuberías de aguas residuales en Ecuador	42
Tabla 8	Apus de cámaras de inspección	46
Tabla 9	Apus de tubería de HDPE.....	48
Tabla 10	Presupuesto de Tuberías HDPE	50
Tabla 11	Volumen de colectores AutoCAD	56
Tabla 12	APUS Suministro e instalación de asfalto.	59
Tabla 13	Apus de tubería de PVC	61
Tabla 14	Presupuesto de sistema de zanjas abiertas y tubería Novafort.....	62
Tabla 15	Determinación de la rejilla.....	65
Tabla 16	Cálculo del desarenador	68
Tabla 17	Cálculo De Tanque Sedimentador	72
Tabla 18	Cálculo de constante de temperatura	73
Tabla 19	Estimación del mantenimiento anual para este sistema.....	76
Tabla 20	Presupuesto ptar compacto	76
Tabla 21	Presupuesto de Codemet	79
Tabla 22	Presupuesto de mantenimiento Codemet	80
Tabla 23	Calendario de obras	82
Tabla 24	Parámetros	84
Tabla 25	Resultados del análisis técnico, económico y ambiental.....	89
Tabla 26	Análisis de entrevistas a expertos.....	91

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Instrumento de las entrevistas a los expertos para la realización del análisis cualitativo.....	103
Anexo 2 Entrevista con el responsable del proyecto (especialista en redes de agua).....	105
Anexo 3 Entrevista con el técnico de Interagua.....	106
Anexo 4 Fotografías del trabajo en campo de la urbanización.	107
Anexo 5 Libreta de mediciones topográficas.....	111
Anexo 6 Planos de la urbanización Valles de la Beata.....	116

INTRODUCCIÓN

La falta de sistemas de saneamiento adecuados es un problema crítico que afecta a muchas áreas urbanas en desarrollo y afecta directamente a la calidad de vida de los residentes, la salud pública y el medio ambiente. El proyecto de Valles de La Beata en Guayaquil es un buen ejemplo de ello: la ausencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales ha supuesto consecuencias graves, como inundaciones recurrentes, daños estructurales a las infraestructuras viarias y residenciales y un aumento de los riesgos para la salud de la comunidad.

Esta tesis pretende evaluar y proponer una solución integral a este problema. El estudio presenta un análisis técnico, económico y ambiental comparativo de dos tecnologías depuradoras de aguas residuales (PTAR) una propuesta de la empresa INTAL y otra propuesta de la empresa CODEMET, así como dos metodologías para implementar la red de saneamiento correspondiente (canalización HDPE mediante perforación direccional horizontal y tubería de PVC clásica). La relevancia de esta investigación radica en su enfoque multidimensional, que pretende no sólo una solución técnicamente viable, sino también económicamente sostenible y ambientalmente responsable, de acuerdo con la normativa local vigente.

La investigación se estructura en cuatro capítulos para orientar el desarrollo de la propuesta de forma lógica y exhaustiva. El capítulo I, Enfoque de la propuesta, define el problema, formula los objetivos y establece la hipótesis de trabajo. El capítulo II, Marco de referencia, aporta los fundamentos teóricos y jurídicos necesarios, revisando las investigaciones previas y la normativa aplicable. El capítulo III Marco metodológico, detalla el enfoque mixto de investigación, las técnicas de recolección de datos y los métodos de análisis técnico, económico y ambiental utilizados.

Por último, el capítulo IV, Informe, presenta el análisis comparativo de los resultados, la justificación de la alternativa seleccionada y la propuesta técnica final, concluyendo con las conclusiones y recomendaciones que se desprenden del estudio en el capítulo V. Este trabajo, pretende proponer una solución práctica y sostenible que

mitigue los impactos negativos actuales y sirva de modelo de gestión de proyectos de desarrollo con características similares en la ciudad de Guayaquil.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema

Evaluación técnica, económica y ambiental de alternativas para el sistema de tratamiento de aguas residuales en la urbanización Valles De La Beata

1.2 Planteamiento del Problema

El crecimiento demográfico en zonas urbanas y rurales ha provocado un aumento continuado en el uso de agua. Al mismo tiempo, el progreso industrial ha incrementado la contaminación de este recurso, afectando tanto a las reservas superficiales como subterráneas y ocasionando un impactante daño al medio ambiente (Ugrina, 2024). Así aquel, este crecimiento ha generado un aumento significativo en la producción de aguas residuales, destacando que más del 80% del agua en el mundo son vertidas en distintos cuerpos de agua, sin recibir tratamiento alguno (Banco Mundial, 2020).

En los países desarrollados, se trata el 70 % de las aguas residuales, mientras que en las naciones de ingresos medios-altos y medios-bajos, este porcentaje disminuye a 38 % y 28 %, respectivamente. En contraste, en los países de bajos ingresos, solo el 8 % de las aguas residuales reciben tratamiento. En América Latina, la situación es particularmente preocupante, ya que el 70 % de las aguas residuales no son tratadas (Humanante, 2022).

Esta limitada atención al tratamiento de aguas residuales refleja una gestión insuficiente de los recursos hídricos, con impactos negativos en la salud pública y el medio ambiente; evidenciado especialmente en la contaminación de los cuerpos de agua que incide en la salud, al propagar patógenos de origen fecal y deteriorar el ecosistema, perjudicando a especies como peces y aves (Saravia, 2022).

En Ecuador, la generación de aguas residuales es considerada un problema de alcance nacional, a la que se ha intervenido de forma poco eficaz debido a que existe

ausencia de infraestructuras físicas suficientes para tratarlas, por esto se ha determinado que el 90% de estas aguas se descargan en fuentes de agua dulce sin recibir tratamiento (Montero, 2020).

Así mismo, en el país el 38,2 % de los municipios cuentan con una infraestructura para tratar las aguas residuales, lo que lleva a que la mayoría de los desechos sean vertidos directamente en ríos, arroyos o en el mar; teniendo un impacto negativo tanto en el entorno natural como en la salud pública. La contaminación proveniente de las aguas residuales disminuye la capacidad de recuperación de estos ecosistemas y los hace más susceptibles al calentamiento del océano y otros impactos del cambio climático (Conservación de la Naturaleza Ecuador, 2023)

En este orden de ideas, son escasos los lugares que poseen sistemas para tratar aguas residuales; algunas ciudades destacadas son Jipijapa y Shushufindi junto a Portoviejo y Cuenca que es la más poblada del grupo mencionado. En términos de ubicación geográfica, la región de la sierra alberga la mayor cantidad de plantas de tratamiento, seguida por la costa, la Amazonía y en menor medida la región insular (Peña, 2019).

En la ciudad de Guayaquil, las plantas de tratamiento de aguas residuales en Guayacanes-Samanes y Sauces-Alborada están al límite de su capacidad debido al crecimiento de la población, manejando un volumen mayor al que se esperaba en su diseño original (López, 2020). Sin embargo, para abordar este asunto de forma permanente y efectiva en el futuro próximo la empresa EMAPAG EP está trabajando en la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Los Merinos; la cual comenzará sus operaciones en el año 2026 (Municipalidad de Guayaquil, 2024). No obstante, en la actualidad la comunidad de Valles De La Beata, ubicada en esta ciudad, no dispone de un sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo que, enfrenta un serio problema de inundaciones y daños en las estructuras debido a la acumulación de agua en una colina cercana que ha causado la rotura de muros y la destrucción de casas. En este contexto, resulta fundamental llevar a cabo una evaluación

técnica-económica y ambiental, para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en esta área.

Este estudio tiene como objetivo evaluar técnica, económica y ambientalmente la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la urbanización Valles de La Beata. Cuyos resultados aportarán información precisa para guiar la toma de decisiones en el manejo de aguas residuales en áreas urbanas, estableciendo un fundamento científico para la aplicación de métodos más efectivos y respetuosos del medio ambiente en el tratamiento de desechos urbanos.

1.3 Formulación del Problema

¿Cuál será la viabilidad técnica, económica y ambiental de las alternativas de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la urbanización Valles de La Beata, en función de su eficiencia, sostenibilidad y viabilidad en el cumplimiento de normativas ambientales, la optimización de recursos y la minimización de impactos negativos en el entorno?

1.4 Objetivo General

Evaluar técnica, económica y ambientalmente, dos alternativas para el sistema de tratamiento de aguas residuales para la urbanización Valles de La Beata, con el fin de la optimización de recursos y minimización de los impactos negativos en el entorno.

1.5 Objetivos Específicos

- Identificar los criterios técnicos, económicos y ambientales más relevantes para la selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales
- Establecer las alternativas de tratamiento de aguas residuales, a partir del análisis del estado del arte y casos de éxito nacionales e internacionales.
- Determinar la alternativa de tratamiento de aguas residuales técnica, económica y ambientalmente óptima y de impactos negativos mínimos en el entorno en el contexto urbano de Valles de la Beata.

1.6 Hipótesis

Alternativas de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la urbanización Valles de La Beata permitirá mejorar la gestión de los recursos hídricos, reducir el impacto ambiental y optimizar el cumplimiento de normativas ambientales vigentes. La alternativa de

1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Antecedentes

Entre los antecedentes del presente estudio, se destaca la investigación realizada por Nazer (2022) el cual evaluó la viabilidad técnica, económica y ambiental de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la planta Loma Larga para su posterior uso en el riego de viñedos en Casablanca, Chile. Se estableció un caudal de 300 litros por segundo y se evaluaron cuatro tecnologías diferentes para el tratamiento final; se optó por un reactor biológico de membrana sumergida (MBR) debido a su eficiencia destacada. El plan incluyó un proceso inicial utilizando rejillas para filtrar desechos gruesos y eliminación de grasas y arena antes de pasar al reactor MBR de 2000 m³. Este sistema permitió una reducción del 96,15 % en la demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y alcanzó una eficiencia del 99,2 % en cumplimiento de la normativa NCh1333/78. A pesar de su efectividad demostrada hasta ahora en la práctica realizada a cabo por un equipo profesional multidisciplinario especializado en temas ambientales y sanitarios; la inversión proyectada asciende a 87 mil UF y los costos operativos anuales se estiman en 234 mil UF creando la necesidad urgente de buscar fuentes financieras adicionales para financiar su implementación.

De igual manera, se tiene el estudio de Navarro (2022) en el cual se evalúa la propuesta metodológica para el manejo de aguas residuales en el cantón Caluma en la provincia de Bolívar; su objetivo fue mejorar el sistema y reducir sus impactos ambientales económicos y sociales. Se revisaron los métodos tradicionales de tratamiento de aguas y se introdujeron nuevas técnicas como la perforación horizontal dirigida para instalar colectores de aguas residuales. También se evaluó a la población beneficiaria y se llevó a cabo un análisis comparativo entre las alternativas propuestas por el municipio y por el estudio actual.

Los resultados mostraron que el sistema de tratamiento utilizando lodos activados es muy efectivo en la eliminación de material orgánico y sólidos en suspensión para asegurar que el vertido en cuerpos de agua cumpla las normativas vigentes de calidad ambiental. Por último y como conclusión del análisis económico comparativo se evidencia la viabilidad de mejorar el sistema mediante la integración de plantas de tratamiento y la implementación de tecnologías más eficientes para reducir gastos operativos y potenciar la sustentabilidad del proyecto.

Conjuntamente, Bermúdez y Carrillo (2020) en su estudio realizaron una evaluación del desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Guasca Cundinamarca para determinar la eficiencia en el tratamiento del agua antes de ser descargada al río Siecha. Durante la investigación se encontraron falencias en el proceso de tratamiento que se manifestaron en la presencia de color oscuro y mal olor en el agua tratada. Los resultados fueron contrastados utilizando los criterios establecidos en las Resoluciones 0631 de 2015 y 0330 de 2017; se llegó a la conclusión de que la PTAR no alcanza los niveles exigidos por las normativas vigentes. Por lo que, se sugirió mejorar el funcionamiento del reactor UASB y optimizar los procedimientos de tratamiento para asegurar un adecuado tratamiento del agua residual; también se considera la opción de ampliar la planta para garantizar una eficiente gestión del agua residual.

De igual manera, el estudio de Garzón (2021) estudia la factibilidad para el tratamiento de las aguas residuales para la cabecera del corregimiento de Juntas – Tolima. El trabajo de campo incluyó el estudio demográfico de la población y la identificación de propiedades junto al examen de sistemas de tratamiento mediante encuestas y revisión de regulaciones vigentes. Se construyó una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que incluye un proceso inicial de separación de grasas en trampas especializadas seguido por un sistema primario que emplea un tanque séptico y un tratamiento secundario basado en un filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA).

Además, se incorporó un sistema terciario que consistía en un humedal artificial para infiltración del agua residual tratada como etapa final del proceso. Los resultados obtenidos destacaron el impactante beneficio ambiental y económico que esta PTAR brindaría al corregimiento al reducir drásticamente la presencia de contaminantes y mejorar las condiciones sanitarias del entorno local; generando así reducciones significativas en los costos asociados al tratamiento tradicional del agua potable y mejorando la calidad de vida tanto para la comunidad residente como para los visitantes.

Finalmente, se tiene el estudio de Hernández (2022) el cual tuvo como propósito, desarrollar una planta de tratamiento de aguas residuales estándar de bajo volumen para comunidades de 500 a 1000 habitantes en Quito. Para lograrlo se investigaron las plantas de tratamiento existentes en Ingapi, Bellavista y Anope evaluando su infraestructura y eficiencia en la eliminación de contaminantes. Se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos que revelaron que ciertos parámetros como DQO, DBO5 y sólidos totales no cumplían los valores mínimos establecidos por la normativa ecuatoriana. Con base en estos resultados, se desarrolló una planta de tratamiento de aguas residuales estándar que incluye pretratamiento y etapas primarias secundarias y terciarias para asegurar un sistema eficiente en áreas limitadas. Los resultados evidencian que el diseño sugerido mejora el procesamiento de aguas negras renovando la calidad del vertido y disminuyendo el impacto ambiental en los cuerpos acuíferos dulces.

Mientras que Andrade (2020) realizó un estudio sobre la evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno – 2020. Los objetivos específicos incluyeron la evaluación de los estándares de calidad del agua. La metodología empleada consistió en la medición de los parámetros físico-químicos y microbiológicos siguiendo las normativas establecidas para aguas y vertidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Obteniendo que el pH fue 7,56, la temperatura era 20,1 ° C, el SST era 44 mg/L, la DBO 5 fue 100 mg/L, la DQO fue 209 mg/L y los aceites y grasas eran 0,32 mg/L. Estos resultados no superan los límites máximos permisibles para los efluentes de una planta depuradora.

En cuanto a los valores obtenidos para coliformes termo tolerantes fueron 11 00 NMP /100 mL, lo cual excede y no cumple el Decreto Supremo 233 ; N°003 -2010 - MINAM. Los valores físicos registrados en el río Macusani incluyeron un pH de 8.7 y una temperatura de 17.5 ° C; también se midió un nivel de oxígeno disuelto de 80 mg/l y una conductividad eléctrica de 145 µs/cm que cumplieron los estándares para el agua en la categoría 4. Además de eso, la eficacia en la eliminación del DBO es del 93.42 %, en la DQO es del 94.88 %, en los SST es del 67.16 %, y para los Coliformes Termo tolerantes fue del 77.55 %.

2.1.2 Aguas residuales

Las aguas residuales son conocidas comúnmente como aguas negras por su tonalidad característica y son resultado de diversas actividades humanas. Representan un peligro significativo al contener múltiples sustancias y microorganismos potencialmente dañinos. Para tratarlas se utilizan procesos combinados que involucran tecnologías y operaciones físicas, químicas y biológicas. El objetivo es alcanzar un nivel adecuada de purificación que permitirá su disposición final o reutilización (Humanante, 2022).

Hoy en día se están analizando varias alternativas para el tratamiento de aguas residuales, ya que la organización aún está en construcción, por lo cual es el momento de elegir la alternativa que más beneficie a los habitantes de dicha organización, tanto a mediano como a largo plazo. Tomando en cuenta de que hay lomas cerca de la ciudadela, que podrían permitir fácilmente el flujo de aguas lluvias y de aguas residuales hacia los colectores de la empresa de agua potable y alcantarillado Interagua, que están en la vía pública (EMAPA, 2020).

2.1.3 Tratamiento de aguas residuales

El principal objetivo del tratamiento de aguas residuales es eliminar contaminantes, partículas gruesas, sustancias tóxicas y patógenos potenciales para que el agua tratada, conocida como efluente, pueda ser devuelta al medio ambiente con fines diversos (Alagha, 2020). Las aguas residuales provienen de hogares, industrias y

comercios. En el ámbito doméstico, el agua de fregaderos, duchas, lavadoras y sanitarios se canaliza hacia las plantas de tratamiento (Chojnacka, 2020).

Entre los métodos más comunes de tratamiento se incluyen los procesos químicos, físicos, biológicos y el tratamiento de lodos. También se han analizado las etapas básicas del tratamiento de aguas residuales: pretratamiento (cribado y bombeo), tratamiento primario, secundario, desinfección y tratamiento de lodos. Sin embargo, los procesos específicos dependen del uso final del agua tratada (EPMAPS, 2023).

El tratamiento de aguas residuales permite obtener agua limpia para el consumo, la cocina, el lavado y otras actividades domésticas. Dependiendo de la calidad del tratamiento, el agua también puede ser utilizada en industrias para procesos como la refrigeración de maquinaria y contribuir a aliviar la escasez hídrica en regiones afectadas (Silva, 2023).

2.1.4 Etapas del proceso tratamiento de aguas residuales

A. Tratamiento Preliminar

El tratamiento preliminar es la primera etapa en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Su objetivo principal es la eliminación mecánica de materiales sólidos gruesos y finos. El agua residual pasa a través de un mecanismo de cribado que atrapa madera, trapos, partículas de plástico, alambres, entre otros residuos. Esta fase elimina más del 60% de los materiales sólidos del agua residual, aunque este porcentaje puede ser mayor dependiendo del uso final del agua tratada. Por ejemplo, en el caso del agua potable, el tratamiento preliminar puede eliminar más del 80% de los sólidos, dejando pocos materiales para ser eliminados en las siguientes etapas (Silva, 2023).

Una vez extraídos, los residuos sólidos pueden ser enterrados o incinerados. Sin embargo, debido a los impactos ambientales de la incineración, el enterramiento se ha convertido en la opción más común. No obstante, esta práctica también presenta problemas ambientales, ya que los productos químicos y los materiales no biodegradables, como los plásticos, pueden contaminar el suelo. La cantidad de sólidos

extraídos del agua suele determinar el método de eliminación más adecuado. Existen mecanismos que permiten la incineración segura de plásticos para minimizar el daño ambiental (Liao, 2021).

B. Tratamiento Primario

El tratamiento primario es la segunda etapa del proceso de tratamiento de aguas residuales, esta fase permite que el agua residual pase lentamente a través de tanques de sedimentación donde las partículas de arena fina se asientan en el fondo. Sin embargo, algunas partículas más finas pueden permanecer en suspensión en el agua residual. Para eliminarlas, el agua se dirige a grandes tanques de sedimentación primaria, donde la mayor parte del material sólido se deposita formando lodos (Dutta, 2021).

El tratamiento primario elimina entre el 60 % a 70 % de los sólidos suspendidos. El líquido que queda después de la sedimentación primaria aún contiene partículas finas en forma de materia disuelta. Esto hace necesario un tratamiento secundario para eliminar las partículas disueltas. La sedimentación primaria debe eliminar todos los sólidos del agua destinada a usos como el consumo humano y la cocina. Sin embargo, para actividades como el riego, el agua residual puede ser utilizada después del tratamiento primario, siempre que no contenga productos químicos peligrosos o materiales sólidos (Dutta, 2021).

C. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario está diseñado para eliminar entre el 70 % a 90% de los sólidos suspendidos en el agua residual. Se trata de un proceso biológico que implica el uso de microorganismos para descomponer los compuestos orgánicos (Baskar, 2022). En este proceso, se utilizan bacterias aeróbicas debido a su capacidad para proporcionar energía oxidativa y descomponer los materiales orgánicos suspendidos (Liao, 2021). La cantidad de oxígeno disponible influye en la rapidez con la que los microorganismos eliminan los materiales suspendidos. Existen dos procesos principales en el tratamiento secundario para eliminar los materiales disueltos en el agua residual (Baawain, 2020):

- Lechos de filtro: El agua residual se rocía lentamente sobre lechos de piedras trituradas o grava, aumentando la superficie de contacto y facilitando la oxidación rápida de la materia orgánica. Sin embargo, el agua recolectada en la base de los lechos de filtro aún puede contener materiales suspendidos, por lo que es sometida a una sedimentación secundaria para su eliminación.
- Lodos activados: En este método, los microorganismos oxidan y digieren toda la materia orgánica suspendida en el agua residual, permitiendo su descomposición completa.

D. Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario está diseñado para eliminar compuestos tóxicos, incluyendo compuestos de fósforo y nitrógeno, que no pueden ser eliminados en las etapas anteriores. Tanto el tratamiento primario como el secundario solo eliminan entre el 20 % y el 40% de los compuestos químicos presentes en el agua residual (Khan, 2022).

El tratamiento terciario utiliza diversas tecnologías como luces UV, membranas de filtración y desinfectantes químicos. Su principal objetivo es garantizar que el producto final no contenga compuestos tóxicos perjudiciales para los seres humanos o las plantas, especialmente si el agua tratada se utilizará para el riego agrícola (Fito, 2021). Los diferentes métodos empleados en el tratamiento terciario están diseñados para eliminar compuestos químicos específicos presentes en el agua residual. El producto final también es sometido a pruebas exhaustivas para garantizar que no contenga sustancias químicas o compuestos dañinos. Muchas ciudades del mundo dependen del agua residual tratada para aumentar el suministro de agua potable. Asegurar que el producto final esté libre de sustancias químicas es una de las principales prioridades antes de distribuir agua limpia a los consumidores (Kesari, 2021).

E. Colectores y sistemas de aguas residuales.

Estos sistemas de alcantarillado sanitario son fundamentales para la recolección y transporte de aguas de desecho, en este caso, de la urbanización, hasta las plantas de tratamiento de aguas residuales, los susodichos se constituyen por los colectores, que

son tuberías que reciben y conducen las aguas residuales de las acometidas de los predios, y las envían hasta los colectores principales. Se componen también de emisores, que son tuberías de mayor ancho para transportar caudales de varios colectores hacia la planta de tratamiento o hacia el sistema de alcantarillado principal.

Las acometidas domiciliarias son conexiones entre la red de alcantarillado y el predio. También se constituyen pozos de visita, que son infraestructuras que dan acceso a la red para la inspección, la limpieza y el mantenimiento de este sistema de alcantarillado. Tener un buen sistema de alcantarillado, es necesario tomar en cuenta varios factores como son la topografía, el tipo de suelo, la geografía de la instalación, su profundidad, los materiales y la normativa que rige dicha obra (EPMAPS, 2023; MTOP, 2012).

La instalación de tuberías requiere que sea subterránea y, muchas veces, es necesario cortar las vías públicas o romperlas, siguiendo las normativas vigentes para que luego sea restaurada dicha vía. Las fases por las que pasa la instalación de estas redes de tuberías son el estudio de la planificación, en donde se analiza el suelo, se identifican obstáculos y se realiza el diseño y el plan de ejecución, incluyendo el plan de abordar el tráfico, también se necesita la señalización y seguridad que permita informar a las demás personas, tanto de día como de noche, que se están realizando obras de instalación. Luego de esto, se realiza la excavación haciendo cortes en el pavimento con maquinaria adecuada, como son las cortadoras, los tractores, retroexcavadoras. Además del correcto proceso de entibación en las paredes de la zanja para evitar deslaves (MTOP, 2012).

Una vez realizada la zanja, se procede en la instalación de las tuberías con sus respectivos accesorios Y viendo si está correctamente hermética. Luego de las instalaciones, se procede el relleno de la zanja con el material que permita la compactación por capas, evitando en el futuro asentamientos y finalmente se realiza la reconstrucción de la estructura de la calle y es sellado de las juntas (EPMAPS, 2023; MTOP, 2012).

2.1.5 Propiedades físicas y bioquímicas de las aguas residuales

Las aguas residuales presentan diversas propiedades físicas y bioquímicas, cuyos cambios pueden causar efectos perjudiciales en el medio ambiente. Estas propiedades incluyen Nishat (2023):

- **Temperatura:** Las aguas residuales provenientes de diferentes industrias contienen efluentes procesados a altas temperaturas. Su descarga en cuerpos de agua puede amenazar la vida acuática de los organismos vivos.
- **pH:** Los efluentes de industrias petroquímicas y químicas tienen un nivel de pH elevado, lo cual no es adecuado para la vida acuática, ya que un pH alto impide que los organismos marinos puedan sobrevivir.
- **DBO y DQO:** La demanda bioquímica de oxígeno (*DBO*) y la demanda química de oxígeno (*DQO*) aumentan en las aguas residuales. Estos niveles elevados son perjudiciales para la vida acuática, ya que provocan una disminución del oxígeno disuelto (*DO*), lo que impide que los organismos puedan sobrevivir.
- **Oxígeno disuelto (*DO*):** El oxígeno disuelto en los cuerpos de agua disminuye con el aumento de los residuos. Esta escasez de oxígeno provoca la asfixia de los organismos acuáticos, llevándolos a la muerte. Sin embargo, después del tratamiento de las aguas residuales, la cantidad de oxígeno disuelto aumenta y no supera los niveles peligrosos.
- **Sólidos disueltos totales:** En las aguas residuales, hay materiales sólidos o trazas de ellos que pueden contener sustancias tóxicas con un impacto letal en la vida acuática. El tratamiento de las aguas residuales reduce estos sólidos suspendidos y hace que el agua sea apta para su descarga en el medio ambiente.

- Olor y color: Las aguas residuales tienen un olor desagradable y una apariencia sucia, generalmente de color oscuro. Existen diversas técnicas para eliminar el olor, como el método de adsorción utilizando carbón activado.
- Turbidez: La turbidez de las aguas residuales es muy alta debido a la presencia de sólidos en suspensión, arcillas y otros residuos orgánicos e inorgánicos. El tratamiento de las aguas residuales reduce la turbidez hasta niveles aceptables.

2.1.6 *Parámetros principales para la caracterización de las aguas residuales*

Residuos Sólidos

Los residuos sólidos muestran una clasificación en tres categorías principales son como lo indica Chernicharo (2023):

- Por dimensiones: Partículas en suspensión son aquellas que no se pueden disolver en el agua y pueden quedar atrapadas en filtros de alrededor de 1 μm , causando la turbidez del agua residual y pudiendo incluir materia orgánica o inorgánica.
- Partículas disueltas son aquellas que tienen un tamaño menor a 1 μm y se mantienen en el agua; pueden contener sales, minerales y compuestos orgánicos y sustancias químicas disueltas en ella.
- Por propiedades químicas: Materiales orgánicos sólidos se originan de desechos humanos, alimentos y sustancias biodegradables y representan una significativa carga de demandas bioquímicas de oxígeno (DBO), ya que los microorganismos los descomponen en procesos aeróbicos o anaeróbicos.
- Materia inorgánica sólida: comprende partículas minerales como arena y metales junto a otros materiales no biodegradables. Aunque no añaden a la carga orgánica del agua, pueden impactar en los procedimientos de tratamiento al acumularse o pegarse a los elementos de filtración.

- Partículas sedimentadas: Se trata de partículas de gran peso que se asientan en el fondo del agua tras un tiempo determinado (habitualmente una hora), medida mediante un Conito Imhoff. Estos sólidos comprenden arenas, lodos y otros materiales que podrían ser retirados por métodos físicos como la sedimentación.

Materia orgánica

La materia orgánica (MO) se define químicamente como un grupo de compuestos que contienen carbono; en otras palabras, es un compuesto o complejo químico cuya estructura incluye átomos de carbono, y puede encontrarse en el agua, el suelo e incluso en el aire. La MO puede descomponerse debido a los efectos de la temperatura o por la acción de organismos vivos. Por lo tanto, la MO es un componente clave en los ambientes acuáticos y está presente en aguas dulces, subterráneas, embalses, aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas (Gheraout, 2020).

Químicamente, la estructura de la MO contiene átomos de carbono, junto con otros elementos como hidrógeno (H), nitrógeno (N) y oxígeno (O), dependiendo de su origen. La concentración y composición química de la MO en cuerpos de agua varía significativamente según el origen del agua o las aguas residuales (Hashim, 2021).

Nitrógeno

El nitrógeno es un nutriente vital en los sistemas acuáticos; sin embargo, su exceso en aguas residuales puede provocar eutroficación y contaminar las fuentes de agua potable; se presenta en varias formas: El amonio (NH_4^+) es la versión reducida del nitrógeno en aguas residuales y usualmente es el resultado de la descomposición de proteínas y otras sustancias orgánicas que contienen nitrógenos. En entornos aeróbicos, el amonio puede transformarse en nitritos y nitratos mediante el proceso de nitrificación (Chernicharo, 2023).

Nitrógenos Orgánicos son compuestos ricos en nitrógenos que se encuentran en células microbianas, proteínas y material orgánico descompuesto. Se cuantifican conjuntamente junto al amonio en el Nitrógenos Total de Kjeldahl (NTK). Los nitritos

(NO_2^-) y los nitratos (NO_3^-): Resultan de la oxidación del amonio en ambientes aeróbicos y actúan como productos intermedios y finales. Mientras que los nitritos pueden ser peligrosos en cantidades elevadas, los nitratos pueden contribuir a la contaminación de los acuíferos y causar metahemoglobinemia en humanos (conocida como el síndrome del bebé azul) (Chernicharo, 2023).

La remediación del agua para la eliminación de nitratos y otros tipos de nutrientes se ha convertido en una necesidad primordial para evitar sus efectos perjudiciales. Las técnicas más ampliamente aceptadas para la eliminación de nitratos incluyen métodos biológicos y fisicoquímicos. Además, se han implementado otras técnicas como la ósmosis inversa, aunque a escalas limitadas debido a los altos costos de inversión y la necesidad de procedimientos de pretratamiento y postratamiento. El método de electrocoagulación (EC) es conocido por su eficacia en la eliminación de diversos contaminantes en tiempos de tratamiento cortos, su capacidad para operar sin necesidad de aditivos químicos, su costo accesible y la baja producción de lodos (Housni, 2020).

Fósforo

El fósforo es un nutriente necesario que puede favorecer el desarrollo excesivo de algas en cuerpos de agua, lo que puede causar eutrofización y reducir el nivel de oxígeno disuelto. Se presenta en tres formas predominantes (Chernicharo, 2023):

- Ortofosatos son la forma más fácilmente soluble y accesible de fósforos presentes en el agua y derivan de detergentes, abonos y demás sustancias químicas empleadas en entornos domésticos e industriales.
- Polifosatos están presentes en productos de limpieza y detergentes industriales y en el agua pueden descomponer y transformarse en ortofosatos. El fósforo en forma orgánica se halla en materia orgánica en descomposición, tales como restos de comida y organismos biológicos, y puede ser liberado al agua por vía de procesos de degradación microbológica.

Contaminación Fecal

La contaminación fecal del agua sigue siendo una gran preocupación para la salud pública, con nuevos desafíos que requieren una renovada urgencia en el desarrollo de métodos rápidos y confiables para detectar la contaminación y prevenir la exposición humana. Las bacterias indicadoras de contaminación fecal se han utilizado durante más de 150 años para señalar la contaminación fecal del agua y los riesgos para la salud asociados (Tabla 1) Holcomb (2020).

Tabla 1

Indicadores de Contaminación Fecal

Indicador	Ejemplos de objetivos	Aplicaciones
Bacterias indicadoras de contaminación fecal – detección por cultivo	E. coli, enterococos	Identificación de peligros, cumplimiento normativo
Bacterias indicadoras de contaminación fecal – detección molecular	E. coli, enterococos	Identificación de peligros, cumplimiento normativo
Virus indicadores de contaminación fecal	Colífagos, bacteriófagos Bacteroides	Evaluación del riesgo por virus entéricos
Marcadores de MST asociados a humanos	Bacteroides HF183, HumM2, PMMoV, crAssphage	Determinación de la fuente de contaminación
Marcadores de MST asociados a animales	BacCow, BacCan, avian GFD, Pig-2-Bac	Determinación de la fuente de contaminación
Patógenos índice	Norovirus, rotavirus, Salmonella spp., Campylobacter spp., Cryptosporidium spp.	Evaluación del riesgo
Bacterias resistentes a los antimicrobianos (AMR)	E. coli ESBL, E. coli MAR, MRSA	Evaluación de la resistencia

		antimicrobiana
		ambiental
Genes de resistencia a los antimicrobianos (ARGs)	intl, mcr-1, tnpA, sul1, tetW, tetM, qepA, blaTEM	Evaluación de la resistencia antimicrobiana ambiental

Fuente: Holcomb (2020)

Las aguas residuales contienen una gran cantidad de microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades si no se eliminan adecuadamente. Para evaluar la presencia de contaminación fecal, se utilizan indicadores microbiológicos como:

Los coliformes son bacterias de tipo Gram negativo que pueden funcionar tanto en ambientes anaeróbicos como facultativos; no producen esporas y tienen la capacidad de fermentar lactosa a 37°C en un plazo de 48 horas. Tradicionalmente se ha considerado que pertenecían al género *Escherichia coli* junto al género *Enterobacteriaceae* familia *Klebsiella* y *Citrobacter* pero hoy en día se reconocieron más de 19 géneros similares. Estas bacterias se utilizan para determinar la efectividad del tratamiento del agua y la funcionalidad de los sistemas de distribución del líquido vital. No obstante su presencia no siempre implica contaminación fecal ya que algunos coliformes tienen un origen ambiental diversificado (Li, 2021).

Para abordar este problema se implementó la vigilancia de coliformes fecales que son un subgrupo capaz de fermentar lactosa entre 44. 5 y 45. 5 ° C y procedente exclusivamente de animales de sangre caliente. *Escherichia coli* constituye el principal indicador de contaminación fecal y está fuertemente relacionado con enfermedades vinculadas al agua. Aunque inicialmente se creía que *E. coli* tenía un origen exclusivamente fecal, actualmente se sabe que algunas cepas pueden sobrevivir y reproducirse en entornos no fecales. Además de eso, las lluvias y el cambio climático podrían afectar su durabilidad en el entorno (Li, 2021).

2.2 Marco Legal

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

La Carta Magna de Ecuador del año 2008 estableció en su segundo apartado el Derecho al Buen Vivir que garantiza que las personas tengan el derecho de vivir en un entorno saludable y equilibrado desde el punto de vista ambiental para asegurar la sostenibilidad y el bienestar generalmente conocido entre los indígenas como *sumak kawsay* (Constitucion del Ecuador, 2008).

En el sexto capítulo y bajo el artículo 66 inciso 27 se confirma la garantía de que las personas tengan el derecho a habitar en un entorno sin contaminación y en equilibrio con la naturaleza y condiciones ecológicas equilibradas. Por otro lado, junto al artículo 264 en el capítulo cuarto se establece que los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) tienen la responsabilidad de gestionar y ofrecer servicios básicos tales como el suministro de agua potable, lidiar con el alcantarillado, tratar las aguas residuales, afrontar los desechos sólidos y otras actividades relacionadas al mantenimiento del medio ambiente, cumpliendo lo establecido en la normativa respectiva sin interferir en el sistema nacional de competencias.

2.2.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)

El Código Orgánico del Ambiente (COA) que entró en vigor en abril de 2017 en Ecuador, es el marco legal que regula la gestión ambiental en el país, definiendo principios y responsabilidades para cuidar los recursos naturales y proteger nuestro entorno natural. En su Título II, el capítulo quinto se centra en mantener la calidad de los elementos no vivos del ambiente y el estado de los seres vivos, destacando la relevancia de tratar las aguas residuales para proteger la salud pública y conservar la integridad de nuestros ecosistemas (Codigo Organico del Ambiente, 2017). El artículo 196 del COA establece que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GAD) deben tener la infraestructura técnica adecuada para instalar y mantener sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en áreas urbanas y rurales. Esta medida busca asegurar que las aguas residuales generadas por las actividades humanas sean tratadas de manera adecuada antes de ser devueltas al medio ambiente para evitar la

contaminación de cuerpos de agua y ecosistemas circundantes. El COA también indica que los GAD deben promover el tratamiento de aguas residuales para su posible reutilización siempre y cuando el agua tratada cumpla los estándares de calidad requeridos por la autoridad (Codigo Organico del Ambiente, 2017). Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) y la Gestión del Agua

El COOTAD, en su Artículo 55 inciso d, establece que los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) tienen la responsabilidad de proveer servicios públicos fundamentales vinculados al suministro de agua y saneamiento, los cuales incluyen garantizar el suministro de agua potable y el manejo adecuado del alcantarillado y desechos sólidos cumpliendo las normativas legales vigentes. Estas acciones tienen como objetivo principal velar por la salud de la población y proteger el entorno natural mediante una gestión óptima y sustentable de los recursos acuíferos en la región (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, 2019).

La legislación ambiental y sus normativas regulan el vertido de residuos en cursos de agua y redes de alcantarillado establece los límites aceptables y normativas para verter en ríos, lagos o sistemas de alcantarillado (Ministerio del Ambiente, 2015). Reglas generales para la liberación de desechos en ríos y lagos de agua dulce:

- Los gobiernos locales tienen la facultad de establecer límites máximos permitidos para los vertidos que deben estar respaldados técnicamente y ser aprobados por la Autoridad Ambiental Nacional.
- La entidad encargada del control ambiental definirá el procedimiento para recopilar muestras de los cuerpos receptores en el momento y lugar apropiados. En situaciones en las que la calidad esté determinada por la cantidad de bacterias presentes es necesario incluir un análisis bacteriano dentro de un Plan Maestro para el Control de la Contaminación del Agua.

- Las aguas residuales que no cumplan los criterios establecidos necesitan ser tratadas apropiadamente ya sea que provengan de fuentes públicas o privadas.
- Por otra parte, los sistemas de tratamiento deben tener un plan de emergencia para asegurar su efectividad en situaciones imprevistas. Es imperativo no verter desechos líquidos sin tratar en ríos ni canales de riego; tampoco en embalses o desagües pluviales; particularmente aquellos residuos derivados del lavado y mantenimiento de automóviles o que contengan agroquímicos y sustancias nocivas.

2.2.3 Texto Unificado De Legislación Secundaria De Medio Ambiente

De acuerdo al libro VI Anexo I de Norma TUSLMA las aguas residuales industriales no deben sobrepasar las concentraciones máximas admitidas de las sustancias (Ministerio del Ambiente, 2015).

Tabla 2

Límites de descarga en cuerpos de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas. Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio	mg/l	NO DETECTABLE
Aldehídos	mg/l	2,0
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
Cloro Activo Cl	mg/l	0,5

Cloroformo Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
ECC		
Cloruros Cl-	mg/l	1 000
Cobre Cu	mg/l	1,0
Cobalto Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml	1 (Remoción > al 99,9 %)
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 (DBO5)	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	250
Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño Sn	mg/l	5,0
Fluoruros F	mg/l	5,0
Fósforo Total P	mg/l	10
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
Nitratos + Nitritos (Expresado como N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl N	mg/l	15
Organoclorados totales	mg/l	0,05

Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO.

3.1 Enfoque de la investigación

En este trabajo de investigación se utilizará un enfoque mixto, en donde se combinan los aspectos cualitativo y cuantitativo. La parte cuantitativa hará énfasis en los costos de las obras de las propuestas de diseño de PTAR para la urbanización, además de respetar los parámetros tanto físicos como químicos del agua. La parte cualitativa se basará en los aspectos ambientales y sociales más importantes, que serán fundamentales para el diseño de las dos propuestas de tratamiento de aguas residuales de la urbanización Valles de La Beata.

3.2 Alcance de la presente investigación

Para este proyecto se adoptará un alcance descriptivo-comparativo. Esto se justifica debido a que se van a detallar y estudiar las características de dos propuestas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales y dos propuestas de sistemas de alcantarillado, realizando posteriormente un análisis comparativo de las alternativas existentes.

En la parte cuantitativa de la investigación se recopilarán los datos para determinar el volumen del consumo de agua de la urbanización y los tipos de uso que se le da en dicha ciudadela, utilizar estas especificaciones técnicas en el diseño del sistema de tratamiento tanto en la parte constructiva como en la utilización de agentes químicos y su dosificación para añadirle al agua dentro de la PTAR. Se utilizará la información que ya se tiene acerca del área de estudio, tanto dentro como en las cercanías de la urbanización Valles de la Beata.

Se realizará un análisis comparativo de las dos propuestas de PTAR y las dos alternativas de sistemas de alcantarillado antes de elegir las más viables según el estado actual de la urbanización. Este estudio describirá las técnicas de obra civil y costos de

cada propuesta de diseño de PTAR, utilizando las especificaciones tanto municipales como ambientales.

3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos

Debido a que la administración de la urbanización posee información actualizada acerca de la parte técnica , se obtienen los datos fundamentales como el número de habitantes, el consumo de los recursos básicos como son el agua y la electricidad, etc., el portal de la alcaldía de Guayaquil posee información detallada sobre la normativa municipal que se utilizará en este caso del cantón Guayaquil (Alcaldía de Guayaquil, 2022). Se obtienen datos sobre la geografía actual de la urbanización a través de un levantamiento topográfico. Estos datos se deben procesar en una planilla en MS Excel junto con el diseño en el programa de AutoCAD (Beata, 2024) .

Tabla 3

Técnicas e instrumento

Técnica	Instrumentos
Observación	Guía de Observación
Entrevista	Cuestionario
Estudio de caso	Guía de trabajo, entrevistas, cuestionarios,

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Sistema de aguas residuales en Mi Lote.

El sistema de aguas servidas de Mi Lote se ubica al noroeste de Guayaquil y está diseñado para la recolección, transporte y tratamiento de las aguas residuales domésticas. Su estructura está formada por redes de conducción de agua, tanto de cielo abierto como de zanjás subterráneas, y una planta de tratamiento de lagunas de oxidación, debido a su bajo costo energético. La red de alcantarillado está compuesta por acometidas domiciliarias, tuberías de redes secundarias, en donde se acumulan las aguas de los domicilios, cámaras de inspección, en donde Interagua revisa y da mantenimiento periódico a la red utilizando sus camiones *cleaners* y equipo especializado (EMAPA, 2020).

También la obra posee tuberías de conducción principales, que son colectores que conducen el caudal hacia el sistema de tratamiento, y la estación de bombeo EB-ML3, que envía el agua desde las zonas más bajas hasta la laguna de oxidación. Debido a que hay momentos en donde el flujo de la gravedad es insuficiente (EMAPA, 2020).

El sistema de tratamiento de estas lagunas está formado por 6 partes y están distribuidas en 2 lagunas anaerobias, 2 lagunas facultativas y 2 lagunas de maduración. Estas lagunas utilizan sistemas naturales de luz solar, microorganismos digestores, aeróbicos y anaeróbicos, y tiempos extensivos de retención y digestión de materia orgánica. Las lagunas anaerobias, al ser las primeras en recibir las aguas servidas, dan la descomposición inicial de la materia orgánica usando las bacterias anaeróbicas que no necesitan oxígeno, aquí es donde se produce la mayor concentración de lodos y gases, en especial el metano y el CO₂ (EMAPAG-EP, 2019).

Las lagunas facultativas utilizan los procesos aeróbicos y anaeróbicos, por lo cual es común ver aquí algas que hacen fotosíntesis en la parte superior y en la parte profunda de la laguna están los organismos que hacen el sistema anaeróbico. Las lagunas de maduración hacen el tratamiento final al efluente, eliminando microorganismos patógenos, materias orgánicas sobrantes, y los sólidos que son más finos. Estas lagunas presentan la más alta exposición a los rayos solares, desinfectando de manera natural las aguas, las descargas finales del agua serán realizadas hacia un brazo del río Daule, este río también se utiliza para riego agrícola, siempre y cuando las normativas ambientales vigentes en el país lo permiten (EMAPA, 2020).

Tabla 4

Resultados de los análisis de calidad del agua residual

Parámetros	Método	Resultados	Límites TULSMA (Tabla XII)
pH a 25 °C	4500-B	7,9 ± 0,1	5 - 9
Temperatura del Agua	2550-B	22 °C	< 35 °C
Aceites y Grasas (mg/L)	5520-A	3,60	0,30

Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	5210-A	880	100,00
(mg/L)			
Demanda Química de Oxígeno DQO	5220-D	1460	±250,00
(mg/L)		263**	
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	2540-B	2921,00	
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	2540-D	144 ± 4**	100,00
Fosfatos como PO ₄ ⁻³ (mg/L)	4500-P H	1,00	
Fósforo Total (mg/L)	4500-P	2,00	10,00
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L)	4500-N	1,20	15,00.
Nitratos como NO ₃ ⁻ (mg/L)	4500-NO ₃ ⁻	0,20	10,00
	B		
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	9221-B	600,00	15,00
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	9221-B	2.680,00	n.d.

Fuente: TULSMA (2017)

3.4 Población y muestra

La población de la presente investigación está compuesta por los usuarios del agua potable de la urbanización de Valles de la Beata, en la urbanización existen 174 casas y 20 locales comerciales, estadísticamente hablando las casas más grandes poseen 3 habitaciones que son una matrimonial y dos dormitorios, las parejas de padres de familia poseen en promedio 2 hijos, por lo cual, se estima que en cada casa residirán 4 personas, en cambio, los locales comerciales y las áreas sociales podrían albergar a 196 visitantes que usan los servicios de agua potable de la urbanización con esta información se podrá encontrar la demanda de agua. Los ensayos se harán siguiendo las indicaciones de los manuales técnicos y las normativas vigentes para el manejo de aguas residuales, debido a la complejidad del proyecto.

Para la información poblacional de residentes se tomarán los datos ya obtenidos por parte de la administración de la urbanización como son la población, consumo de agua, consumo energético, impacto en la calidad del aire y los suelos, proyección poblacional, costos de mantenimiento, etc.

Se realizarán entrevistas a profesionales expertos en el área de agua potable, en este caso son tres , un representante de la oficina de administración de la urbanización Valles de La Beata que aportará con información técnica de la ciudadela, un Ingeniero jefe de obra de dicha urbanización que aportará con datos constructivos para llevar a cabo la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales y un ingeniero de obra de Interagua que aportará con información acerca del sistema de alcantarillado al cual se va a conectar la planta de tratamiento de aguas residuales de Valles de la Beata.

Estos expertos aportarán con los respectivos métodos para la obtención de muestras de calidad del agua, especificaciones técnicas para el diseño de las propuestas de las plantas de tratamiento, asesoría para la obtención de los datos topográficos para obtener las respectivas cotas y realización de los planos para los respectivos sistemas de tratamiento, asesoría para la realización de las planillas de Excel para el dimensionamiento de los elementos estructurales e instalaciones de los elementos sanitarios, asesoría para el correcto desarrollo de la tabla de presupuestos, consultoría para la correcta aplicación de la Ordenanza Municipal vigente en este caso la proporcionada por el Gobierno Autónomo descentralizado del cantón Guayaquil.

Para saber la información técnica de los expertos, se ha desarrollado un conjunto de preguntas para las entrevistas, la cual es de carácter cualitativo, administrativo y de operación sobre la condición actual y futura de la urbanización, para analizar las propuestas para el tratamiento de las aguas residuales de Valles de la Beata, de la cual ya se tienen 2 alternativas, siendo una es una PTAR Biofilm y la otra de biodigestor. El tipo de entrevista será semiestructural, a las cuales se le va a preguntar a un representante del departamento de administración de la organización, a un jefe de obras especialista en redes de agua urbana y a un experto representante del departamento de mantenimiento de Interagua o Emapag. En total serán entrevistados 3 expertos que revelarán información técnica fundamental para el diseño de las plantas de tratamiento además de que nos pueden otorgar datos sobre la propuesta viable y la población que consumirá agua en la urbanización serán de aproximadamente 696 si cada casa está

diseñada para que residan en ellas 4 personas, se pretende que tengan aproximadamente a 160 visitantes que consuman el líquido vital de la red de tuberías de agua potable de la urbanización, la oficina de administración proporcionó la cantidad de consumidores junto con la ubicación destinada, el jefe de obra datos técnicos para el diseño de la PTAR y uno de los técnicos de Interagua dio las especificaciones técnicas de las tuberías y el tipo de drenaje que se utilizará en la red pública de alcantarillado de Guayaquil.

Figura 1

Ubicación de la urbanización Valles de la Beata y de la PTAR.



Nota: Mapa satelital de la ubicación de la PTAR y los puntos de muestreo

Fuente: Google maps (2025)

Cálculo del caudal

Para realizar la estimación de la población equivalente teórica, se sabe que la urbanización posee 174 casas y que podrían albergar 4 personas por cada casa, también se sabe que hay 20 locales comerciales, en los cuales pueden haber de 3 a 6 personas, si se tienen en promedio 5 personas en dichos locales comerciales, entonces diariamente habrá 100 personas utilizando los servicios sanitarios y de agua potable en estos 20 locales.

$$174 \text{ casas} * 4 = 696 \text{ usuarios}$$

$$20 \text{ locales} * 5 = 100 \text{ persons}$$

La zona recreativa tiene canchas y una piscina. Suponiendo que a diario 60 personas utilizan dicha zona recreativa, entonces existen 856 habitantes estarán consumiendo el agua de dichas construcciones.

$$\begin{aligned} 696u(\text{casa}) + 100u(\text{locales}) + 60 \text{ zonas (zonas recreativas)} \\ = 856 \text{ usuarios equivalentes} \end{aligned}$$

Según Emapag, el usuario promedio consume aproximadamente entre 200 a 300 litros al día, por lo cual diariamente se podría utilizar un promedio de 250 litros por habitante al día en el consumo de agua.

$$Q_{prom} = 856HE * 250l/(u * día) = 214.000l/día$$

Aplicando el coeficiente de retorno, que varía entre 0.80 y 0.90, es decir, que esta agua se vuelve residual, el caudal residual sería 0.85 por 214 metros cúbicos al día (EMAPA, 2020).

$$Q_{resid} = 214m^3/día * 0.85 = 181.9m^3/día$$

Aplicando el factor de caudal máximo en las horas pico, el caudal máximo tendría un factor de 2.5 para plantas grandes y para los PETARS compactos se usa un factor de 1.5 al día, por tanto:

$$Q_{resid} = 181.9m^3 * 1.5 = \frac{272.85m^3}{día}; \text{Conversión a metros cúbicos por segundo:}$$

$$Q_{resid} = \frac{272.85m^3}{día} * \frac{1h}{24 * 3600s} = 0.03158 \frac{m^3}{s}$$

Cortes y rellenos para la instalación de las tuberías de aguas residuales

Diseñar los cortes y rellenos para la instalación de las tuberías de aguas residuales, se utilizarán las normas de diseño de sistemas de alcantarillado de Emapag, que es la empresa de agua potable que trabaja en Guayaquil. Entre las indicaciones, la excavación y corte de la vía se necesitará un ancho de zanja de aproximadamente 60 centímetros adicionales al diámetro de la tubería mínimo, pero se recomendaría hacerlo de un metro (EMAPA, 2020).

Para la profundidad de la zanja, es aconsejable mínimo 90 centímetros de cobertura sobre la parte superior de la tubería, para las tuberías , es bueno usar una pendiente mínima del 2%, ya que se estarán trabajando con aguas lluvias y aguas residuales previamente tratadas por el PTAR de la urbanización a diseñar, para la instalación de las tuberías, se recomienda que sean de PVC según las especificaciones nacionales, ya que en esta zona se proyecta la construcción de varias urbanizaciones más, aumentando el flujo de las aguas residuales que irán al sistema de alcantarillado. Los pozos de revisión se recomiendan que tengan un espaciado de 120 metros de longitud., debido a los cambios de dirección pendiente y pérdidas menores, para el relleno y compactación, el material a utilizar tiene que estar libre de elementos orgánicos, y piedras grandes, por lo cual se podría utilizar material granular de 3/4 de pulgada (MTOP, 2012).

La compactación, el relleno debe estar en capas de 20 centímetros para llegar al 95% de la densidad máxima Proctor. Para proteger a la tubería se debe realizar la

colocación de una capa de arena de 10 centímetros debajo de esta y de 30 centímetros sobre la misma. De esa manera, se protegerá de que las cargas estén sobre la vía, para reponer la calzada se debe reconstruir la base y la subbase, utilizando la normativa de construcción y por último, se aplica una carpeta asfáltica, utilizando las mismas medidas o parecidas a la anterior. Se eligió el costado derecho del carretero debido a que posee menos obstáculos tanto para la fase de construcción y de mantenimiento. La urbanización La Beata ya tenía un área verde específicamente preparada para la instalación del PTAR (MTOP, 2012).

Selección de dos alternativas de colectores de aguas residuales

Alternativa 1 diseño de zanja subterránea y cámaras colectoras

Realizar la conexión del sistema sanitario de Valles de la Beata con la red de aguas servidas de, se necesita hacer lo siguiente:

La red de alcantarillado en la periferia de la urbanización no se compone de ductos o colectores continuos tradicionales abiertos al ambiente, sino que se realizan con cámaras colectoras que están separadas entre ellas por 120 metros de longitud, y se conectan entre ellas usando tuberías de PVC de 220 milímetros de diámetro para que se les pueda dar la inspección y el mantenimiento periódico a todo este sistema a través de los camiones cleaner propiedad de Interagua. Debido a que el diseño posee zanjas para instalar los colectores y tuberías, esta zanja debe ser subterránea y se debe adaptar a la geometría de la calle además de la geografía del lugar.

La zanja subterránea para el sistema alcantarillado se debe adaptar a las normativas de Emapag, Interagua y el Ministerio de Transporte. Se ha encontrado que el ancho mínimo del diámetro exterior de la tubería para hacer la zanja debe ser de 60 centímetros, aunque también se podría hacer de un metro para facilitar la maniobrabilidad de los maestros constructores durante la instalación. La profundidad de la zanja debe ser mínimo de 90 centímetros sobre la generatriz de la parte superior de la tubería, de las cuales tendrá una pendiente mínima de 2%, que es adecuado para las

aguas residuales de urbanizaciones y vecindarios domésticos. Rellenar la zanja, se usará material granular 3/4, como indica la normativa del Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador, y se realizará la compactación en capas de 20 centímetros hasta alcanzar el 95% de la densidad de Proctor modificado, se hará una cama de arena de 10 centímetros debajo de la tubería y una capa de protección de arena de 30 centímetros por encima de la misma antes de rellenarlo con el material granular, para luego colocar la base, subbase y asfalto siguiendo las normativas del Ministerio de Transporte. La red subterránea de tuberías y cámaras colectoras deben estar al costado derecho de la vía para que no haya interferencias con futuros trabajos en los alrededores, ya que se pretende que sea una zona bastante poblada en el futuro. Este sistema de aguas servidas desembocará finalmente en las lagunas de oxidación del sector conocido como Mi Lote.

Alternativa de sistemas de aguas residuales de cielo abierto

Este sistema de transporte de aguas residuales en las condiciones de la urbanización Valles de la Beata es más dificultoso de realizar que el sistema de aguas subterráneas, debido a que depende muy estrictamente de la población, las propiedades del agua, necesidades sanitarias, factores ambientales y de la geografía del lugar. Este sistema posee un canal trapezoidal o rectangular, en la que la parte superior se encuentra abierta y posee una pendiente que permite el movimiento del agua por gravedad, el canal se compone de materiales de hormigón armado resistentes a la corrosión y al ataque de sulfatos, varias rejillas y mallas para evitar que objetos sólidos caigan sobre el canal, en especial para evitar que los peatones tengan accidentes.

La dimensión del canal posee un ancho similar al de las tuberías de 220 milímetros para conducir entre 10 y 12 litros de agua por segundo, por lo cual estos canales podrían ser de 30 centímetros de ancho con una profundidad de entre 40 y 50 centímetros, una pendiente de entre 1% y 2%, y latitudes de 1:1 a 2:1. Según la geografía y las propiedades del suelo, el canal se diseña usando una sobrecarga hidráulica, teniendo en cuenta el nivel de lámina libre para evitar que se rebose el agua durante las estaciones

lluviosas, este canal posee un pozo desarenador para sacar los sedimentos, trampas de grasas, y se debe hacer una limpieza periódica mensual.

Utilización de las cámaras colectoras en zanjas subterráneas

A pesar de los bajos costos y su fácil mantenimiento, los malos olores que despiden los sistemas de canales abiertos y la geografía de la ubicación del Valles de las Beatas no permitirían que se pueda aplicar, por lo tanto, la alternativa de zanjas subterráneas es la que Interagua va a construir para la red de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas de la laguna de oxidación de Mi lote, para su correcta descarga sobre uno de los brazos del Río Daule.

Selección de las dos propuestas de PTAR Compacto

Antes de ingresar a la planta de tratamiento, el agua necesita tener un proceso de pretratamiento para desechar los sólidos que puedan obstruir o tapar los mecanismos de la planta de tratamiento, como, por ejemplo, las grasas o residuos grandes, como hojas, basura, etcétera. En el pretratamiento de aguas residuales existen trampas de grasa, que son artículos que separan y retienen grasa, aceites que vienen en las aguas residuales y que provocan la obstrucción de los sistemas de manejo de aguas residuales. Para diseñar dichas trampas de grasa, se toma en cuenta el caudal, las concentraciones de grasas, la frecuencia de limpieza, las normas, y las normativas de construcción. También se toman en cuenta los componentes como las cámaras de entrada, sedimentadores y salida de deflectores, además de los materiales como el concreto, el PVC o las fibras (EPMAPS, 2023).

El tratamiento también incluye rejas para sólidos gruesos, rejillas, desarenadores y tanques de homogenización. Estos sistemas de pretratamiento se deben realizar cada 1 o 3 meses para las tropas de grasa. Para la limpieza de lodos, en cambio, se realiza de cada 3 o 6 meses y, anualmente, se debe hacer inspección sobre el estado de la estructura, todas las semanas debe ser inspeccionada, debido a que estos sistemas reciben residuos de dudosa procedencia (TULSMA, 2017).

Se debe considerar que la frecuencia de limpieza depende de la cantidad de grasas, el caudal y el diseño de las trampas. Y los residuos deben ser desechados siguiendo la normativa sanitaria local, ya que no pueden ser desechados usando el servicio de recolección de basura que se usa comúnmente por los ciudadanos, que es el camión recolector de la basura o los barrenderos (TULSMA, 2017).

Para el caudal se usará como propuesta 1 una PTAR de lecho móvil biofilm, que significaría moving bed biofilm reactor, ya que posee una remoción muy significativa en DBO y DQO, muy útil para espacios reducidos, su mantenimiento es fácil y rápido, se puede fácilmente diseñar y aumentar la capacidad de este sistema, ya que, a medida que aumenten la cantidad de habitantes de una población, se puede escalar instalando más equipos de tratamiento. Algunas empresas que lo venden son, por ejemplo, Biobox de España o Clear Box en Colombia y Ecuador (BIOBOX, 2024).

Como opción 2, se podría utilizar un PTAR de lodos activados por aireación prolongada SBR, ya que es de las plantas más utilizadas en urbanizaciones, debido a sus muy bajos costos de operación, no produce muchos malos olores, y es muy bueno para remover sustancias orgánicas. Algunas empresas que venden estos equipos son Sanimex o Rotoplas. Estas PTAR trabajan con un caudal nominal mayor o igual a 240 metros cúbicos por día, y pueden ir enterradas o también en habitaciones sobre la superficie (Rotoplas, 2025).

Metodología de trabajo

La metodología del presente trabajo se dividirá en 8 fases:

Paso 1: análisis de las condiciones actuales de la urbanización

La presente investigación iniciará a partir de la información descriptiva de la urbanización Valles la Beata, su ubicación, el criterio demográfico y las características de las aguas existentes en dicha zona geográfica, tomando en cuenta los sistemas de agua residuales ya establecidos, junto con sus problemas y necesidades.

Paso 2: realización de la descripción de las alternativas posterior a su identificación

Se procederá a elegir después de la revisión de fuentes de información de la situación y consultoría hacia expertos, dos alternativas de tratamiento de aguas residuales, respectivamente explicadas usando diagramas de fases de procesos y materiales requeridos en dichas propuestas de diseño.

Paso 3: realización de la evaluación de carácter técnico

Se utilizarán los indicadores técnicos y especificaciones técnicas como son la calidad del agua que descargará la planta de tratamiento, necesidades geométricas y geográficas, además se usará la metodología para el respectivo análisis de la data acumulada.

Paso 4: realización de la evaluación de carácter económico

Se realizará la evaluación de los costos de las propuestas de tratamiento de aguas residuales, utilizando la información de la evaluación técnica y los indicadores económicos como son los costes iniciales y de mantenimiento a mediano plazo y a largo plazo, además del análisis de la relación costo beneficio riesgo y sensibilidad.

Paso 5: realización de la evaluación de carácter ambiental

Una vez realizado el análisis económico se procederá a analizar los aspectos ambientales, con sus respectivos indicadores en especial el impacto en la calidad del suelo del agua y también el consumo energético además del manejo de residuos y necesidades sociales, por lo cual se realizará la respectiva evaluación y matriz de impacto ambiental.

Paso 6: comparación de las 3 evaluaciones de las dos propuestas de obra civil

Una vez realizadas las evaluaciones técnicas, económicas y ambientales de las dos propuestas de obra civil, se seleccionará la alternativa que mejor se adapte a la situación real de la urbanización.

Paso 7: verificación del marco legal

Una vez realizada la evaluación comparativa y seleccionada la alternativa más viable, se procederá a adaptarla a la Ordenanza Municipal de Guayaquil y a las normas técnicas proporcionadas por el Ministerio del Ambiente para el cumplimiento de los permisos y regulaciones requeridas.

Paso 8: realización del cronograma y presupuesto

Se procederá a realizar un cronograma con cada uno de los pasos establecidos, para llevar a cabo la respectiva metodología del presente proyecto de investigación.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1 Presentación y análisis de resultados

Para el proyecto presente se obtuvo la siguiente información por parte de la administración de la urbanización Valles de la Beata y también de una entrevista realizada a tres expertos, un representante de la urbanización, un supervisor de obras civiles ingeniero de proyectos en la urbanización y un ingeniero de Interagua, por lo cual se obtuvieron los siguientes datos generales:

Ubicación: KM 16 Vía a Guayaquil-Daule (Pascuales)

Población: 856 habitantes

Clima: Tropical

Dotación: 250 L/hab/día

Caudal red alcantarillado: 0,0024769 m³/s

Caudal de diseño (Factor 0,85 × 1,5): 0,003158 m³/s

Tabla 5

Datos preliminares para el diseño de la PTAR

DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SANITARIAS

DISEÑO REALIZADO PARA: URB. VALLES DE LA BEATA

POBLACIÓN PROYECTO	856	HAB
CLIMA	Tropical	
DOTACIÓN	250	
CAUDAL (RED ALCANTARILLADO)	0.0024769	m ³ /s
CAUDAL (0.85) F(1.5)	0.003158	m ³ /s

Nota: Adaptado para el prediseño de la PTAR de Valles de la Beata

4.1.1 Sistema de recolección hidráulica

El sistema de recogida utiliza tuberías HDPE de 250 mm que cumple con los siguientes parámetros:

Capacidad hidráulica: caudal máximo de 78,16 l/s

Velocidad de flujo: 1,0 m/s (auto limpieza garantizada de acuerdo con NEC-11)

Pendiente óptimo: 0,5%, minimizando la excavación

Cámaras de inspección: 9 unidades separadas cada 130 m

Ventajas técnicas:

Larga vida útil (50 años)

Resistencia química superior al PVC convencional

Impacto ambiental reducido durante la instalación

CÁLCULO DE CAUDALES

Caudal del PTAR

$$Caudal\ PTAR = 0,003158\ m^3/s = 3,158\ L/s$$

Rugosidad n de la tubería HDPE= 0.009

Dimensionamiento de tuberías hdpe y justificación de la elección de tuberías de 250mm:

Verificación con la ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

En donde:

$$n = 0,009\ (HDPE)$$

$$S = 0,005\ (0.5\ \% \text{ pendiente mínima}) - - 0.02$$

$$Velocidad: 0,6 \leq V \leq 3\ m/s$$

Demostración de por qué la tubería de 250 mm es posee el diámetro óptimo:

HDPE 250 mm

$$\text{Diámetro} = 0,25 \text{ m}$$

$$\text{Área (A)} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$\text{Área (A)} = \frac{\pi * 0.250^2}{4}$$

$$\text{Área (A)} = 0.0498 \text{ m}^2$$

$$\text{Radio hidraulico (R)} = \frac{A}{P}$$

$$\text{Radio hidraulico (R)} = \frac{0.0498}{0.785}$$

$$\text{Radio hidraulico (R)} = 0.0625 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{0.01} \times 0.0498 \times 0.0625^{2/3} \times 0.005^{1/2}$$

$$Q = 0.06068 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 60.68 \text{ L/S}$$

$$\frac{q}{Q} = \frac{q \text{ diseño}}{Q \text{ lleno}} = \frac{q \text{ diseño}}{Q \text{ lleno}} = \frac{3.15 \text{ L/S}}{60.68 \text{ L/S}} = 0.051$$

Según las tablas hidráulicas para $q/Q=0.05$

Tabla 6

Valores para el cálculo del caudal por el método racional

h/D	q/Q	v/V	A/A₀
0.1	0.017	0.27	0.064
0.2	0.065	0.45	0.147
0.3	0.133	0.58	0.23
0.4	0.218	0.67	0.324
0.5	0.314	0.74	0.424
0.6	0.421	0.79	0.53
0.7	0.535	0.83	0.641
0.8	0.653	0.86	0.756
0.85	0.719	0.88	0.816
0.9	0.785	0.9	0.874

0.95	0.851	0.93	0.93
1	1.000	1	1.000

Fuente: Empresa metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable (2025)

$$\frac{h}{D} = 0.15$$

$$\frac{v}{V} = 0.35$$

Velocidad tubo lleno.

$$Q_{PTAR} = 3.15/60.68$$

$$Velocidad \text{ tubo lleno} = \frac{Q}{A}$$

$$Velocidad = \frac{0.06068}{0.0491}$$

$$Velocidad \text{ de llenado} = 1.22 \frac{m}{s}$$

$$Velocidad \text{ real} = Velocidad \text{ lleno} * v/V =$$

$$Velocidad \text{ real} = 0.35 * 1.22 = 0.427 \text{ m/s}$$

Tirante hidráulico:

$$h = \frac{h}{D} * D = 0.15 * 0.25 = 0.0375$$

$$h = 37.5 \text{ mm} = \text{Diámetro de tubería HDPE}$$

Tabla 7

Valores del estándar de diseño para tuberías de aguas residuales en Ecuador

ESTÁNDARES DE DISEÑO			
Estándar	Valor Calculado	Límite Normativo	Cumple
Velocidad mínima	0.42 m/s	$\geq 0.45 \text{ m/s}$	crítico
Velocidad máxima	2.12 m/s	$\leq 3.0 \text{ m/s}$	ok
Llenado máximo	12.60%	$\leq 75\%$	ok
Diámetro mínimo	250 mm	$\geq 200 \text{ mm}$	ok

Pendiente	0.50%	$\geq 0.5\%$	ok
-----------	-------	--------------	----

Fuente: Empresa metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable (2025)

Se debe aumentar la pendiente, se despeja la variable S para obtener la pendiente mínima ideal.

$$S_{requerido} = ((0.45 * n * A) \frac{1}{R^{\frac{2}{3}}} \times \frac{q}{Q} \times \frac{v}{V}))$$

$$S_{requerido} = ((0.45 * 0.009 * 0.049) \frac{1}{0.0625^{\frac{2}{3}}} \times 0.042 \times 0.35))^2$$

$$S_{requerido} = 0.65\%$$

Reemplazando en la ecuación

$$Q = \frac{1}{0.01} \times 0.049 \times 0.0625^{2/3} \times 0.0065^{1/2}$$

$$Q = 0.623 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{lleno} = 0.623 \text{ m}^3/\text{s} \frac{1}{0.491 \text{ m}^2}$$

$$V_{lleno} = 1.27 \text{ m/s}$$

$$Velocidad_{real} = Velocidad_{lleno} * v/V =$$

$$Velocidad_{real} = 1.27 \text{ m/s} * 0.36 = \frac{0.4572 \text{ m}}{\text{s}} \text{ ok}$$

Se debe aumentar la pendiente S a 0.65% para que supere la velocidad mínima de la normativa.

Justificación: Hoy en día la tubería de 250 mm utilizada por Interagua, queda sobredimensionada, pero es una proyección óptima ya que en el futuro las demás ciudadelas cercanas a Valles de la Beata también se van a conectar a esta tubería, hasta 19 veces el caudal máximo posible de aguas servidas en la urbanización, a pesar de que 856 consumidores es un número de usuarios que es muy poco probable que se vaya a alcanzar dentro de la urbanización analizada.

Cálculo para 8 colectores:

Especificaciones por colector

Longitud: 120 m

Diámetro: 250 mm HDPE PE100

Ancho zanja: 1.2 m

Profundidad: 1.5 m

Cálculo de materiales por colector

Tubería HDPE 250 mm

$$Longitud = 1200m + 5 \% desperdicio = 157,5 m$$

$$Longitud = 157.5 m$$

Cámaras de inspección

$$Cantidad = 1 \text{ cámara cada } 120 m = 1 \text{ unidad}$$

Sellador SIKAFLEX

$$Juntas = \frac{1200m}{120m}$$

$$Juntas = 9$$

$$Cantidad = 9 \text{ juntas} * 0.05L$$

$$Cantidad = 0,45 L \approx 0,5 L$$

Cálculo hidráulico para la tubería de 250 mm

$$Caudal \text{ máx } Q: 78.16 L/s = 0.078 m^3$$

$$Diámetro \text{ interno } D: 250 mm$$

$$Velocidad \text{ de } V: 0.6 \frac{m}{s} \text{ a } 2 \frac{m}{s}$$

$$\text{Pendiente } S: 0.5\% = 0.005$$

Rugosidad n HDPE: 0.009 coeficiente de Manning

$$\text{Velocidad } V = \frac{Q}{A}$$

$$\text{Velocidad } V = \frac{0.078}{\pi \cdot \frac{0.25^2}{4}}$$

$$V = 2.48 \frac{m^3}{s}$$

$$\text{Capacidad a tubo lleno } Q_{\text{lleno}} = A \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Capacidad a tubo lleno } Q_{\text{lleno}} = 0.109 \frac{m^3}{s}$$

$$\text{Relación de llenado} = \frac{78.16}{109}$$

$$\text{Relación de llenado} = \frac{78.16}{0.109} = 71\%$$

Presión nominal PN para conocer el espesor de la tubería

$$\text{Material: HDPE PE100 } \sigma = 8 \text{ MPa}$$

$$PN \geq 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa}$$

$$\text{Capacidad a tubo lleno } Q_{\text{lleno}} = A \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$e = \frac{PN * D}{2\sigma + PN} = \frac{1 * 250}{2 * 8 + 1} = 15.62 \text{ mm}$$

Espesor mínimo del tubo e 1.56 cm

Presupuesto Tubos HDPE

A continuación, se muestra el presupuesto para construir un sistema de alcantarillado de zanja horizontal usando tuberías PEAD o HDPE 100 de alta resistencia, se empezará primero con el APUS de los rubros más importantes como lo son los pozos

de inspección y la provisión e instalación de las tuberías, tomando en cuenta precios actualizados entre los años 2023 y 2025 incluyendo limpieza y desalojo.

Tabla 8

Apus de cámaras de inspección

Universidad laica Vicente Rocafuerte						
Proyecto:		ptar			propuesta	
ubicación:		guayaquil				
Análisis de precios unitarios					Hoja	
Rubro :					Unidad: u	
Detalle : cámara de hormigón armado f´c=280 kg/cm2 de 1 a 2 m diámetro interior= 1.2 m, incluye encofrado, losa desmontable y tapa de hierro dúctil d=60cm, 400 kn						
Equipo descripción	Cantidad a	Tarifa b	Costo hora c=axb	Rendimiento r	Costo d=cxr	
Herramienta menor 5% de m.o.	0	0	0.00		27.57	
Amoladora eléctrica	1	1	1.00	16.00	16.00	
Vibrador de manguera con motor eléctrico	1	3.5	3.50	16.00	56.00	
Subtotal m					99.57	
Mano de obra descripción	Cantidad a	Jornal/hr b	Costo hora c=axb	Rendimiento r	Costo d=cxr	
Peón (estructura ocupacional e2)	5	4.23	21.15	16.00	338.4	
Carpintero (estructura ocupacional d2)	1	4.28	4.28	16.00	68.48	
Albañil (estructura ocupacional d2)	1	4.28	4.28	16.00	68.48	
Fierrero (estructura ocupacional d2)	1	4.28	4.28	16.00	68.48	
Maestro mayor en ejecución de	0.1	4.75	0.475	16.00	7.6	

obras civiles (estructura ocupacional c1)					
Subtotal n				551.44	
Materiales descripción	Unidad	Cantidad a	Precio unit. B	Costo c=axb	
Desmoldante	Kg	3	2.75	8.25	
Encofrado de madera para cámara	M2	10	16.5	165	
Alambre recocido #18	Kg	3	4.09	12.27	
Clavos de acero de 2-1/2"	Kg	3	3.25	9.75	
Acero de refuerzo fy=4200kg/cm2	Kg	170	1.63	277.1	
Hormigón simple premezclado fc= 280 kg/cm2, a 28 días tamaño de agregado máximo 19mm	M3	2.25	129.54	291.465	
Curador para hormigones y morteros (20 kg)	Caneca	0.25	35.88	8.97	
Tapa de registro con marco y tapa redonda de hierro dúctil de 0,60 m de diámetro 400 kn.	U	1	276	276	
Subtotal o				1048.81	
Transporte descripción	Unidad	Cantidad a	Tarifa b	Costo c=axb	
Subtotal p transporte y logística				0.19	
Total, costo directo (m+n+o+p)					1700.01
Indirectos (%)				17.00%	
Utilidad (%)				3.00%	
Costo total del rubro					1700.01
Valor unitario					1700.01
Estos precios no incluyen IVA					

Nota: Apus provisión e instalación de cámaras de inspección Construcción de la infraestructura de movilidad urbana sostenible (parque lineal) en la coop. Jardines del salado – programa caf xvi

Fuente: Municipalidad de Guayaquil (2024)

Tabla 9

Apus de tubería de HDPE

Universidad laica Vicente Rocafuerte					
Proyecto:		ptar		propuesta	
ubicación:		guayaquil			
Análisis de precios unitarios				Hoja	
Rubro :				Unidad: m	
Detalle : suministro e instalación de tubería hdpe pe100 250mm sdr17 pn10 (inc. Acc.)					
Equipo descripción	Cantidad a	Tarifa b	Costo hora c=axb	Rendimiento r	Costo d=cxr
Herramienta menor 5% de m.o.	1	0	0.00	0.19	0.78
Perforadora horizontal de la a mover 1000 psi	1	50	50.00	0.19	9.62
Equipo de perforación direccional hasta 36 ton	1	145.53	145.53	0.19	27.99
Otros - suministro de lodo	0.5	18.75	9.38	0.19	1.80
Camioneta	0.5	6.25	3.13	0.19	0.60
Bomba sumergible	0.5	31.25	15.63	0.19	3.00
Retroexcavadora	0.5	2.05	1.03	0.19	0.20
Máquina de termofusión hasta 315	1	22.92	22.92	0.19	4.41
Eje	0	0	0	0	0.00
Subtotal m					48.39
Mano de obra descripción	Cantidad a	Jornal/hr b	Costo hora c=axb	Rendimiento r	Costo d=cxr
Capataz	1	19.39	19.39	0.19	3.72288
Operador	1	12.36	12.36	0.19	2.37312
Obrero no calificado	4	3.53	14.12	0.19	2.71104
Técnico especializado especialista en el (perf. Cer. C1)	0.5	3.91	1.955	0.19	0.37536

Técnico operacional especialista lec c1 (perf. Cer. C4)	0	5.74	0	0.19	0
Eng supervisor	0.5	23.86	11.93	0.19	2.29056
Eng seguridad industrial	1	17.76	17.76	0.19	3.40992
Operador equipo direccional especializado	0.25	15.13	3.7825	0.19	0.72624
Subtotal n					15.61
Materiales descripción		Unidad	Cantidad a	Precio unit. B	Costo c=axb
Tubería de polietileno (hdpe) pe 100 de 250 mm pn10 pe100		M	1.05	56.11	58.9155
Bentonita- polvo de bentonita pared - saco de 25 kg - polvo		Kg	0.63	4	2.52
Rd - viscosificador - valor de 15 kilos		Kg	0.11	8.5	0.935
Dispersa - controlador de filtrado - valor de 15 kilos		Kg	0.13	10	1.3
Liges n - lubricante - valor de 5 galones		Gl	0.11	19	2.09
Controlador ph y ca		Kg	0.09	1.06	0.0954
Gasolina		Gal	59.58	0.05	2.979
Diesel - maquina perforación		Gl	1.45	1.9	2.755
Gasolina - varios activos		U	0.73	2.55	1.8615
Subtotal o					73.45
Transporte descripción		Unidad	Cantidad a	Tarifa b	Costo c=axb
Subtotal p transporte y logística					0.19
Total, costo directo (m+n+o+p)					137.65

	Indirectos (%)		17.00%	
	Utilidad (%)		3.00%	
	Costo total del rubro			137.65
	Valor unitario			137.65
Estos precios no incluyen IVA				

Nota: Apus de provisión e instalación de tubería HDPE, Construcción de la infraestructura de movilidad urbana sostenible (parque lineal) en la coop. Jardines del salado – programa caf xvi

Fuente: Municipalidad de Guayaquil (2024)

Tabla 10

Presupuesto de Tuberías HDPE

Presupuesto tuberías hdpe					
Item	Descripción del rubro	Unidad	Cantidad contractual	Precio unitario	Precio total
1.1	Sistema de agua servida				
1.1.1	Pozos de inspección				
1.1.1.1	Trazado y replanteo para colectores y tuberías	M	1,211.50	\$ 1.50	\$ 1,817.25
1.1.1.2	Suministro instalación de cámaras de revisión + tapas	U	8.00	\$ 1,700.01	\$ 13,600.04
1.1.1.3	Desalojo de material sobrante	M3	30.00	\$ 9.00	\$ 270.00
1.1.2	Suministro e instalación de tubería hdep pn10 220mm				
1.1.2.1	Suministro e instalación de tubería hdep pn10 250mm	M	1211.50	\$ 137.65	\$ 166,757.73
1.3	Seguridad industrial, señalética y plan de manejo ambiental				
1.3.1	Letrero informativo de obra	U	2.00	\$ 270.07	\$ 540.14
1.3.2	Carteles de advertencia	U	5.00	\$ 84.00	\$ 420.00
1.3.3	Cintas de peligro	M	200.00	\$ 0.18	\$ 36.00
1.3.4	Paletas de pare	U	10.00	\$ 6.00	\$ 60.00

1.3.5	Conos reflectivos	U	15.00	\$ 10.80	\$ 162.00
1.3.6	Tanques de 55 galones para barricadas	U	15.00	\$ 36.00	\$ 540.00
1.3.7	Pasos peatonales de madera de 1.20 m. De ancho	U	2.00	\$ 216.00	\$ 432.00
1.3.8	Volantes informativos	U	500.00	\$ 0.06	\$ 30.00
1.3.9	Agua para el control de polvo	M3	120.00	\$ 4.08	\$ 489.60
1.4	Ensayos sstv - tub herías hdpe				
1.4.1	Inspección y ensayos sstv - tub herías hdpe+reporte	MI	1211	\$ 3.08	\$ 3,729.88
1.5	Asfaltado				
1.5.1	Base granular (si necesaria)	M3	80.77	\$ 10.00	\$ 807.75
1.5.2	Mezcla asfáltica caliente	M3	4	\$ 20.00	\$ 80.00
1.5.3	Colocación y compactación	M2	4	\$ 10.00	\$ 40.00
1.5.4	Compactador, herramientas	M2	4	\$ 4.00	\$ 16.00
1.5.5	Limpieza y nivelación	M2	4	\$ 2.00	\$ 8.00
1.5.6	Demolición del asfalto existente	M2	4	\$ 4.00	\$ 16.00
1.6	Reposición del concreto				
1.6.1	Base granular (si necesaria)	M2	3.00	\$ 10.00	\$ 30.00
1.6.2	Concreto de alta resistencia	M3	1.4	\$ 120.00	\$ 168.00
1.6.3	Limpieza y nivelación	M2	4	\$ 2.00	\$ 8.00
1.6.4	Demolición del asfalto existente	M2	4	\$ 4.00	\$ 16.00
				Subtotal	\$190074.383.97
				Iva 15%	
				Total	\$.0.00

Nota: Presupuesto de tubería de zanja horizontal incluyendo seguridad y ornato

Fuente: IWIA (2025)

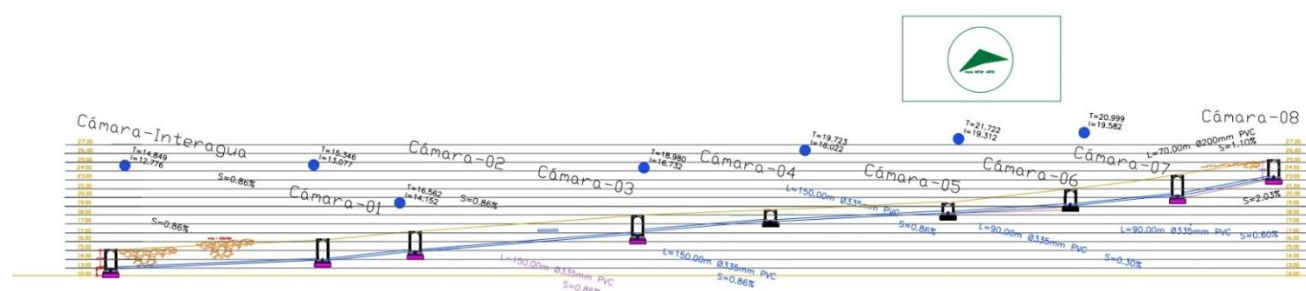
Este sistema utiliza tuberías de polietileno de alta densidad PE100, con una vida

útil de más de 50 años, incluye todos los accesorios necesarios como codos, tees, válvulas y elementos de conexión, fabricados según las mismas especificaciones técnicas. Las características técnicas del PE100 HDPE ofrecen importantes ventajas respecto a los materiales tradicionales. Su superficie interna perfectamente lisa reduce las pérdidas de presión y evita la formación de cal. Su resistencia a la corrosión química y los rayos UV garantiza un rendimiento óptimo sin degradación del material. Su flexibilidad le permite adaptarse a los movimientos del terreno y absorber vibraciones sísmicas sin comprometer su integridad estructural.

La instalación se realizará mediante termofusión, creando juntas más resistentes que la tubería principal. El proceso incluye la excavación controlada, la preparación de la cama de arena, la instalación de tuberías y accesorios, el relleno compactado y las pruebas de presión hidrostática. Este método garantiza la estanqueidad total del sistema y elimina el riesgo de infiltración o escapes, proporcionando así un sistema fiable que requiere un mantenimiento mínimo durante toda su vida útil.

Figura 2

Corte transversal de sistema de tuberías frente a Valles de la Beata



Nota: La tubería frente a Valles de la Beata deberá ser compartida con las urbanizaciones vecinas, se pueden apreciar la pendiente y los colectores

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Figura 3

Instalación horizontal de tubería HDPE



Nota: Excavación de tubería HDPE [Fotografía]

Fuente: IWIA (2025)

Figura 4

Tubería HDP 250 mm de diámetro interno

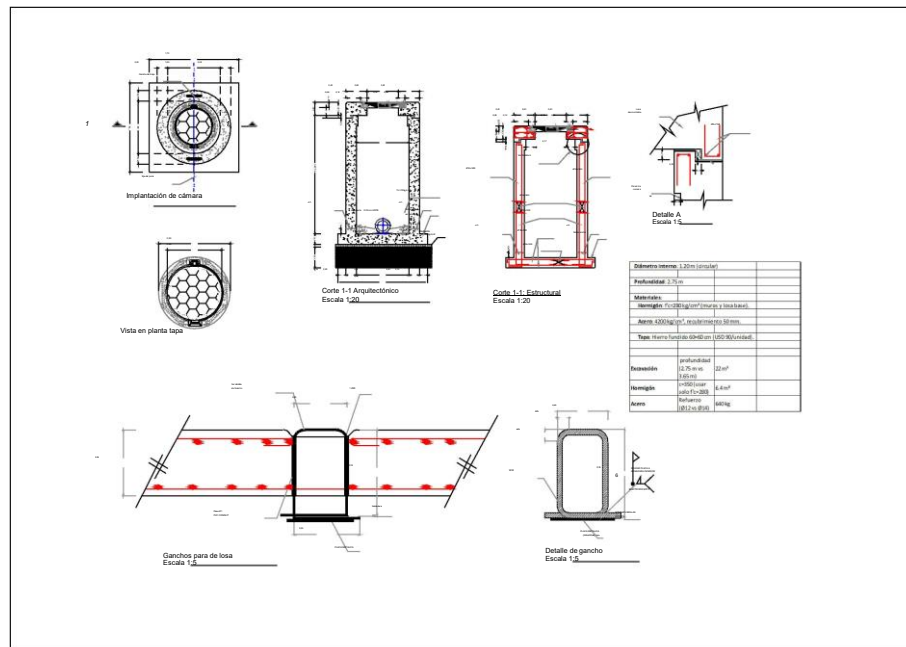


Nota: Tuberías PN10[Fotografía]

Fuente: IWIA (2025)

Figura 5

Diseño de Pozos de inspección

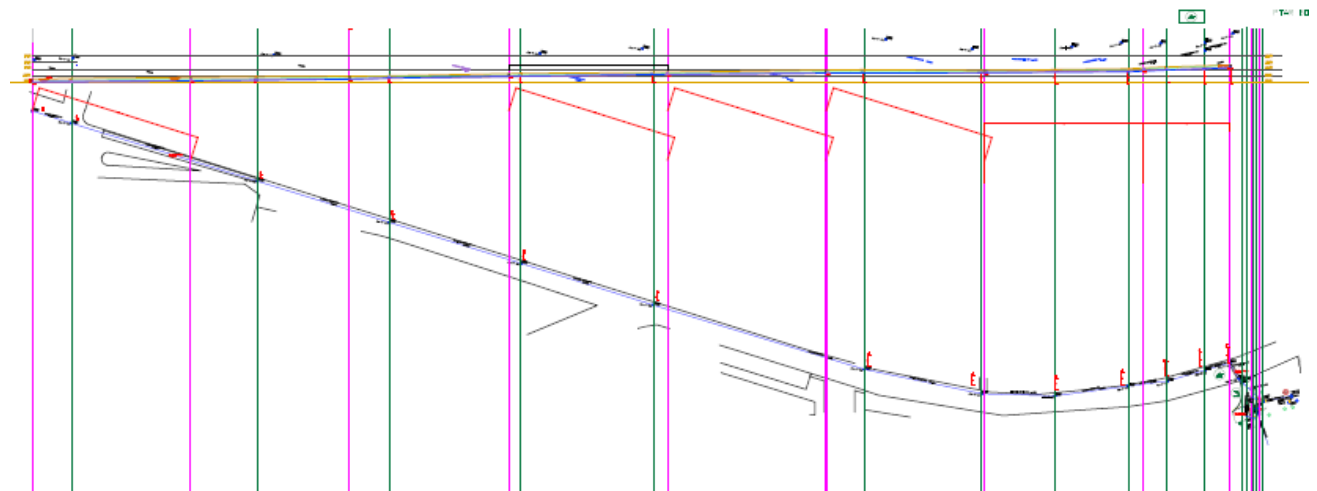


Nota: Diseño de cámaras de inspección con sus respectivos materiales

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Figura 6

Planos de cámaras de inspección

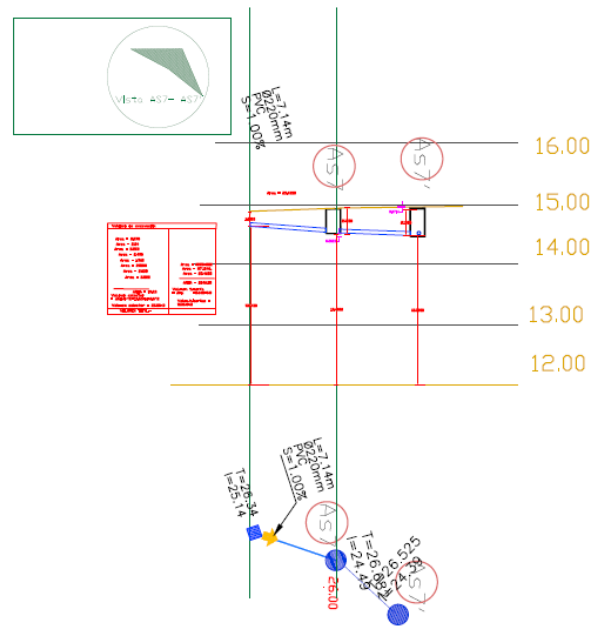


Nota: Corte transversal y vista superior de la tubería

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Figura 7

Sección transversal y vista aérea de la tubería HDPE



Nota: Vista lateral y superior de los pozos de inspección 7 y 7'

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Excavación zanja abierta

A continuación se muestran las medidas y materiales para la construcción de las cámaras de inspección de aguas servidas.

Diámetro interno: 1.20 m (circular)

Profundidad: 2.75 m

Materiales:

Hormigón: $f'c=280$ kg/cm² (muros y losa base).

Acero: 4200 kg/cm², recubrimiento 50 mm.

Tapa: Hierro fundido 60×60 cm (USD 90/unidad).

Excavación: profundidad (2.75 m vs 3.65 m) 22 m³

Hormigón: c=350 (usar solo $f'c=280$) 6.4 m³

Acero: Refuerzo (Ø12 vs Ø14) 640 kg

Tabla 11

Volumen de colectores AutoCAD

Volumen de colectores AutoCAD		
Ítem	Profundidad	Volumen m3
Colector 1	2.27	2.566184544
Colector 2	2.41	2.72565216
Colector 3	1.68	1.90003968
Colector 4	2.25	2.544696
Colector 5	1.7	1.9226592
Colector 6	1.31	1.48157856
Colector 7	1.4	1.5833664
Colector 8	1.57	1.77563232
	Total	16.49980886

Volumen neto = 19.90 V.colect+v.zanja = 2429.68 R= 19.90+2429.68= 1920.6537

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Calculo excavación zanja abierta

LONGITUD ACUMULATIVA (m):

Ésta es simplemente la suma acumulada de las LONGITUDES PARCIALES (m).

Ejemplo:

Línea 1: 20 m

Línea 2: 20 m (línea 1) + 15 m (línea 2) = 35 m

Línea 3: 35 m (línea 2) + 5 m (línea 3) = 40 m

Y así sucesivamente. DESCENSO (m):

Este valor se calcula multiplicando la LONGITUD PARCIAL (m) por la PENDIENTE (%) y dividiendo el resultado por 100.

Fórmula: $\text{DESCENSO} = (\text{LONGITUD PARCIAL} * \text{PENDIENTE}) / 100$

Ejemplo:

Línea 1: $(20 \text{ m} * 2\%) / 100 = 0,4 \text{ m}$

Línea 2: $(15 \text{ m} * 2\%) / 100 = 0,3 \text{ m}$

DECENTE A OTRO POZO (m):

Ésta es la suma acumulada del DESCENSO (m). Representa la diferencia total de elevación entre el primer y el punto actual. Ejemplo:

Línea 1: 0,4 m

Línea 2: 0,4 m (línea 1) + 0,3 m (línea 2) = 0,7 m

ELEMENTO INVERSO DE PROYECCIÓN (m):

Se calcula restando la DECADENCIA (m) del ELEMENTO INVERSO RECIBIDO (m). Fórmula: $\text{ELEMENTO INVERSO PROYECTADO} = \text{ELEMENTO INVERSO RECIBO} - \text{CAÍDA}$

Ejemplo:

Línea 1: $13,449 \text{ m} - 0,4 \text{ m} = 13,049 \text{ m}$

PROFUNDIDAD INICIAL (m) y PROFUNDIDAD FINAL (m):

Estas profundidades se calculan restando la CAÍDA al ELEMENTO SUELO correspondiente. Fórmulas:

$\text{PROFUNDIDAD DE INICIO} = \text{ELEMENTO DE PENDIENTE RECEPTOR} - \text{ELEMENTO DE REVERSO RECEPCIÓN}$

$\text{PROFUNDIDAD FINAL} = \text{ELEMENTO PENDIENTE DE SALIDA} - \text{ELEMENTO INVERSO DE SALIDA}$

Ejemplo:

Línea 1: $14.849 \text{ m} - 13.449 \text{ m} = 1,4 \text{ m}$ (PROFUNDIDAD DE INICIO)

Línea 1: $15.195 \text{ m} - 13.049 \text{ m} = 2.146 \text{ m}$ (PROFUNDIDAD FINAL)

VOLUMEN Y PROFUNDIDAD TOTAL DE EXCAVACIÓN (m^3):

Este volumen parece ser el resultado de la multiplicación de la LONGITUD PARCIAL (m) por el ANCHO DE LA RASA (m) y la profundidad media de excavación (que puede estar relacionada con las profundidades inicial y final). Cálculo hipotético: Si el volumen corresponde al volumen excavado entre las profundidades.

Ejemplo:

Línea 1: $20 \text{ m} * 0,8 \text{ m} * (1,4 \text{ m} + 2,146 \text{ m}) / 2 = 28.368 \text{ m}^3$

EXCAVACIÓN TOTAL (m^3):

Ésta es la suma acumulada del "VOLUMEN Y PROFUNDIDAD TOTAL DE EXCAVACIÓN (m^3)". Ejemplo:

Línea 2: 28.368 m^3 (línea 1) + $27,78 \text{ m}^3$ (línea 2) = 56.148 m^3

Otros volúmenes (VOLUMEN DEL DISPOTLIGHT)

Estos volúmenes parecen basarse en porcentajes o factores específicos aplicados al "VOLUMEN Y PROFUNDIDAD TOTAL DE EXCAVACIÓN (m^3)" o "VOLUMEN TOTAL DE EXCAVACIÓN (m^3)".

Presupuesto zanja abierta

Figura 8

Instalación de tubería zanja abierta



Nota: Instalación de tuberías Novafort [Fotografía]

Fuente: IWIA (2025)

Tabla 12

APUS Suministro e instalación de asfalto.

Universidad laica Vicente Rocafuerte					
Proyecto: ptar propuesta					
ubicación: Guayaquil					
	Análisis de precios unitarios			Hoja	
Rubro :				Unidad: m	
Detalle : suministro e instalación de tubo pvc rígido de pared estructurada e interior lisa (de=280mm; di=250mm)					
Equipo descripción	Cantida d a	Tarifa b	Costo hora c=axb	Rendimient o r	Costo d=cxr
Herramienta menor 5% de m.o.	1	0	0.00	0.19	0.14
Recuperadora/reciclado ra	1	218	218.00	0.05	10.90
Compactador manual	1	3	3.00	0.03	0.08

Barredora mecánica	1	20	20.00	0.02	0.40
barredora mecánica					
Distribuidor de asfalto	1	35	35.00	0.02	0.70
Volqueta	1	30	30.00	0.01	0.19
Subtotal m					12.41
Mano de obra	Cantida	Jornal/hr	Costo	Rendimient	Costo
descripción	d a	b	hora	o r	d=cxr
			c=axb		
Peón	8	4.14	33.12	0.16	5.2992
Operador de maquinaria	4	4.65	18.6	0.16	2.976
Chofer	1	4.14	4.14	0.06	0.26082
Maestro mayor	1	4.65	4.65	0.00	0.01534
Subtotal n					8.55
Materiales descripción		Unidad	Cantidad	Precio unit.	Costo
			a	B	c=axb
Mezcla asfáltica		M3	0.099	95	9.405
Emulsión asfáltica para riego		Kg	0.85	0.45	0.3825
Agua		M3	0.000000	2300	0.00046
			2		
Subtotal o					9.79
Transporte descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa b	Costo
			a		c=axb
Subtotal p					
		Total, costo directo (m+n+o+p)			30.75
		Indirecto		17.00%	
		s (%)			
		Utilidad		3.00%	
		(%)			
		Costo total del rubro			30.75
		Valor unitario			30.75
estos precios no incluyen IVA					

Nota: Suministro e instalación de asfalto, construcción de la infraestructura de movilidad urbana sostenible (parque lineal) en la coop. Jardines del salado – programa caf xvi

Fuente: Municipalidad de Guayaquil (2024)

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Tabla 13

Apus de tubería de PVC

Universidad laica Vicente Rocafuerte					
Proyecto:		ptar		propuesta	
ubicación: guayaquil					
Análisis de precios unitarios				Hoja	
Rubro :				Unidad: m	
Detalle : suministro e instalación de tubo pvc rígido de pared estructurada e interior lisa (de=280mm; di=250mm)					
Equipo descripción	Cantida d a	Tarifa b	Costo hora c=axb	Rendim iento r	Costo d=cxr
Herramienta menor 5% de m.o.	1	0	0.00	0.19	0.14
Eq. Topográfico	1	3.75	3.75	0.16	0.60
Compactador mediano manual	0.1	2.5	0.25	0.16	0.04
Subtotal m					0.78
Mano de obra descripción	Cantida d a	Jornal/hr b	Costo hora c=axb	Rendim iento r	Costo d=cxr
Peón	2	4.14	8.28	0.16	1.3248
Maestro mayor	0.2	4.65	0.93	0.16	0.1488
Topógrafo	1	4.65	4.65	0.16	0.744
Tubero (en construcción)	1	4.19	4.19	0.16	0.6704
Subtotal n					2.89
Materiales descripción	Unidad	Cantidad a	Precio unit. B	Costo c=axb	
Piedra graduada de 1/2" -3/4" inc. Trans	M3	0.11	14.23	1.5653	
Accesorios para pruebas de estanqueidad	U	1	0.3	0.3	
Agua para pruebas de estanqueidad	M3	0.05	4	0.2	
Anillo de caucho	U	1	1	1	
Tubo pvc 250mm Novafort	M3	1	21.93	21.93	
Subtotal o					25.00
Transporte descripción	Unidad	Cantidad a	Tarifa b	Costo c=axb	
Transporte de tubería	M/mkm	10	0.03	0.3	
Subtotal p					
		Total costo directo (m+n+o+p)			28.67
		Indirecto s (%)		17.00%	

	Utilidad (%)		3.00%	
	Costo total del rubro			28.67
	Valor unitario			28.67
Estos precios no incluyen IVA				

Nota: 1 Suministro e instalación de tubería PVC, construcción de la infraestructura de movilidad urbana sostenible (parque lineal) en la coop. Jardines del salado – programa caf xvi

Fuente: Municipalidad de Guayaquil (2024)

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Tabla 14

Presupuesto de sistema de zanjas abiertas y tubería Novafort

Presupuesto zanjas abiertas					
Ítem	Descripción del rubro	Unidad	Cantidad contractual	Precio unitario	Precio total
	Sistema de aguas servidas				
1.1	Zanjas abiertas				
1.1.1	Trazado y replanteo para colectores y tuberías	M	1,211.50	\$ 1.50	\$ 1,817.25
1.1.2	Desalojo de material	M3	1920.65	\$ 3.50	\$ 6,722.29
1.1.3	Suministro e instalación de tubo Novafort 250mm	MI	1211.50	\$ 28.67	\$ 34,730.43
1.1.4	Suministro y colocación de cama de arena	M2	371.68	\$ 16.50	\$ 6,132.72
1.1.5	Suministro de material de préstamo importado	M3	2016.69	\$ 12.50	\$ 25,208.58
1.2	Pozos de inspección				
1.2.1	Trazado y replanteo para colectores y tuberías	M	40.00	\$ 1.50	\$ 60.00
1.2.2	Suministro instalación de cámaras de revisión inc tapas	U	8.00	\$ 1,700.01	\$ 13,600.04
1.2.3	Desalojo de material	M3	30.00	\$ 3.50	\$ 105.00
1.3	Seguridad industrial, señalética y				

	plan de manejo ambiental				
1.3 .1	Letrero informativo de obra	U	2.00	\$ 270.07	\$ 540.14
1.3 .2	Carteles de advertencia	U	5.00	\$ 84.00	\$ 420.00
1.3 .3	Cintas de peligro	M	200.00	\$ 0.18	\$ 36.00
1.3 .4	Letrero de pare	U	10.00	\$ 6.00	\$ 60.00
1.3 .5	Conos reflectivos	U	15.00	\$ 10.80	\$ 162.00
1.3 .6	Tanques de 55 galones para barricadas	U	15.00	\$ 36.00	\$ 540.00
1.3 .7	Pasos peatonales de madera de 1.20 m. De ancho	U	2.00	\$ 216.00	\$ 432.00
1.3 .8	Volantes informativos	U	500.00	\$ 0.06	\$ 30.00
1.3 .9	Agua para el control de polvo	M3	120.00	\$ 4.08	\$ 489.60
1.4	Ensayos cctv				
1.4 .1	Inspección y ensayos cctv inc reporte	MI	1211	\$ 0.90	\$ 1,089.90
1.5	Asfaltado				
1.5 .1	Base clase 1	M3	1447.58	\$ 22.50	\$ 32,570.64
1.5 .2	Sub base clase 1	M3	185.84	\$ 18.50	\$ 3,438.04
1.5 .3	Suministro e instalación de asfalto	M3	80.77488	\$ 160.00	\$ 12,923.98
1.5 .6	Limpieza y nivelación	M2	2016.69	\$ 2.00	\$ 4,033.37
1.5 .7	Remoción de asfalto existente	M2	1920.6537	\$ 4.50	\$ 8,642.94
1.6	Reposición del hormigón de vía				
1.6 .1	Base clase 1	M3	1447.58	\$ 22.50	\$ 32,570.64
1.6 .2	Suministro y colocación de cama de arena	M3	371.68	\$ 16.50	\$ 6,132.72
1.6 .3	Malla electrosoldada u-239	M2	1211.00	\$ 60.00	\$ 72,660.00
1.6 .4	Instalación de dowels de juntas	U	675.00	\$ 5.50	\$ 3,712.50

1.6 .5	Hormigón f'c= 240 kg/cm2 inc juntas	M3	242.2	\$ 280.00	\$ 67,816.00
				Subtotal	\$ 336,676.79
				Subtotal contractual	
				Iva (15%)	\$ 50,501.52
				Total	\$ 387,178.30

Nota: Construcción de la infraestructura de movilidad urbana sostenible (parque lineal) en la coop. Jardines del salado – programa caf xvi

Fuente: Municipalidad de Guayaquil (2024)

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Presupuesto de instalación de tuberías por el método de excavación de zanjas.
Clave de los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales

Pretratamiento para las rejillas de barras

Datos de entrada:

Caudal: 0,002476852 m³/s

Ancho neto: 0,8 m

Grosor barra: 0,0064 m

Ancho barra: 0,0254 m

Total, de espacios

$$Espacios = \frac{Ancho\ total - Grosor\ barras}{Ancho\ barra + Grosor\ barra}$$

$$Espacios = \frac{0,8 - 0,0064}{0,0254 + 0,0064}$$

$$Espacios = 25$$

Paso 2: Número de barras

$$\#Barras = \text{Espacios} + 1$$

$$\#Barras = 25 + 1$$

$$\#Barras = 26 \text{ u}$$

Paso 3: Verificación de anchos

$$\text{Ancho verificado} = (Barras \times \text{Grosor}) + (\text{Espacios} \times \text{Ancho barra})$$

$$\text{Ancho verificado} = (26 \times 0,0064) + (25 \times 0,0254)$$

$$\text{Ancho verificado} = 0,1664 + 0,635 = 0,8014 \text{ m} \approx 0,82 \text{ m}$$

Resultado del cálculo de barras:

#Barras: 25 unidades

#Espacios: 26 espacios

Base: 0,82 m

Tabla 15

Determinación de la rejilla

Determinación de la rejilla				
Cálculo de las barras				
Ancho total	0.8	M		
Grosor barra	0.0064	M		
Ancho barra	0.0254	M		
Espacios	25.35849057	Por tanto	26	Espacios
Barras	25			
Comprobando				
	BASE	0.8204	M	
	REAJUSTAR BASE A	0.82	M	
Pérdidas por fricción				
B	2.42			
E	9.81		Hv	0.003185525

Velocidad	0.25	M/s	Hf	0.002332848
Θ	45		Hf<0.15?	Correcto
REVISIÓN DE hf OBSTRUIDA AL 50%				
Velocidad	0.25	M/s		
Velocidad proyecto	0.0043	M/s	Hf	0.003184599
Caudal	0.003157986	M3/s		
Área	0.7408	M2		
Cálculo de la longitud				
Longitud de entrada		8.2	M	
Longitud de salida		6.56	M	
Longitud total		14.76	M	
Ubicación y longitud de la rejilla				
Altura	0.95	M		
Borde libre	0.2	M		
Altura total	1.15	M		
Longitud	1.626345597	M		
Rugosidad	0.013			
Área	0.779	M2		
Perímetro	2.72	M		
Radio hidráulico	0.286397059	M		
Pendiente	5.5951e-05			
H	0.000825838	Mm		
Calculo de la basura				
Basura	0.0081855	M3/dia		

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Para el desarenador

Datos de entrada

Caudal de diseño: 0,001981481 m³/s

Velocidad propuesta: 0,25 m/s

Tiempo de retención: 3600 s

Procedimiento de cálculo

Paso 1: Cálculo del área del canal

$$\text{Área} = \frac{\text{Caudal}}{\text{Velocidad}}$$

$$\text{Área} = \frac{0,001981481}{0.25}$$

$$\text{Área} = 0,007925926 \text{ m}^2$$

Paso 2: Dimensionamiento de canal

Base que se propuso = 0,25 m

$$\text{Tirante} = \frac{\text{Área}}{\text{base}}$$

$$\text{Tirante} = \frac{0,007925926}{0.25}$$

$$\text{Tirante} = 0,031703704 \text{ m}$$

Tirante adoptado = 0,2 m

Base reajustada = 0,82 m

Paso 3: Cálculo de volumen

$$\text{Volumen} = \text{Caudal} \times \text{Tiempo retención}$$

$$\text{Volumen} = 0,001981481 \times 3600$$

$$\text{Volumen} = 7,133333333 \text{ m}^3$$

Paso 4: Pérdidas por fricción

$$\beta = 2,42$$

$$e = 9.81$$

$$hv = 0,0031855$$

$$hf = 0,00233284$$

Verificación: $hf < 0,15 \checkmark OK$

Resultado para el canal

Área de canal: 0,007925926 m²

Volumen total: 7,133 m³

Tirante: 0,20 m

Base: 0,82 m

Bordo libre: 0,05 m

Tabla 16

Cálculo del desarenador

Cálculo del desarenador

Caudal	0.002476852	M3/s
Caudal de diseño	0.001981481	M3/s
Proponiendo velocidad	0.25	M/s
Área del canal	0.007925926	M2
Proponiendo base canal	0.089027669	M
Base de canal	0.25	M
Proponiendo tirante	0.031703704	M
Tirante	0.2	M
Proponiendo bordo libre	0.04	M
Bordo libre	0.05	M

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Tanque sedimentador

Datos:

Caudal: 0,001981481 m³/s

Velocidad: 0,25 m/s

DBO: 180 mg/L

Tiempo: 3600 s

Procedimiento:

Paso 1: Área superficial

$$\text{Área superficial} = 4,57 \text{ m}^2$$

$$\text{Tirante} = 1,56 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro} = 2,41 \text{ m}$$

Paso 2: Tiempo de retención hidráulica

$$\text{TRH} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}}$$

$$\text{TRH} = \frac{7.133}{0.00198}$$

$$\text{TRH} = 3600 \text{ s}$$

Resultados

Área superficial: 4.57 m²

Diámetro: 2,41 m

Tirante: 1,56 m

TRH Tiempo de retención: 1 hora

Digestor anaerobio (sfr)

Datos:

DBO: 0,18 kg/m³

Rugosidad: 0,52

Densidad del agua: 1000 kg/m³

Gravedad especiada de fangos: 1,03

Porcentaje de sólidos: 6 %

Procedimiento:

Paso 1: Constante de temperatura

$$KT = 0,959919904 \text{ (clima tropical)}$$

Paso 2: Cálculo de carga orgánica

$$Q = 27$$

$$Ce = 209,02 \frac{mg}{L}$$

$$\ln Ce = 5,34242994$$

$$Co = 60 \frac{mg}{L}$$

$$\ln Co = 4,09434456$$

$$n = 0,35$$

$$h = 0,6$$

Paso 3: Área superficial del digestor

$$Area \text{ superficial} = 167,16 \text{ m}^2$$

Paso 4: Retención hidráulica

$$Tiempo \text{ retención} = 1,3 \text{ días}$$

Paso 5: Dimensionamiento

$$Ancho = 11,33 \text{ m}$$

$$Largo = 14,74 \text{ m}$$

$$Gradiente \text{ hidraulico } S = 0,000406999$$

$$Area \text{ transversal } Ac = 6,803737508 \text{ m}^2$$

Resultados

Área superficial: 167.17 m²

Ancho: 11,34 m

Largo: 14,74 m

Tiempo retención: 1,30 días

CÁLCULO DE LODOS

Procedimiento de cálculo

Paso 1: Masa de sólidos

$$Masa\ de\ sólidos = 16,02\ kg/día$$

Paso 2: Volumen de sólidos

$$Volumen\ sólidos = \frac{Masa}{Densidad \times \% sólidos}$$

$$Volumen\ sólidos = \frac{16,024}{1000 \times 0,06}$$

$$Volumen\ sólidos = 0,259m^3$$

Paso 3: Dimensiones del tanque

$$Tirante\ lodo = 0,056705243\ m$$

$$Altura\ rastra = 0,096515932\ m$$

$$Altura\ tanque = 3,216515932\ m$$

$$Potencia\ de\ motor = 0,049168275\ HP$$

Resultados

Volumen de lodos: 0,259 m³

Altura del tanque: 3,22 m

Potencia de motor: 0,049 HP

Dimensiones finales

Para la rejilla:

$$Altura = 0,95 \text{ m}$$

$$Borde libre = 0,2 \text{ m}$$

$$Altura total = 1,15 \text{ m}$$

$$Longitud = 1,626345597 \text{ m}$$

$$Rugosidad = 0,013$$

$$\text{Área} = 0,779 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro} = 2,72 \text{ m}$$

$$\text{Radio hidraulico} = 0,286397059 \text{ m}$$

$$Pendiente = 5,5951 \times 10^{-5}$$

Dimensiones del sistema:

$$Longitud \text{ de entrada} = 8,2 \text{ m}$$

$$Longitud \text{ de salida} = 6,56 \text{ m}$$

$$Longitud \text{ total} = 14,76 \text{ m}$$

Cálculo de residuos sólidos

Procedimiento:

$$Basura \text{ total} = 0,0081855 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Producción per cápita} = \frac{0,0081855}{856}$$

$$\text{Producción per cápita} = 0,00000956 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{día}$$

$$\text{Producción per cápita} = 9,56 \text{ L}/\text{hab}/\text{día}$$

Tabla 17

Cálculo De Tanque Sedimentador

CÁLCULO DE TANQUE SEDIMENTADOR		
CAUDAL DISEÑO	0.001981481	m3/s

DBO	180	mg/lt
VELOCIDAD	0.25	m/s
TIEMPO	3600	seg
VOLUMEN DEL TANQUE		
VOLUMEN DEL TANQUE	7.133333333	m3
AREA SUPERFICIAL	4.572649573	m2
TIRANTE	1.56	m
DIÁMETRO	2.412898311	m
CALCULO DE VOLUMEN DE LODOS		
DBO	0.18	kg/m3
RUGOSIDAD	0.52	
CAUDAL	0.001981481	m3/s
DENSIDAD DEL AGUA	1000	kg/m3
GRAVEDAD ESP. DE LODOS	1.03	m/s2
PORCENTAJE DE SOLIDOS	0.06	%
MASA DE SOLIDOS	16.02432	kg/dia
VOLUMEN DE SOLIDOS	0.259293204	m3
TIRANTE DE LODO	0.056705243	m
ALTURA DE LA RASTRA	0.096515932	m
ALTURA DEL TANQUE	3.216515932	m
POTENCIA DEL MOTOR	0.049168275	HP

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Tabla 18

Cálculo de constante de temperatura

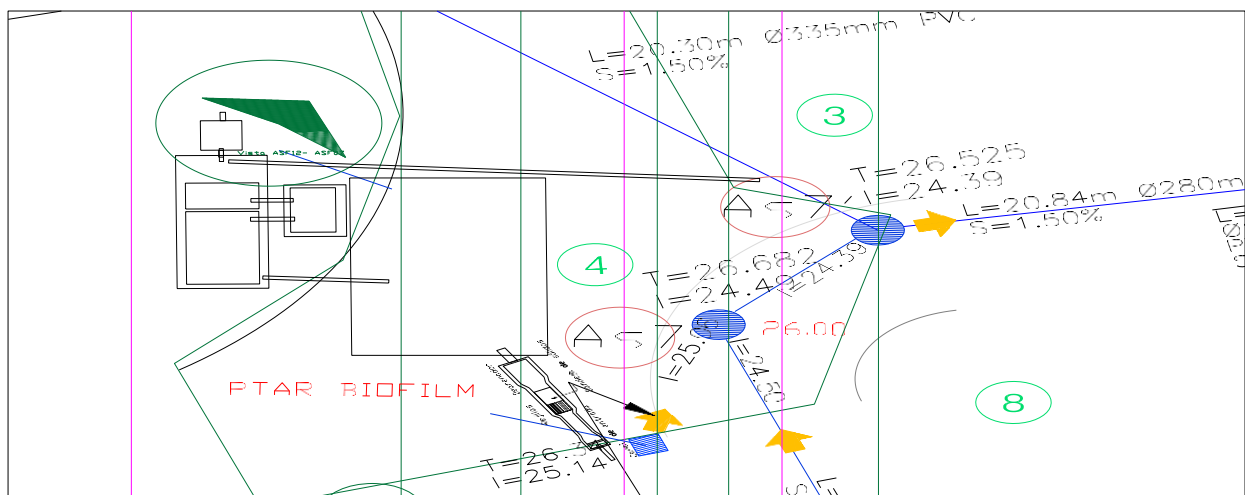
CÁLCULO DE CONSTANTE DE TEMPERATURA				
KT	0.959919904			
CÁLCULO DE ÁREA SUPERFICIAL				
Q	27			

Ce	209.02	LN Ce	5.34242994	1.24808538
Co	60	LN Co	4.09434456	
n	0.35			
h	0.6			
AREA SUPERFICIAL	167.1682393	m2		
CÁLCULO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA				
TIEMPO	1.300197417	días		
CÁLCULO DE LARGO Y ANCHO				
ANCHO	11.33956251	m		
LARGO	14.74203604	m		
CÁLCULO DEL GRADIENTE HIDRAÚLICO				
S	0.000406999			
ÁREA TRANSVERSAL DEL DIGESTOR				
Ac	6.803737508	m2		
Ac	6.803737508	m2		

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Figura 9

PTAR ubicada en el área verde de la urbanización



Nota: tramo de colectores 12 al 7' y Ubicación del PTAR

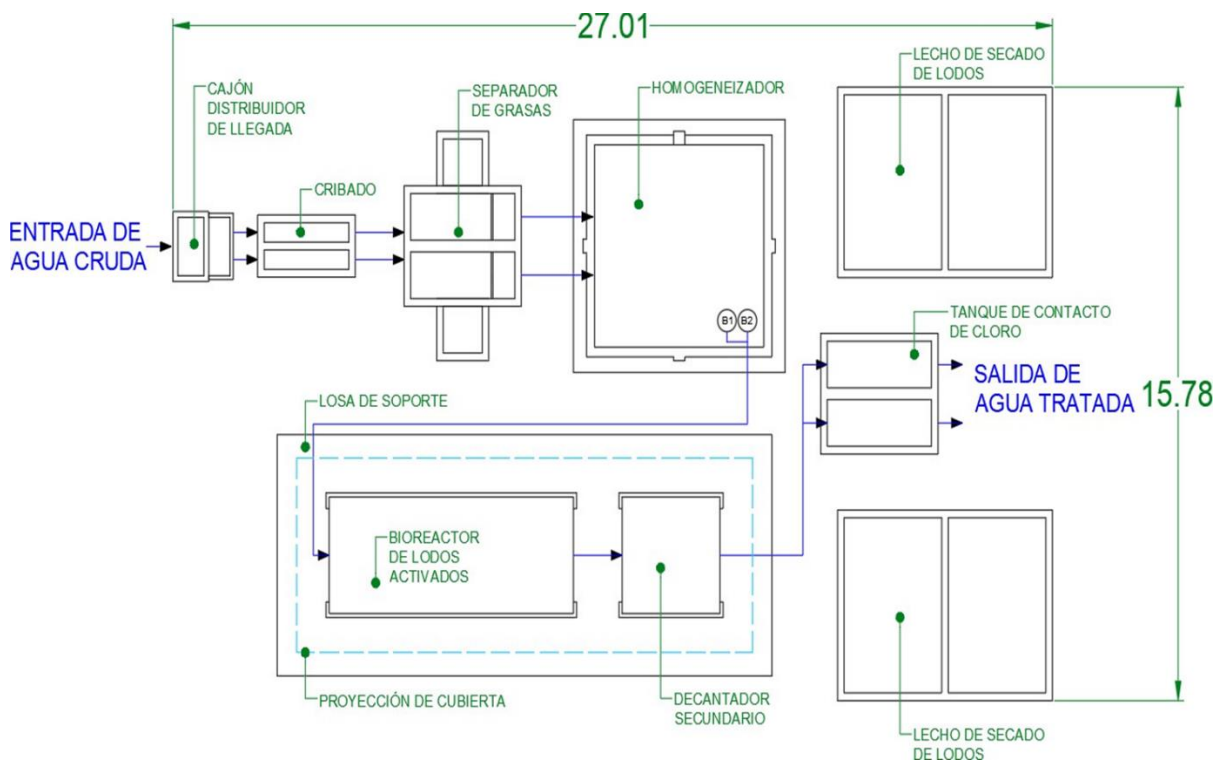
Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

La Planta de Tratamiento de agua fue diseñada para dar servicio a una población de 856 habitantes con un caudal nominal de $0,003158 \text{ m}^3/\text{s}$. Con una superficie útil de $167,17 \text{ m}^2$ funciona con un tiempo de retención de 1,30 días, asegurando una eficiencia de tratamiento del 85 al 90%. El sistema de recolección consta de 1.200 metros lineales de colectores HDPE de 315 mm de diámetro, divididos en ocho tramos de 130 metros cada uno, con una capacidad de $78,16 \text{ l/s}$, un caudal de $1,0 \text{ m/s}$, y una pendiente del 0,5%.

La vida útil del sistema es de aproximadamente 50 años para la PTAR y los colectores de HDPE, mientras que las cámaras de inspección se estiman en 30 años. Este sistema garantizará un tratamiento completo y fiable de las aguas residuales de acuerdo a la normativa medioambiental y municipal.

Figura 10

Ptar proveedor Intal



Nota: Circuito del PTAR con sus respectivos componentes

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Tabla 19

Estimación del mantenimiento anual para este sistema

Estimación del mantenimiento anual para este sistema	
Rubro	Estimación anual
Mano de obra ocasional (visitas técnicas)	\$600 – \$1.200
Energía eléctrica (bomba sumergible 1.0 kW)	\$400 – \$700
Limpieza de canastilla y compuertas	\$200 – \$400
Monitoreo básico (pH, DBO, sólidos)	\$300 – \$500
Repuestos menores (válvulas, sensores)	\$200 – \$400
Mantenimiento preventivo general (1 vez/año)	\$300 – \$500
Total, estimado anual:	\$2.000 – \$3.700

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Tabla 20

Presupuesto ptar compacto

Ítem	Descripción del rubro	Unidad	Cantidad contractual	Precio unitario	Precio total
1.1	Sistema de agua servida				
1.1.1	Colectores principales				
1.2	Sistema de tratamiento de aguas servidas biofilm				
1.2.1	cajón distribuidor de llegada	u	1	\$ 4,590.48	\$ 4,590.48
1.2.2	cribado	u	1	\$ 7,768.44	\$ 7,768.44
1.2.3	trampa de grasas	u	1	\$ 19,767.71	\$ 19,767.71
1.2.4	tanque homogeneizador	u	1	\$ 51,240.11	\$ 51,240.11

1.2.5	losa de soporte para planta de tratamiento	u	1	\$ 19,428.42	\$ 19,428.42
1.2.6	lecho de secado de lodos	u	2	\$ 17,385.14	\$ 34,770.28
1.2.7	pozos de revisión	u	1	\$ 436.54	\$ 436.54
1.2.8	Acero de refuerzo fy 4200 kg/cm2	Ton	5.50	\$ 151.56	\$ 833.58
1.2.9	Accesorios de presión pvc diámetros varios incluyen montaje	U	1.00	\$ 151.56	\$ 151.56
1.2.11	biorreactores de lodos activados (unidad de aireación)	u	1	\$ 68,035.99	\$ 68,035.99
1.2.12	decantador secundario para biorreactor de lodos activados	u	1	\$ 29,932.31	\$ 29,932.31
1.2.13	puesta en marcha y calibración de sistemas	glb	1	\$ 632.83	\$ 632.83
1.2.14	tablero de control general	u	1	\$ 2,182.72	\$ 2,182.72
1.2.15	cubierta metálica sobre biorreactor y decantador	m2	70	\$ 105.50	\$ 7,385.00
1.2.16	andaviles	m2	20	\$ 138.24	\$ 2,764.80
1.2.17	químicos para operación durante 3 meses	glb	1	\$ 3,928.89	\$ 3,928.89
1.2.18	caseta para bodega y tablero de control (11m2)	u	1	\$ 4,945.27	\$ 4,945.27
1.2.19	caseta para guardianía (11m2)	u	1	\$ 5,362.42	\$ 5,362.42
1.3	perimetral para planta de tratamiento y estaciones de bombeo				
1.3.1	Colocación de adoquines	M2	40.00	\$ 20.70	\$ 828.00
1.3.2	Colocación de grama en jardinería y áreas verdes	M2	125.72	\$ 12.85	\$ 1,615.50
1.3.3	Colocación de plantas ornamentales en áreas verdes	U	6.00	\$ 48.20	\$ 289.20
1.4	Seguridad industrial, señalética y plan de manejo ambiental				

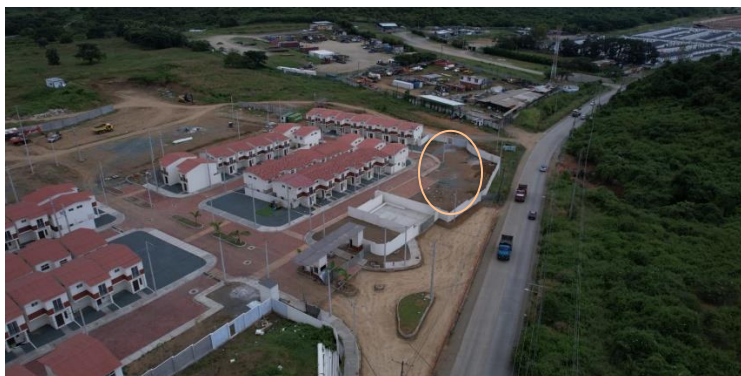
1.4. 1	Letrero informativo de obra	U	2.00	\$ 270.07	\$ 540.14
1.4. 2	Carteles de advertencia	U	5.00	\$ 84.00	\$ 420.00
1.4. 3	Cintas de peligro	M	200.00	\$ 0.18	\$ 36.00
1.4. 4	Paletas de pare	U	10.00	\$ 6.00	\$ 60.00
1.4. 5	Conos reflectivos	U	15.00	\$ 10.80	\$ 162.00
1.4. 6	Tanques de 55 galones para barricadas	U	15.00	\$ 36.00	\$ 540.00
1.4. 7	Pasos peatonales de madera de 1.20 m. De ancho	U	2.00	\$ 216.00	\$ 432.00
1.4. 8	Volantes informativas	U	500.00	\$ 0.06	\$ 30.00
1.4. 9	Agua para el control de polvo	M3	120.00	\$ 4.08	\$ 489.60
Subtotal					\$ 269599.792.00
Subtotal contractual					
Iva (15%)					
Total					\$.0.00

Nota: Presupuesto de PTAR propuesto por la empresa INTAL

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Figura 11

Ubicación Ptar dentro de la urbanización



Nota: El Ptar se ubicará en un área verde cercana a la entrada de la urbanización junto al colector As7'

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Tabla 21

Presupuesto de Codemet

Ítem	Descripción del rubro	Unidad	Cantidad contractual	Precio unitario	Precio total
1	Obras civiles preliminares				
	Limpieza y desbroce	M2	170	0.55	\$ 93.50
	Bodega de obra	U	1	660	\$ 660.00
	Trazado y replanteo	M2	170	1.1	\$ 187.00
	Punto luz y agua	Glb	1	143	\$ 143.00
	Excavación a máquina y bomba de agua 2 pulgadas	M3	595	9.59	\$ 5,706.05
	Desalojo	M3	680	4.81	\$ 3,270.80
	Relleno compactado con material importado a1	M3	180	14.69	\$ 2,644.20
	Transporte de equipos, maquinarias ida y vuelta				
2	Estructura planta de tratamiento				
	Clarificador, reactor, digestor, incluye clarificador, reactor, digestor, incluye fondo, paredes, conos y baffles				
	Estructura de hormigón armado				
	Replanteo h.s. $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2$ ($e = 5,00 \text{ cm}$)	M2	170	7.54	\$ 1,281.80
	Encofrado de madera	Glb	1	2750	\$ 2,750.00
	Losa de 320 kg/cm ² con mixer y bomba, e impermeabilizado				
3	Hormigón para la ptar				
	Fondo: 137,50m ² / 41,25m ³	M3			
	Paredes: 278m ² / 83,41m ³	M3			
	Conos clarificador: 45,9m ² / 9,18m ³ / 20cm espesor	M3			
	Baffles: 32,94m ² / 4,94m ³ / 15cm espesor	M3	138.78	\$ 450.00	\$ 62,451.00
4	Deshidratador				
	Estructura de bloque sobre replanteo de hormigón simple	U			\$ 2,800.00
	Cuarto de blower en hormi ² , 31.20m ² incluye cuarto de tableros	U			\$ 6,500.00
	Clorinador: laberinto de clorinación 4,20m ³ paredes de 15cm espesor	U			\$ 1,890.00

5	Albañilería				
	Pared con bloques de concreto 19x9x39	M2	45	33.13	\$ 1,490.85
	Enlucido exterior	M2	45	10.94	\$ 492.30
	Filos	MI	10	4.71	\$ 47.10
	Enlucido interior	MI	45	8.38	\$ 377.10
	Resanes de albañilería	Glb	1	475	\$ 475.00
	Caseta para blowers	Glb	1	2500	\$ 2,500.00
	Seguridad industrial	Glb	1	750	\$ 750.00
	Obra civil casetas				
	Puertas metálicas	MI	2	350	\$ 700.00
6	Accesorios, consumibles, transporte y mano de obra				
	transporte al sitio	U	1	9970	\$ 9,970.00
	mano de obra para la instalación	U	1	29910	\$ 29,910.00
	Partes y piezas para la instalación	U	1	59820	\$ 59,820.00
				Subtotal	\$ 197,909.70
				Subtotal contractual	
				Iva incluido	
				Total	\$ 197,909.70

Nota: 2 Presupuesto PTAR CODEMET

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Tabla 22

Presupuesto de mantenimiento Codemet

Estimación del costo de mantenimiento anual

Para este tipo de planta, los costos anuales típicos incluyen:

Rubro	Estimación anual
Mano de obra operativa (1 operador parcial + visitas técnicas)	\$1.200 – \$1.800 (100–150/mes)
Energía eléctrica (bombas, sopladores)	\$800 – \$1.200 (70–100/mes)

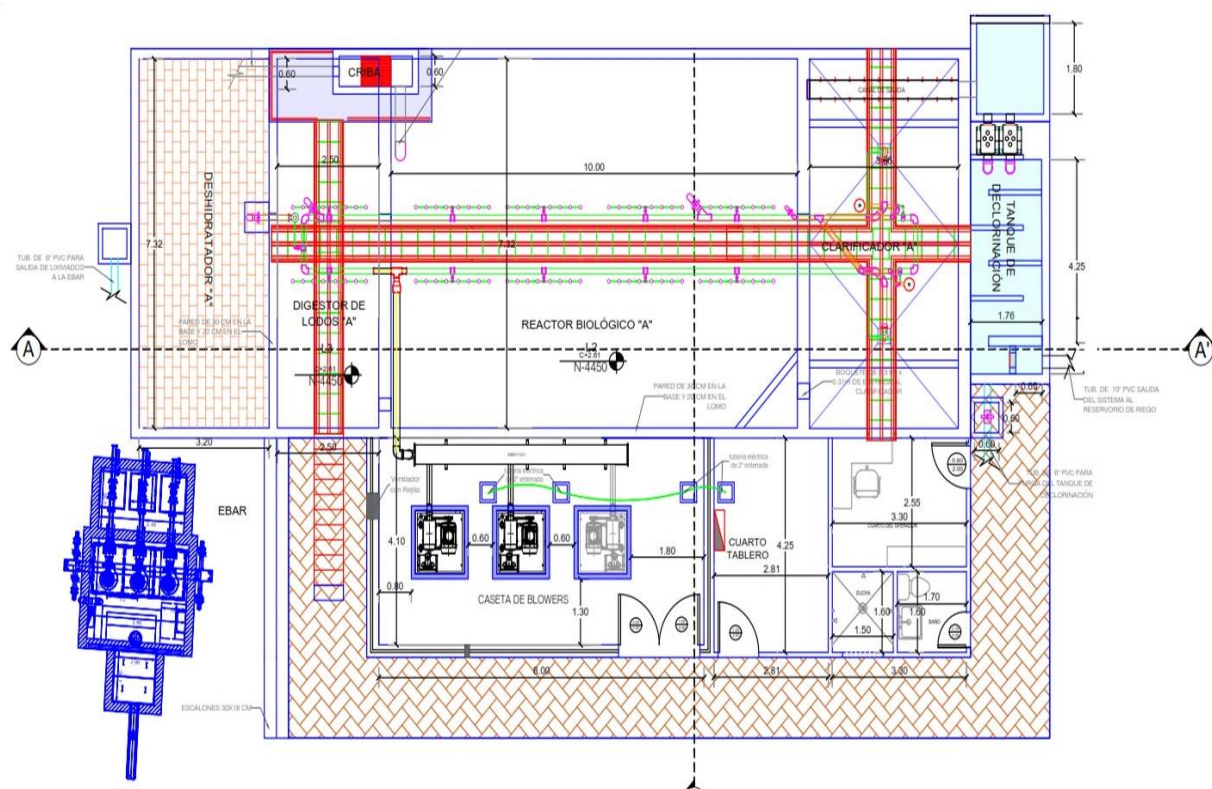
Repuestos menores (válvulas, tuberías, filtros)	\$300 – \$600
Limpieza y extracción de lodos (1–2 veces al año)	\$500 – \$800
Monitoreo y laboratorio básico (DQO, DBO, sólidos)	\$400 – \$700
Pintura y pequeñas reparaciones (estructura)	\$200 – \$400
Total, estimado de mantenimiento anual:	3.400 y \$5.500 por año

Nota: Presupuesto de Mantenimiento del PTAR CODEMET

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Figura 12

Diseño de PTAR Codemet



Nota: Tanques sedimentadores, desarenadores, trampa de grasas y sistema de limpieza de aguas residuales

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Calendario de obras:

Tabla 23

Calendario de obras

PROPUESTA 1 PTAR COMPACTA INTAL														
ACTIVIDAD	DURACIÓN	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S1 0	S1 1	S1 2	
OBRAS PROVISIONALES	01 S													
EXCAVACIONES PTAR	2 S													
FUNDACIONES PTAR	3 S													
MONTAJE PTAR INTAL	4 S													
EXCAVACIÓN TUBERÍAS	5 S													
INSTALACIÓN HDPE	6 S													
CÁMARAS INSPECCIÓN	7 S													
RELLENO Y COMPACTACIÓN	8 S													
CONEXIONES ELÉCTRICAS	9 S													
PRUEBAS HIDRÁULICAS	10 S													
PUESTA EN MARCHA	11 S													
PROPUESTA 2 PTAR LODOS ACTIVADO														
ACTIVIDAD	DURACIÓN	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S1 0	S1 1	S1 2	
OBRAS PROVISIONALES	01 S													
EXCAVACIONES PTAR	2 S													
OBRA CIVIL TANQUES	3 S													
EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS	4 S													
EXCAVACIÓN TUBERÍAS	5 S													
INSTALACIÓN HDPE	6 S													
SISTEMAS DE CONTROL	7 S													
RELLENO Y ACABADOS	8 S													
PRUEBAS Y AJUSTES	9 S													
CAPACITACIÓN OPERADORES	10 S													
PROPUESTA 3 SISTEMA TUBERÍA HDP														
ACTIVIDAD	DURACIÓN	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S1 0	S1 1	S1 2	
REPLANTEO Y SEÑALIZACIÓN	01 S													
EXCAVACIÓN HORIZONTAL	2 S													
SUMINISTRO TUBERÍA HDPE	3 S													
INSTALACIÓN TUBERÍAS	4 S													
CÁMARAS DE INSPECCIÓN	5 S													

RELLENO COMPACTADO	6 S													
REPOSICIÓN PAVIMENTO	7 S													
PRUEBAS HIDROSTÁTICAS	8 S													
LIMPIEZA FINAL	9 S													
PROPUESTA 4 TUBERÍA NOVAFORT														
ACTIVIDAD	DURACIÓN	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	
REPLANTEO Y SEÑALIZACIÓN	01 S													
EXCAVACIÓN HORIZONTAL	2 S													
SUMINISTRO TUBERÍA HDPE	3 S													
INSTALACIÓN TUBERÍAS	4 S													
CÁMARAS DE INSPECCIÓN	5 S													
RELLENO COMPACTADO	6 S													
REPOSICIÓN PAVIMENTO	7 S													
PRUEBAS HIDROSTÁTICAS	8 S													
LIMPIEZA FINAL	9 S													

Nota: Cronogramas de las 4 propuestas de obra para analizar

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Impacto Ambiental y matrices de Leopold.

Se han recopilado los siguientes problemas ambientales, usando la siguiente nomenclatura, como la que está utilizando, las letras D, T y R indican la naturaleza del impacto ambiental. Éstos son sus significados:

Letra Significado Breve explicación

- D Directo: El impacto es una consecuencia inmediata de la actividad.
- T Temporal: el impacto tiene una duración limitada.
- R Reversible: el impacto se puede mitigar o desaparecer con el tiempo o mediante la intervención.

Otras letras también pueden aparecer en matrices más detalladas:

Letra Significado Breve explicación

- P Permanente: El impacto persiste en el tiempo, incluso después de que la actividad haya finalizado.

- IR irreversible: no puede eliminarse ni revertirse, incluso mediante medidas correctoras.
- E Indirecto: Es una consecuencia secundaria o subproducto de otra acción.
- N Negativo: El impacto afecta negativamente al medio ambiente o la sociedad. + / +++ Positivo (leve, medio, fuerte): el impacto genera un beneficio ambiental o social.

Por ejemplo, un impacto de tipos D, T o R significa que es directo, temporal y reversible. A continuación, se muestran los parámetros a utilizar para el desarrollo de la matriz de Impacto Ambiental de Leopold, debido a que son 4 propuestas, se tuvieron que hacer 4 matrices de Leopold.

Tabla 24

Parámetros

Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	1	Temporal	Puntual	1
Baja	Media	2	Media	Puntual	2
Baja	Alta	3	Permanente	Puntual	3
Media	Baja	4	Temporal	Local	4
Media	Media	5	Media	Local	5
Media	Alta	6	Permanente	Local	6
Alta	Baja	7	Temporal	Regional	7
Alta	Media	8	Media	Regional	8
Alta	Alta	9	Permanente	Regional	9
Muy alta	Alta	10	Permanente	Nacional	10

Nota: Parámetros de calificación para realizar las matrices de Leopold para cada una de las propuestas de obra.

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Figura 13

Matriz de Impacto Ambiental de Leopold ptar intal compacta

PTAR INTAL COMPACTA	Factores ambientales	Diseño			Construcción			Operación				Afectaciones		Total Afecciones	Agregado del Impacto
		Estudios de factibilidad	Excavación y Movimiento de Tierras	Construcción de Infraestructura	Funcionamiento de Maquinaria	Mantenimiento	Generación de Residuos	Uso de Recursos Hídricos	+	-					
Agua	Calidad de	-1 6	-3 4	-2 5	-4 5	-2 3	-2 2	-2 2	0 2	7 6	-62				
Atmósfera	Calidad de	-3 4	-4 3	-9 3	-1 3	-4 2	-6 1	0 0	0 0	6 7	-68				
Procesos	Erosión	-2 3	-4 5	-4 2	-1 3	-1 2	-1 1	0 0	0 0	6 7	-40				
Procesos	Estabilidad	1 2	-2 4	-2 2	-1 2	-1 2	0 0	-1 1	1 1	5 7	-15				
Flora	Microflora	-1 1	-3 3	-3 3	-3 2	-1 2	-3 1	-3 1	0 1	7 7	-39				
Fauna	Fauna acu	-4 3	-2 3	-2 1	-4 3	-3 2	-3 1	-4 5	0 5	7 7	-61				
	Animales t	-1 2	4 4	-2 2	-1 4	-3 2	-3 1	-3 1	1 0	6 7	-6				
Interés estético y humano	Diseño del	1 1	1 4	-3 1	2 2	1 3	-2 1	0 0	4 0	2 7	7				
Interés estético y humano	Condición	1 1	-5 3	-2 3	3 1	1 1	-1 1	0 0	3 0	3 7	-17				
Aspectos culturales	Empleo	3 2	2 3	5 3	5 5	7 4	0 0	0 0	5 2	0 7	80				
Facilidades y actividades	Red de tra	1 1	-1 2	-1 2	-5 2	7 6	-2 1	-2 1	2 1	5 7	25				
Afectaciones	+	5	3	1	3	4	0	0	16	54	-190				
	-	6	8	10	8	7	9	6	54						
Total de afectaciones		11	11	11	11	11	11	11	77						
Agregado del Impacto		-28	-58	-60	-28	42	-25	-33	-190						

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Para mitigar los impactos ambientales de esta planta de tratamiento, se implementan medidas preventivas: filtros especializados para controlar las emisiones y límites de velocidad de las máquinas. Las medidas correctivas incluyen desarenadores para preservar la calidad del agua, gestión estratégica del viento, barreras acústicas para reducir la contaminación acústica y señalización ética para la comunidad. También se aplican planes de compensación, planes de salud y compensación para los trabajadores, además de la reutilización del agua purificada, la repavimentación de las calles afectadas, desvíos temporales de tráfico y programas de concienciación ambiental para las poblaciones beneficiadas.

Figura 14

Matriz de impacto ambiental de leopold ptar codemet lodos activados

PTAR CODEMET LODOS ACTIVADOS		Diseño		Construcción		Operación						Afectaciones		Total Afección	Agregado del Impacto					
		Estudios de factibilidad	Excavación y Movimiento de Tierras	Construcción de Infraestructura	Funcionamiento de Maquinaria	Mantenimiento	Generación de Residuos	Uso de Recursos Hídricos	+	-										
Agua	Factores ambientales	Calidad de agua	-1	6	-3	4	-3	5	-4	5	-2	3	-3	2	-2	2	0	7	7	-69
Atmósfera		Calidad del aire	-3	4	-4	3	-9	4	-1	3	-4	2	-6	1	0	0	0	4	7	-77
Procesos		Erosión	-2	3	-6	5	-4	2	-1	3	-1	2	-1	2	0	0	0	4	7	-51
Procesos		Estabilidad	1	2	-2	4	-2	2	-1	2	-2	2	0	0	-2	1	1	5	7	-18
Flora		Microflora	-1	1	-5	3	-4	2	-3	2	-1	2	-3	1	-3	0	0	7	7	-45
Fauna		Fauna acuática	-4	3	-2	3	-2	3	-4	2	-5	2	-4	1	-4	2	0	7	7	-66
		Animales terrestres	-1	2	4	3	-2	1	-1	3	-3	2	-3	1	-3	5	1	6	7	-6
Interés estético y humano		Diseño del paisaje	1	1	1	4	-3	2	2	4	1	2	-2	1	0	1	4	2	7	0
Interés estético y humano		Condición de vida	1	1	-5	4	-2	2	3	2	1	3	-1	3	0	0	3	3	7	-17
Aspectos culturales		Empleo	3	2	2	3	5	5	7	1	7	1	0	1	0	0	5	0	7	80
Facilidades y actividades		Red de transporte	1	2	-2	3	-1	3	-5	5	7	4	-2	0	-2	0	2	5	7	23
			1	1	2	2	2	2	6	1	1	1								
Afectaciones	+		5	3		1		3		4		0		0		16		54		-246
	-		6	8		10		8		7		9		6		54				
Total de afectaciones			11	11		11		11		11		11		11		77				
Agregado del impacto			-28	-76		-80		-28		36		-33		-37		-246				

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Esta planta incorpora tecnologías de vanguardia para minimizar los impactos ambientales mediante sistemas de pretratamiento mejorados, equipados con mallas finas y cámaras helicoidales de arena para controlar la contaminación de los efluentes. Las emisiones se mitigan con biofiltros. La erosión del suelo se previene mediante la instalación de una cubierta vegetal temporal resistente a los lixiviados para proteger la vida acuática de la escorrentía.

Figura 15

Matriz de impacto ambiental de leopold tubería hdpe horizontal

TUBERÍA HDPE HORIZONTAL		Diseño Construcción			Operación				Afectaciones		Total Afección	Agregado del
Factores ambientales		Estudios de factibilidad	Movilización de Equipos	Perforación Horizontal	Instalación Tubería	Mantenimiento	Restauración	Generación de Residuos	+	-		
Suelo	Alteración	-1	-1	-2	-1	-2	2	-3	1	6	7	-20
Atmósfera	Calidad de	-3	-1	-1	0	-2	0	-6	0	5	7	-32
Procesos	Tráfico	-2	-1	-1	0	-1	0	-1	0	5	7	-14
Agua	Agua de la	1	-1	-2	-1	-1	0	-1	1	5	7	-16
Flora	Microflora	-1	0	-1	0	-1	0	-3	0	4	7	-8
Fauna	Fauna acu	-4	0	-1	-4	-2	-3	-4	0	6	7	-37
	Animales t	-1	0	-1	-2	1	-2	-3	1	5	7	-13
Acústica	Ruido	1	-1	-2	2	1	-2	-3	3	4	7	-7
Aspectos culturales	Empleo	2	1	1	5	7	0	-1	5	1	7	59
Afectaciones	+	3	1	1	2	3	1	0	11	41	63	-88
	-	6	5	8	4	6	3	9				
Total de afectaciones		9	9	9	9	9	9	9				
Agregado del impacto		-29	-12	-28	6	6	-1	-30				

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Este sistema utiliza tecnología de perforación direccional para minimizar las alteraciones de la superficie del suelo mediante técnicas sin excavación, con diámetros máximos de 30 cm, lo que reduce significativamente la compactación del suelo (impacto -20). El control de ruido y vibraciones (impacto -7) se realiza mediante amortiguadores neumáticos especializados que mantienen los niveles de ruido. Este sistema es ideal para la protección de la fauna terrestre, permitiendo la libre circulación de pequeñas especies sin comprometer la infraestructura.

Figura 16

Matriz de impacto ambiental de leopold tubería zanja abierta

TUBERÍA ZANJA ABIERTA		Construcción			Operación				Afectaciones		Total	Agregado
Factores ambientales		Estudios de factibilidad	Excavación	Relleno y compactación	Instalación Tubería	Mantenimiento	Restauración	Generación de Residuos	+	-	Afecciones	del Impacto
Suelo	Alteración	-1	-1	-2	-1	-2	2	-3	2	1	6	-20
Atmósfera	Calidad del aire	-3	-1	-1	0	-2	0	-6	1	0	5	-32
Procesos	Tráfico	-2	-1	-1	0	-1	0	-1	2	0	5	-14
Agua	Agua de la zona	1	-1	-2	-1	-1	1	-1	1	2	5	-14
Flora	Microflora	-1	-3	0	0	-2	0	-3	4	0	4	-29
Fauna	Fauna acuática	-4	-3	0	1	-3	0	-3	1	1	4	-32
	Animales terrestres	-1	-3	0	1	-1	0	-3	4	1	4	-26
Acústica	Ruido	1	-4	-2	-2	1	0	-4	5	2	4	-38
Aspectos culturales	Empleo	2	1	1	5	7	0	-1	2	5	1	61
Afectaciones	+	3	1	1	3	2	2	0	12	38	63	-144
	-	6	8	5	3	7	0	9	38			
Total de afectaciones		9	9	9	9	9	9	9	63			
Agregado del impacto		-27	-56	-22	19	-2	8	-64	-144			

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Esta red de tuberías requiere zanjas abiertas con medidas de mitigación centradas en el control de impactos durante la fase de construcción. La calidad del aire afectada por partículas PM10 se controla mediante cortinas de agua nebulizada con un caudal de 5 L/min cada 20 metros y una presión de 3 bar. Las aguas superficiales se protegen de la sedimentación mediante geotextiles y barreras de paja de alta permeabilidad. La contaminación acústica se mitiga con barreras móviles de paneles de polietileno, implementando un preciso protocolo de restauración topográfica.

Análisis de resultados:

- Sistema técnicamente viable para 856 habitantes
- Cumple con las normas NEC-11 e Interagua

- Diseño integrado de la depuradora de aguas residuales y drenaje de aguas pluviales
- Cotización competitiva: 115,38 USD/residente
- Vida útil ampliada: de 25 a 50 años, según el componente

Análisis de resultados

La elección de un sistema de tuberías HDPE, sobre un sistema de zanjas abiertas se basa en rigurosos análisis técnicos, económicos, ambientales y sociales. Los colectores de tuberías garantizan un transporte eficiente de las aguas residuales mediante el accionamiento hidráulico. Su diseño garantiza velocidades de autolimpieza (1.53 m/s, según proyecto) y evita la sedimentación, imposible en zanjas abiertas, propensas a la acumulación de sólidos y baja eficiencia hidráulica.

Aunque el coste inicial de construcción (CAPEX) de un sistema de tuberías HDPE es mayor, los costes de operación y mantenimiento a largo plazo (OPEX) son significativamente más bajos. La reducción de la limpieza manual, el control vectorial y la mayor vida útil de la infraestructura subterránea justifican plenamente la inversión inicial. La elección de los colectores HDPE Interagua en Guayaquil demuestra claramente esta superioridad, a la vez que cumple con los estándares modernos de saneamiento y salud pública, además de la velocidad de instalación y su impacto bajo al medio ambiente.

Entre las alternativas de planta de tratamiento biológico (como los biodigestores anaeróbicos y los sistemas de biológicos), la elección de la tecnología de reactor biológico se justifica por su capacidad para proporcionar un tratamiento robusto y efluentes de alta calidad, a pesar de sus implicaciones de costes. La facilidad de mantenimiento es también un factor importante; un fontanero, mecánico o electricista calificado puede completar el trabajo rápidamente. Las tecnologías de las ptares compactas (como MBBR o camas de percolador) son muy eficientes a la hora de eliminar la materia orgánica (BOD/COD) y, con adecuadas configuraciones, pueden conseguir una buena nitrificación. Son sistemas estables y robustos, menos sensibles a las

fluctuaciones de carga que otros sistemas aeróbicos o la sensibilidad inherente de los anaerobios sin un postratamiento avanzado.

Facilitan el cumplimiento de estándares de descarga más estrictos que los biodigestores, que, pese a su eficacia para eliminar la carga primaria, requieren un pulido aeróbico importante para cumplir con las estrictas normativas. Los costes de gestión de los fangos son moderados. La eliminación eficiente de materia orgánica y potencialmente de nutrientes contribuye significativamente a la protección de las masas de agua receptoras. La ausencia de olores fuertes (común en sistemas anaeróbicos mal gestionados) mejora la calidad del aire local, lo que tiene un impacto positivo en el bienestar ambiental de la comunidad, el PTAR de Codemet, aunque técnicamente es viable, es un poco menos superior en remoción que la PTAR propuesta por INTAL.

Tabla 25

Resultados del análisis técnico, económico y ambiental

PROPUESTAS DE DISEÑO						
Proyectos			Categorías			Calif. TOTAL
	Nº		Técnico	Económico	Ambiental	
Calificación: No aceptable=1	1	Ptar Intal compacta	4	3	3	10
Regular =2	2	Ptar Codemet lodos activados	4	2	3	9
Aceptable =3	3	Tubería horizontal HDPE	4	4	4	12
Muy Aceptable = 4	4	Tubería PVC	4	2	2	8
					ElecciónPTAR : 1	
					Elección Tub.Nº: 3	

Nota: Los proyectos 1 y 3 obtuvieron los máximos puntajes en el análisis técnico, económico y ambiental por lo cual fueron seleccionados como los más viables para su construcción.

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Análisis de las entrevistas a expertos y selección de la alternativa óptima

Tras presentar las cuatro soluciones posibles dos tecnologías PTAR (INTAL y CODEMET) y dos sistemas de alcantarillado (tubo HDPE perforado horizontalmente y zanja abierta de PVC), estos proyectos se compararon con la información cualitativa recogida en entrevistas a tres expertos clave: el responsable de desarrollo, el ingeniero de obra y el ingeniero de la red de agua pública. El experto de la Urbanización confirmó la urgencia de un sistema de tratamiento, la disponibilidad de suelo para la PTAR y la voluntad de inversión, aunque se mantiene preocupado por los costes y el impacto visual y olfativo.

El responsable de la obra recomendó el uso de tuberías HDPE por su durabilidad y bajo mantenimiento, y optó por una PTAR compacta (INTAL) por su eficiencia y facilidad de operación en espacios reducidos.

El técnico de Interagua: Aconsejó que el efluente debe cumplir con la norma ambiental TULSMA para ser vertido en la red pública de agua. Mencionó que los sistemas compactos son viables y recomendables para obras residenciales, siempre que garanticen un adecuado mantenimiento.

Mantenimiento vs. Análisis técnico-económico-ambiental

La evaluación cuantitativa realizada anteriormente (tabla 24, p. 80) asignó puntuaciones a cada alternativa:

La tubería HDPE fue recomendada explícitamente por el técnico de Interagua por su resistencia y vida útil. Su instalación mediante perforación horizontal minimiza los impactos ambientales y sociales, lo que corrobora su alta puntuación.

La PTAR de INTAL fue elegida por el propietario del proyecto por su eficiencia (entre un 85 y un 90% de eliminación de residuos) y su facilidad de mantenimiento, que coincide con su alta puntuación técnica.

El técnico de Interagua ha destacado la necesidad de cumplir con la normativa, aspecto que la depuradora de aguas residuales INTAL garantiza mejor que la opción CODEMET, que tiene unos costes de mantenimiento más elevados y una mayor complejidad operativa.

Tabla 26

Análisis de entrevistas a expertos

Matriz de hallazgos				
#	Hallazgo	Categoría	Evidencia	Consecuencia
1	La falta de un sistema de tratamiento ha provocado inundaciones recurrentes, daños estructurales en carreteras y viviendas, y conlleva riesgos para la salud pública.	Social y ambiental	Entrevista con el administrador, planteamiento del problema (Cap.II).	Necesidad urgente para implementar una solución para mitigar los impactos negativos inmediatos.
2	La depuradora compacta de aguas residuales INTAL tiene una eficiencia de tratamiento del 85 al 90%, de acuerdo con la normativa local (TULSMA, NEC-11).	Análisis Técnico y Jurídico	(Capítulo IV), Entrevista con el responsable de la obra.	Asegura que los efluentes tratados puedan verterse en la red pública de alcantarillado sin infringir la ley.
3	La tubería de HDPE instalada mediante perforación horizontal tiene una vida útil estimada de 50 años, más que los sistemas convencionales.	Técnico y económico	Análisis de presupuesto (capítulo IV), especificaciones técnicas.	Reduce los costes de sustitución y mantenimiento a largo plazo, lo que supone una mejor inversión.
4	El sistema de zanja abierta de PVC, aunque tiene un menor coste inicial, tiene un mayor impacto ambiental y	Ambiental /social	(Capítulo IV), Matriz de Leopold, observación.	Genera emisiones para la comunidad y requiere un plan de gestión ambiental más sólido y costoso.

	social durante la construcción (ruido, polvo, interrupciones del tráfico).			
5	La comunidad está dispuesta a invertir en una solución, pero todavía existen preocupaciones sobre los costes de mantenimiento y su distribución.	Social/Económico.	Entrevista al Administrador/a de Mantenimiento	La solución escogida debe ser viable no sólo técnicamente sino también económicamente para la comunidad.
6	La combinación de tubos STEP INTAL y HDPE obtuvo la puntuación más alta (22/16) en la evaluación multicriterio (técnica, económica, ambiental).	Global	Los resultados completos se encuentran en la Tabla 24 (Capítulo IV), Análisis comparativo.	Esta es la alternativa óptima y más equilibrada, recomendada para su implementación.
7	La agencia reguladora (Emapag) exige el cumplimiento estricto de los parámetros de calidad (DBO, DQO, coliformes) para autorizar el vertido a su red.	Jurídico/Técnico	Entrevista técnica en Interagua, Marco legal (Capítulo II).	El diseño de la depuradora debe priorizar la eficiencia del tratamiento frente a otras consideraciones para obtener la autorización.
8	El coste de mantenimiento anual estimado de la planta de tratamiento INTAL (entre 2.000 y 3.700 dólares EE.UU.) es alcanzable y previsible para la gestión del proyecto.	Económico	Presupuesto de la obra. Entrevista con el responsable del proyecto. (Capítulo IV), Análisis comparativo.	Facilita la planificación financiera y garantiza el continuo funcionamiento del sistema.
9	La tecnología de lodos activados (CODEMET), aunque es eficaz, tiene unos	Técnico-económico	Análisis comparativo. (Capítulo	Requiere personal más especializado, lo que aumenta el riesgo de mal

	costes operativos más elevados y una mayor complejidad de gestión que una planta de tratamiento compacta.		IV), Entrevista con el responsable del proyecto.	funcionamiento en caso de paro.
10	La perforación horizontal con HDPE minimiza las perturbaciones de la superficie, protege la estructura vial existente y reduce el impacto de la comunidad.	Ambiental /Social	Leopold Matriz(Capítulo IV),	Este es el método de instalación menos invasivo, que promueve la aceptación social y reduce los costes de sustitución del material de la vía pública.

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

Propuesta final seleccionada

A partir del análisis técnico, económico y ambiental, validado por un informe técnico, se seleccionó la siguiente combinación como solución ideal para el proyecto Valles de la Beata:

- Sistema de recogida: tubería HDPE de 250 mm instalada con perforación direccional horizontal.
- Sistema de tratamiento: Planta compacta de tratamiento de aguas residuales de la empresa INTAL.

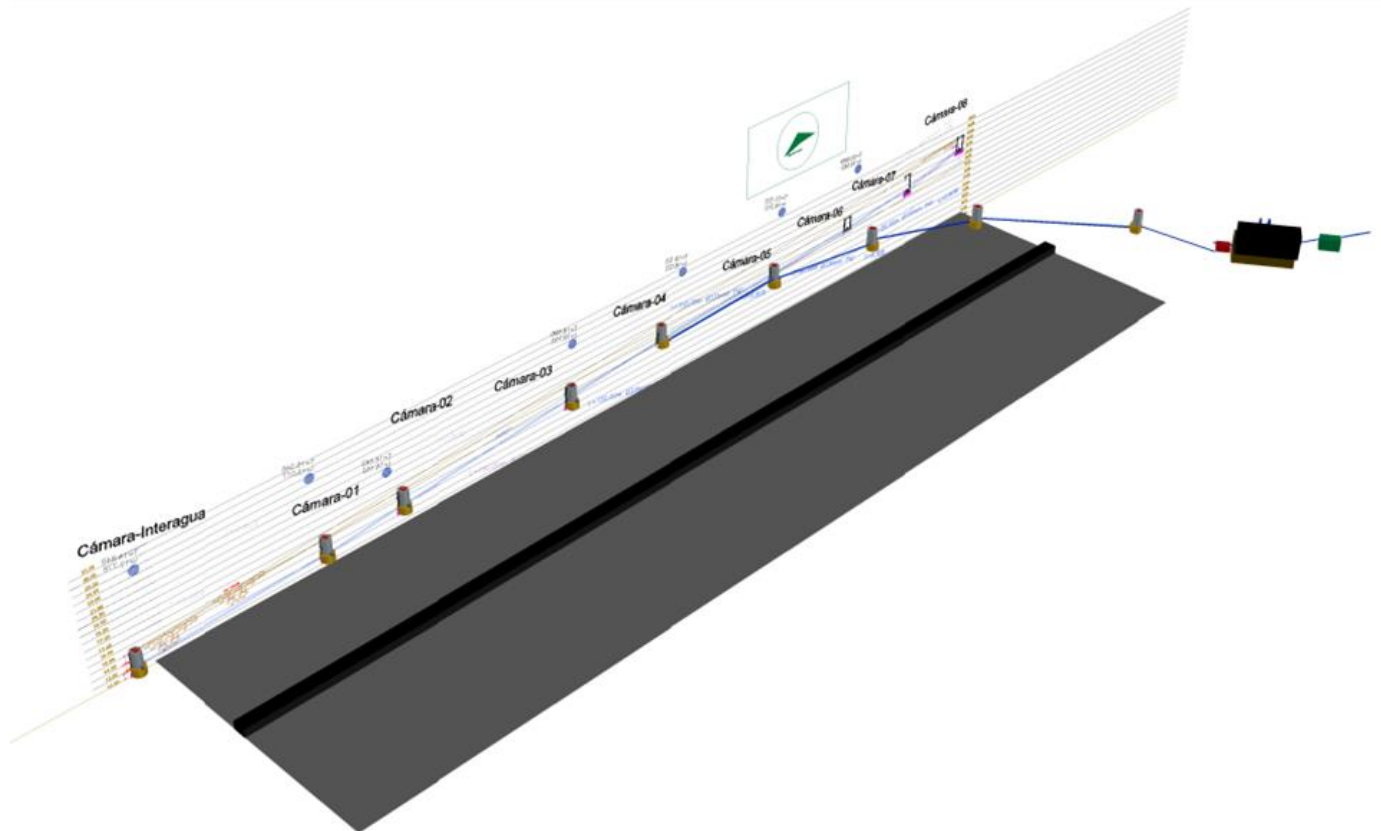
Esta combinación obtuvo la mayor puntuación global (10 + 12 = 22 puntos).
Cumple con la normativa local (TULSMA, NEC-11, ordenanzas municipales).

Minimiza los impactos ambientales y sociales durante su instalación y funcionamiento. Ofrece la mejor relación coste-beneficio a largo plazo, con una vida útil de 50 años y un mantenimiento anual asequible. Es escalable, permitiendo futuras conexiones con proyectos vecinos, tal y como planificó Interagua.

La instalación se realizará mediante termofusión, creando juntas más resistentes que las de la tubería principal. El proceso incluye la excavación controlada, la preparación de la cama de arena, la instalación de tuberías y accesorios, el relleno compactado y las pruebas de presión hidrostática. Este método garantiza la estanqueidad completa del sistema y elimina el riesgo de infiltración o escapes, proporcionando un sistema fiable que requiere un mantenimiento mínimo durante toda su vida útil.

Figura 17

Maqueta 3D del sistema combinado de PTAR INTAL y la tubería HDPE.



Nota: En la maqueta 3D se pueden apreciar en el lado izquierdo al sistema de alcantarillado HDPE y en el lado derecho a la planta de tratamiento propuesta para la urbanización Valles de La Beata, la PTAR está a un nivel de cota superior al de las cámaras de inspección.

Elaborado por: Anchundia y Cercado (2025)

CONCLUSIONES

Se identificaron los criterios técnicos, económicos y ambientales más relevantes para la selección de las alternativas de tratamiento, estableciendo parámetros específicos como la eficiencia hidráulica (velocidad de 1,52 m/s), la capacidad de tratamiento (eficiencia del 85 al 90%), la vida útil de los componentes (25 a 50 años) y la vida útil de los componentes. Estos criterios sirvieron de base para la evaluación comparativa y permitieron establecer un sistema de puntuación objetivo, teniendo en cuenta los aspectos técnicos (4 puntos), económicos (3-4 puntos) y ambientales (2-4 puntos).

Se identificaron cuatro alternativas viables de tratamiento de aguas residuales a partir de análisis de vanguardia y casos prácticos de éxito: la depuradora compacta de aguas residuales INTAL, la depuradora de fangos activados CODEMET, el sistema de tuberías horizontales HDPE y el sistema convencional de tuberías de PVC al aire libre. El análisis de estudios de casos nacionales e internacionales, incluida la experiencia de Interagua con tuberías HDPE en Guayaquil, demostró la superioridad técnica y operativa de estas tecnologías en condiciones de clima tropical similares a las del área de estudio.

La planta depuradora compacta de aguas residuales INTAL (puntuación total: 10 puntos), combinada con el sistema de tuberías HDPE horizontal (puntuación total: 12 puntos), se consideró la alternativa ideal desde una perspectiva técnica, económica y ambiental, superando al resto de alternativas evaluadas. Esta solución garantiza un impacto negativo mínimo en el entorno urbano de Valles de la Beata, con una eficiencia de eliminación del 85 al 90%, un tiempo de retención de 1,30 días, una superficie requerida de 167,17 m² y el cumplimiento de las normas NEC-11 e Interagua, que representan el mejor valor.

RECOMENDACIONES

Se recomienda desarrollar un protocolo de evaluación estandarizado que integre los criterios técnicos, económicos y ambientales identificados, incluyendo indicadores de rendimiento específicos para futuros proyectos similares en la región. Este protocolo debería incluir metodologías de cálculo actualizadas de tasas de autolimpieza, factores de seguridad hidráulica, análisis coste-beneficio a 50 años y matrices de impacto ambiental adaptadas a las condiciones tropicales, estableciendo así un marco de referencia reproducible para otros proyectos.

Por otro lado, la base de datos de logros y tecnologías emergentes en tratamiento de aguas residuales, estableciendo alianzas estratégicas con universidades y empresas especializadas para el intercambio continuo de conocimiento.

Aplicar una investigación geotécnica detallada del sitio antes de la construcción para validar los parámetros de diseño establecidos, así como la elaboración de un plan integral de gestión ambiental, que incluya medidas específicas de mitigación para el control de polvo y ruido, gestión de residuos sólidos y protección del tráfico. También se ofrece un programa de formación técnica para operadores locales y contratos de mantenimiento preventivo para garantizar el funcionamiento a largo plazo del sistema y, en consecuencia, la sostenibilidad de la inversión.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- Alagha, O. A. (2020). *Suitability of SBR for wastewater treatment and reuse: Pilot-Scale reactor operated in different anoxic conditions*. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(1617). . <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32131553/>
- Andrade, R. (2020). *Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno – 2020*. Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/241>
- Baawain, M. A.-M.-S. (2020). *Public perceptions of reusing treated wastewater for urban and industrial applications: Challenges and opportunities*. *Environ. Dev. Sustain.*, 20, 1859–1871. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-018-0266-0>
- Banco Mundial. (19 de 03 de 2020). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends->
- Baskar, A. B. (2022). *Recovery, regeneration and sustainable management of spent adsorbents from wastewater treatment streams: A review*. *Science of The Total Environment*, 822(153555). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722006477?via%3Dihub>
- Beata, V. d. (2024). *Conjunto Residencial*. vallesdebeata.com: <https://vallesdebeata.com/>
- Bermúdez, J. y. (2020). *Evaluación y diagnóstico a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas del Casco Urbano del Municipio de Guasca Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- BIOBOX. (2024). *Biobox-Water.Com*. Empresa de Tratamiento de aguas: <https://Biobox-Water.Com/>.
- Chernicharo, C. &. (2023). *Tratamiento de aguas residuales municipales (Nota Técnica No. 2601)*. New York: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Chojnacka, K. W. (2020). *A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges*. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 130(109959). . <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032120302501>

- COOTAD. (2019). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. Quito: Artículo 55, Título II.
- Dutta, D. A. (2021). *Industrial wastewater treatment: Current trends, bottlenecks, and best practices*. *Chemosphere*, 285, 131–245. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521017173?via%3Dihub>
- Ecuador, A. N. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Registro Oficial Suplemento 983, 12 de abril de 2017. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Codigo-Organico-del-Ambiente.pdf>
- Ecuador, C. d. (2008). *CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR*. <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>
- Ecuador, C. d. (2023). *Coalición para impulsar políticas de aguas residuales en Ecuador*. <https://reefresilience.org/es/case-studies/ecuador-wastewater-policy/>
- EMAPA. (2020). *Reglamento De Prestación De Servicios De La Ep-Emapa-a*. www.emapa.gob.ec: <https://www.emapa.gob.ec/portal/wp-content/uploads/2020/07/Reglamento-de-prestación-de-servicios-EP-EMAPA-A-2020.pdf>
- EMAPAG-EP. (2019). *Estudio del impacto ambiental de la planta de tratamiento de Mi Lote*. Guayaquil: Acotecnic.
- EPMAPS. (2023). *La Norma Técnica De Drenaje Pluvial, Alcantarillado Sanitario Y Separación De Caudales Para El Distrito Metropolitano De Quito*. 1, 1–202. <https://www.registroficial.gob.ec/index.php/registro-oficial-web/publicaciones/ediciones-especiales/item/18828-edicion-especial-no-914>
- Fito, J. y. (2021). *Wastewater reclamation and reuse potentials in agriculture: Towards environmental sustainability*. *Environ. Dev. Sustain.*, 23, 2949–2972. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-020-00732-y>
- Garzón, L. G. (2021). *Estudio de factibilidad para el tratamiento de las aguas residuales para la cabecera del corregimiento de Juntas – Tolima*. Medellín. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Guayaquil, A. d. (2022). *Gacetas y Ordenanzas*. Guayaquil.Gob.Ec: <https://Guayaquil.Gob.Ec/Gacetas-y-Ordenanzas/>.

- Guayaquil, G. M. (2024). *Guayaquil cuenta con agua de calidad y avanza en soluciones para el tratamiento de aguas residuales*. .
<https://www.guayaquil.gob.ec/guayaquil-cuenta-agua-calidad-avanza-soluciones-tratamiento-aguas-residuale>
- Hashim, K. S.-J. (2021). *Effects of organic matter on the performance of water and wastewater treatment: Electrocoagulation a case study*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1184(1). . <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1184/1/012018>
- Hernández, C. (2022). *Diseño de planta estándar de bajo volumen para tratamiento de las aguas servidas de Quito*. Quito: Universidad Internacional SEK.
- Holcomb, D. &. (2020). *Microbial indicators of fecal pollution: Recent progress and challenges in assessing water quality*. *Current Environmental Health Reports*, 7(3), 311–324. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00278-1>
- Housni, M. H. (2020). *Electrochemical removal of nitrate from wastewater*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 888(1), 012037. . <https://doi.org/10.1088/1757-899X/888/1/012037>
- Humanante, J. M. (2022). *Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de de Santa Elena*. *Manglar*, 19(2). . <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.022>
- Kesari, K. S. (2021). *Wastewater treatment and reuse: A review of its applications and health implications*. *Water Air Soil Pollut*, 232(208). . <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-021-05154-8>
- Khan, S. P. (2022). *Environmental technology and wastewater treatment: Strategies to achieve environmental sustainability*. *Chemosphere*, 286(131532). . <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004565352102004X>
- Li, E. S. (2021). *Biological indicators for fecal pollution detection and source tracking: A review*. *Processes*, 9(11), 2058. <https://doi.org/10.3390/pr9112058>
- Liao, Z. C. (2021). *Wastewater treatment and reuse situations and influential factors in major Asian countries*. *J. Environ. Manag.*, 282(111976). . <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721000384?via%3Dihub>

- López, D. J. (2020). *Sistema de alcantarillado y aguas residuales en Guayaquil. HOLOPRAXIS. Revista De Ciencia, Tecnología E Innovación*, 4(1), 082–094. <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/holopraxis/article/view/3066>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso*. <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>
- Montero, F. M. (2020). *Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador. Ciencia, Ambiente y Clima*, 39(1), 23-39. <https://revistas.intec.edu.do/index.php/cienacli/article/view/1803/2332>
- MTOP, M. d. (2012). *Libro A Norma para estudios y diseños viales. Ministerio de Transporte y Obras Públicas Del Ecuador, Volumen 2A*, 1–382. Quito. Libro A Norma para estudios y diseños viales. Ministerio de Transporte y Obras Públicas Del Ecuador, Volumen 2A, 1–382.
- Navarro, L. (2022). *Evaluación integral del sistema de tratamiento de aguas residuales del Cantón Caluma. Escuela Superior Politécnica del Litoral*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54299>
- Nazer, H. (2022). *Evaluación técnica y económica de un sistema de reúso y tratamiento de aguas servidas provenientes de PTAS Loma Larga ESVAL S.A. Universidad de Valparaíso*. <https://repositoriobibliotecas.uv.cl/serveruv/api/core/bitstreams/5b8548f0-3b3d-4813-a12c-ecd09c25dbba/content>
- Nishat, A. Y. (2023). *Wastewater treatment: A short assessment on available techniques. Alexandria Engineering Journal*, 76, 505-516. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.06.054>
- Peña, S. M. (2019). *Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Yaguachi (Ecuador). Ciencia e Ingeniería*, 39(2), 161-169. <https://www.redalyc.org/journal/5075/507557606007/html/>
- Rotoplas. (2025). *Tanques de Agua, Biodigestores, Cisternas*. <https://rotoplas.com.ec/>

- Saravia, S. G. (2022). *Oportunidades de la economía circular en el tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe*.
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3413ec71-7292-4ce7-95a8-a6b4aa53faae/content>
- Silva, J. (2023). *Wastewater treatment and reuse for sustainable water resources management: A systematic literature review*. *Sustainability*, 15(14), 10940.
<https://doi.org/10.3390/su151410940>
- TULSMA. (2017). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULSMA*. Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003, 3399, 407. :
<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Ugrina, M. &. (2024). *Advances in Wastewater Treatment*. *Energies*, 17(1400). <https://doi.org/10.3390/en17061400>

ANEXOS

Anexo 1

Instrumento de las entrevistas a los expertos para la realización del análisis cualitativo.

Conocer la información técnica de los expertos, se ha desarrollado el siguiente instrumento de entrevista, la cual es de carácter cualitativo, administrativo y de operación sobre la condición actual y futura de la urbanización, para analizar las propuestas para el tratamiento de las aguas residuales de Valles de la Beata, de la cual ya se tienen 2 alternativas, siendo una es una PTAR Biofilm y la otra de biodigestor.

El tipo de entrevista será semiestructural, a las cuales se le va a preguntar a un representante del departamento de administración de la organización, a un jefe de obras especialista en redes de agua urbana y a un experto representante del departamento de mantenimiento de Interagua o Emapag.

Entrevista con el administrador de la urbanización

Representante del departamento de Administración de la urbanización Valles de la Beata

1. ¿Cuántas viviendas y establecimientos comerciales están previstas en el Valles de la Beata?

- Actualmente, la urbanización cuenta con 174 viviendas y 20 establecimientos comerciales. No existen proyectos de ampliación previstos para el futuro inmediato, pero se espera un crecimiento paulatino de los usuarios en los próximos años.

2. ¿Cuál es el consumo de agua mensual aproximado por el que está diseñada la red de agua potable de la urbanización?

- El consumo medio mensual es de más o menos 200.000 litros al día, o también, 250 litros por habitante aproximadamente (residentes y visitantes).

3. ¿Qué obstáculos o requisitos relacionados con el sistema de saneamiento te has encontrado o prevén encontrar?

- El obstáculo es la falta de conexión directa a la red pública de alcantarillado y el cumplimiento de la normativa ambiental es también una preocupación.

4. ¿Cómo se eliminan las aguas residuales? ¿Dónde desaguará el agua pluvial?

- Las aguas lluvias se canalizan temporalmente hacia una colina cercana. Las aguas sanitarias se dirigen de desagües hacia pozos sépticos, pero está previsto conectarlos al alcantarillado público de Interagua.

5. ¿Qué comentarios ha recibido de los vecinos sobre los efectos de las aguas residuales?

- Los residentes mencionan olores y preocupaciones por la contaminación del suelo. También hubieron quejas por daños debido a la acumulación de agua.

6. ¿El proyecto tiene un espacio dedicado para una depuradora de aguas residuales?
¿Qué obstáculos te has encontrado?

- Sí, existe un área verde para la depuradora de aguas residuales. Los obstáculos incluyen los costes de construcción, los permisos municipales y la necesidad de educar a los residentes sobre la gestión ambiental.

7. ¿Los residentes están dispuestos a invertir en la mejora y el mantenimiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales?

- La mayoría está dispuesta a contribuir, pero es necesario aclarar los costes y los beneficios. Algunos prefieren que el gobierno de la ciudad o Interagua se responsabilice.

8. ¿Qué consideraciones ambientales o sociales prioriza a la hora de construir un sistema de alcantarillado?

- Priorizamos la minimización de los impactos visuales y olfativos, garantizando la sostenibilidad del sistema y el cumplimiento de la normativa para evitar sanciones.

Anexo 2

Entrevista con el responsable del proyecto (especialista en redes de agua)

1. ¿Qué especificaciones técnicas recomendarías para el sistema de alcantarillado?
 - Se recomiendan tuberías HDPE de 250 mm por su durabilidad (más de 50 años) y resistencia química. También se recomiendan las cámaras de inspección cada 130 m y una pendiente aproximada del 0,6% para evitar la sedimentación.
2. ¿Cuál sería la profundidad, distancias y dimensiones medias de las instalaciones?
 - Fondo subterráneo mínimo de 90 cm, zanjas de 1,2 m de ancho, tuberías hdpe de 130 m de longitud y tuberías con juntas estancas para evitar escapes.
3. ¿Con qué frecuencia se requiere mantenimiento y cuáles son los problemas más habituales?
 - Mantenimiento bianual: limpieza de rejillas y trampas de arena. Problemas habituales: obstrucciones causadas por sólidos y raíces de los árboles.
4. ¿Qué normas técnicas municipales se recomendaría aplicar?
 - Normas MTOP de saneamiento, TULSMA (Código Orgánico Ambiental) y ordenanzas municipales de Guayaquil para la eliminación de aguas residuales.
5. ¿Qué aspectos deben tenerse en cuenta a la hora de instalar una depuradora en la red pública de alcantarillado?
 - Coordinar futuras conexiones con Interagua, garantizar que los efluentes cumplen los límites máximos admisibles y diseñar un sistema escalable.
6. ¿Qué otros proyectos similares se han observado en otros proyectos?
 - En proyectos como el de Mi Lote se han utilizado plantas de tratamiento de fangos activados. El objetivo era integrar el mantenimiento preventivo con los costes operativos.
7. ¿Qué tipo y frecuencia de mantenimiento prevés para el Valles de la Beata?
 - Limpieza mensual de la rejilla, inspección trimestral de la bomba y análisis semestral de DBO/DQO.
8. ¿Cuál de las dos opciones de depuradora de aguas residuales elegiría? ¿Y por qué?
 - La depuradora de aguas residuales de INTAL, por su eficiencia (90% de eliminación de DBO), menor impronta, y facilidad de expansión. La propuesta de CODEMET, aunque más económica es menos moderna que la PTAR de INTAL.

Anexo 3

Entrevista con el técnico de Interagua

1. ¿Cuál es la normativa impuesta por el municipio para la conexión a la red pública de alcantarillado?

- Cumplir con TULSMA (Ley Unificada de Legislación Ambiental), especialmente para parámetros como DBO (<100 mg/L) y coliformes fecales (<1.000 MPN/100 mL).

2. ¿Cuáles son los requisitos para el vertido de efluentes a las cloacas públicas?

- Presentar estudio de impacto ambiental, licencias de obras y certificados que acrediten que los efluentes no superan los límites permisibles de las normativas.

3. ¿Qué normativas en Ecuador se aplican a Guayaquil?

- La Constitución del Ecuador, el Código del agua TULSMA y las normas EMAPAG con respecto al caudal y la calidad de los efluentes.

4. ¿Qué otros proyectos se conectarán a la red Mi Lote?

- Además del Valles de la Beata, se prevé la conexión de proyectos de Pascuales vecinos. El reto es gestionar el aumento del caudal sin saturar las lagunas de oxidación.

5. ¿Cuál es la capacidad prevista de la red de alcantarillado y las lagunas de oxidación?

- La depuradora de Los Merinos (puesta en funcionamiento aproximadamente en 2026) reducirá la carga, pero hasta entonces las lagunas Mi Lote deberán recibir efluentes pretratados para evitar sobrecargas.

6. ¿Qué piensa de los sistemas de biofiltro o biodigestor compacto?

- Los biofiltros son ideales para proyectos por su eficiencia y bajo mantenimiento. Los biodigestores son útiles en las zonas rurales, pero requieren un mayor espacio y una gestión más compleja de los lodos activados.

7. Interagua ofrece asistencia técnica para estos sistemas comunitarios.

- Sí, ofrecemos asesoría de diseño, pero la construcción y los costes son responsabilidad del promotor. Recomendamos consultar con especialistas.

Anexo 4

Fotografías del trabajo en campo de la urbanización.







Anexo 5

Libreta de mediciones topográficas.

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO CONEXIÓN A RED EXISTENTE

LIBRETA DE
NIVELACION

PUNTO	V.ATR AZ	V.INTERME DIA	V.ADELA NTE	H+I	COT A	OBSERVACIONES
BM - 1	1.773			17.0 02	15.22 9	
0+000 TAPA		2.153			14.84 9	TAPA DE CAMARA AASS EXISTENTE
INVER		4.226			12.77 6	INVER DE CAMARA AASS EXISTENTE
0+020		1.805			15.19 7	CALLE DE CONCRETO
0+035 TAPA		1.656			15.34 6	AS-F-01
INVER		3.925			13.07 7	
0+040		1.508			15.49 4	CALLE DE CONCRETO
0+060		1.061			15.94 1	
0+080		0.843			16.15 9	
0+100		0.751			16.25 1	
0+120 BM - 2	1.649		0.629	18.0 22	16.37 3	
0+140		1.543			16.47 9	
0+160 TAPA		1.46			16.56 2	AS-F-02
INVER		3.87			14.15 2	
0+180		1.373			16.64 9	
0+200		1.29			16.73 2	

0+220		1.216			16.80 6	
0+240 BM-3	1.556		1.147	18.4 31	16.87 5	
0+260		1.498			16.93 3	
0+280		1.465			16.96 6	
0+300		1.367			17.06 4	
0+310 TAPA		1.313			17.11 8	AS-F-03
INVER		2.989			15.44 2	
0+320		1.259			17.17 2	
0+340		1.06			17.37 1	
0+360 BM-4	2.269		0.723	19.9 77	17.70 8	
0+380		2.042			17.93 5	
0+400		1.78			18.19 7	
0+420		1.511			18.46 6	
0+440		1.253			18.72 4	
0+460 TAPA		0.997			18.98	AS-F-04
INVER		3.245			16.73 2	
0+480 BM-5	1.521		0.748	20.7 5	19.22 9	
0+500		1.505			19.24 5	
0+520		1.508			19.24 2	
0+540		1.441			19.30 9	
0+560		1.446			19.30 4	
0+580		1.41			19.34	
0+600		1.273			19.47 7	

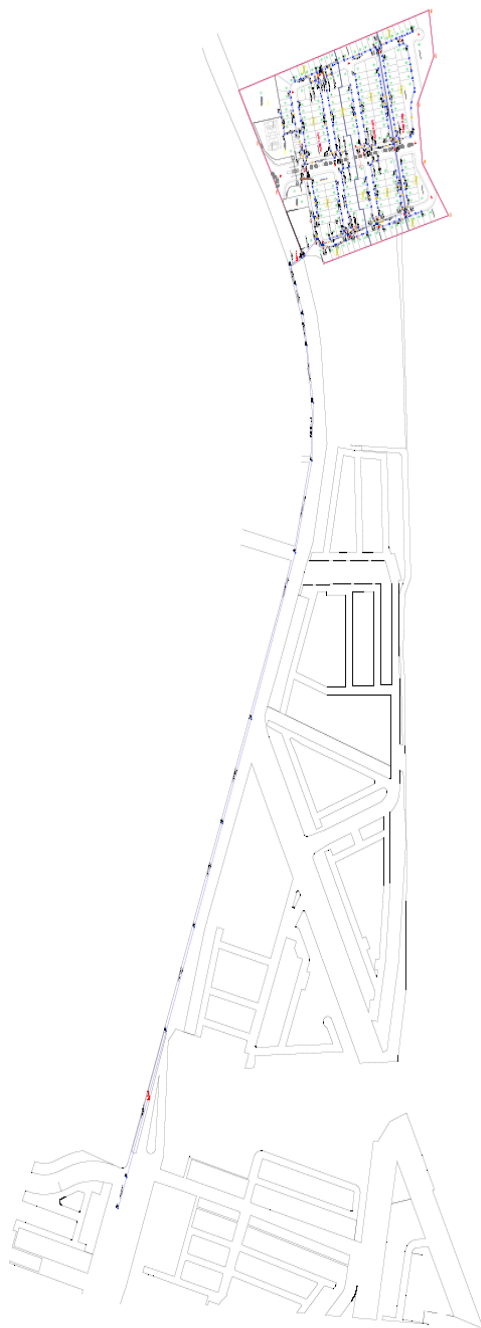
0+610 TAPA		1.027			19.72 3	AS-F-05
INVER		2.728			18.02 2	
0+620 BM-6	3.221		0.782	23.1 89	19.96 8	
0+640		2.68			20.50 9	
0+660		2.08			21.10 9	
0+680		1.537			21.65 2	
0+700		1.267			21.92 2	
0+720		1.184			22.00 5	
0+740		1.263			21.92 6	
0+760 BM-7	0.633		1.467	22.3 55	21.72 2	AS-F-06
INVER		3.043			19.31 2	
0+780		0.992			21.36 3	
0+800		1.248			21.10 7	
0+820		1.388			20.96 7	
0+840		1.431			20.92 4	
0+850 TAPA		1.356			20.99 9	AS-F-07
INVER		2.773			19.58 2	
0+860		1.281			21.07 4	
0+880 BM-8	1.752		0.96	23.1 47	21.39 5	
0+900		1.562			21.58 5	
0+920		1.403			21.74 4	
0+940 TAPA		1.328			21.81 9	AS-F-08
INVER		3.025			20.12 2	

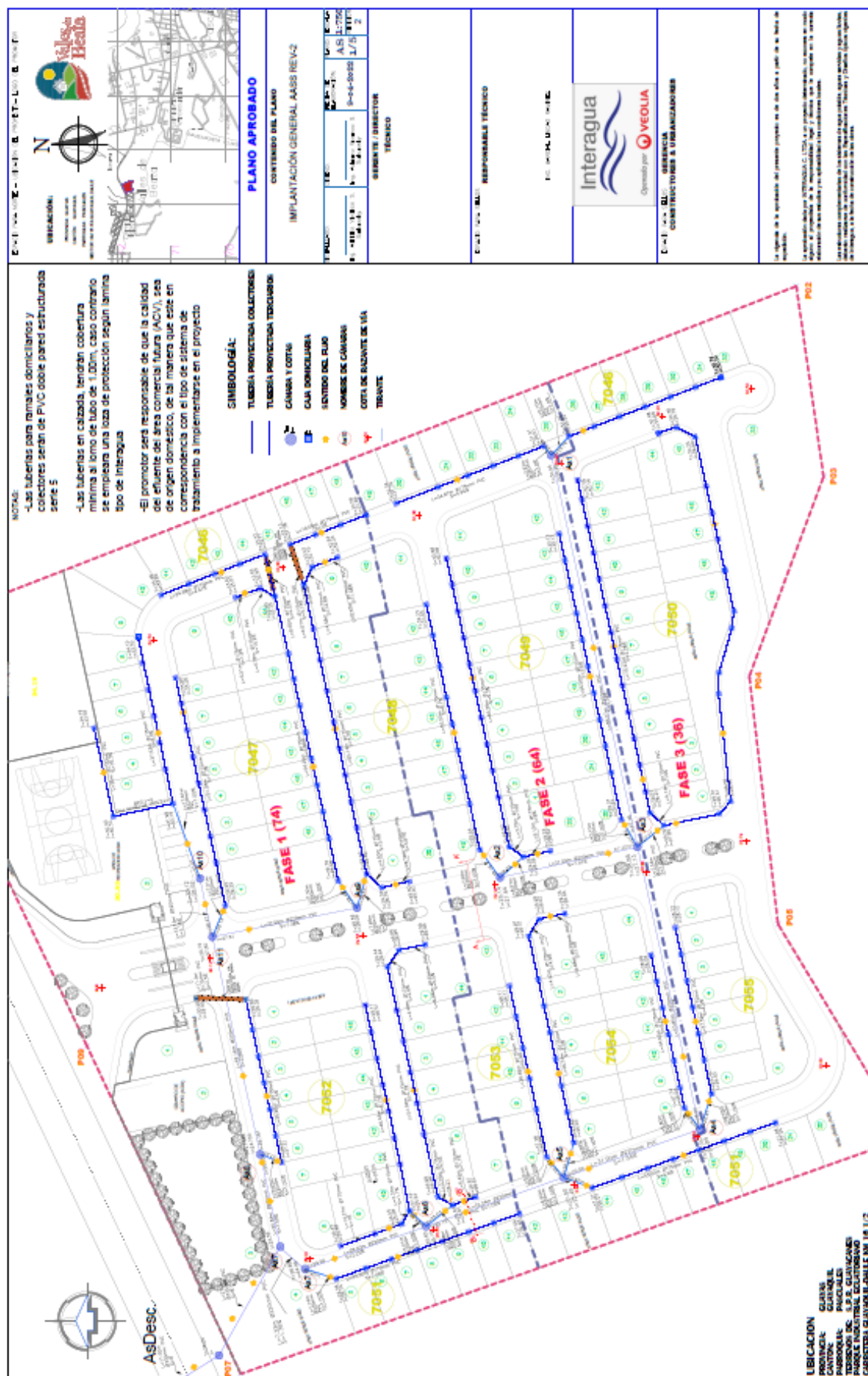
0+960		1.236			21.91 1	
0+980		1.111			22.03 6	
1+000 BM-9	2.311		0.94	24.5 18	22.20 7	
1+020 TAPA		2.126			22.39 2	AS-F-09
INVER		3.756			20.76 2	
1+040		1.798			22.72	
1+060		1.407			23.11 1	
1+080		1.074			23.44 4	
1+090 TAPA		0.948			23.57	AS-F-10
INVER		2.986			21.53 2	
1+100		0.823			23.69 5	
1+120 BM-10	2.159		0.553	26.1 24	23.96 5	
1+140		1.962			24.16 2	
1+160		1.639			24.48 5	
1+170 TAPA		1.55			24.57 4	AS-F-11
INVER		3.632			22.49 2	
1+180		1.462			24.66 2	
1+200 TAPA		1.021			25.10 3	AS-F-12
INVER		3.021			23.10 3	
1+211,50 TAPA		0.748			25.37 6	AS-F-13
INVER		2.791			23.33 3	
BM-11	2.917		1.031	28.0 1	25.09 3	
1+238,50 TAPA		1.485			26.52 5	CAMARA DE LLEGADA AS"7

1+238,50 INVER		3.661			24.34 9	CAMARA DE LLEGADA AS"7
BM-12	2.214		1.363	28.8 61	26.64 7	
1+258 TAPA		1.413			27.44 8	CAMARA AS"8
1+258 INVER 1		4.362			24.49 9	CAMARA AS"8
1+258 INVER 2		2.68			26.18 1	CAMARA AS"8

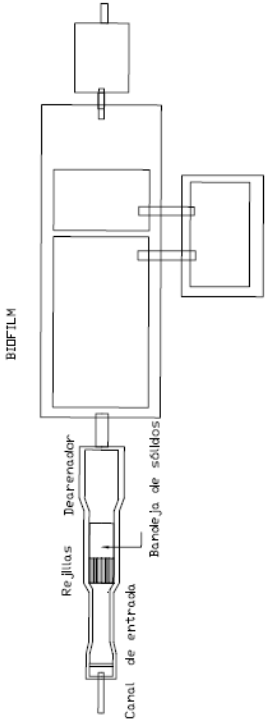
Anexo 6

Planos de la urbanización Valles de la Beata.

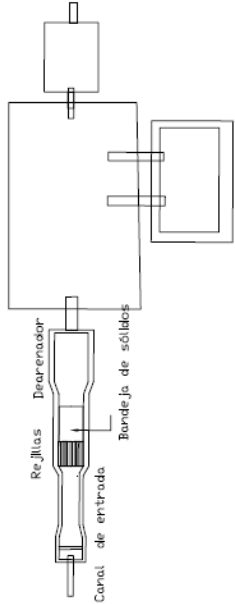
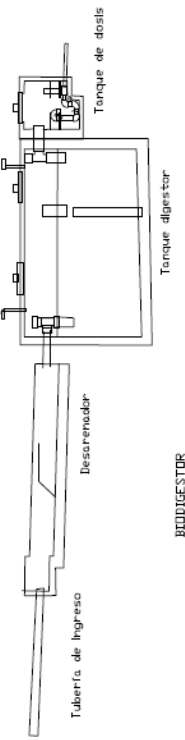


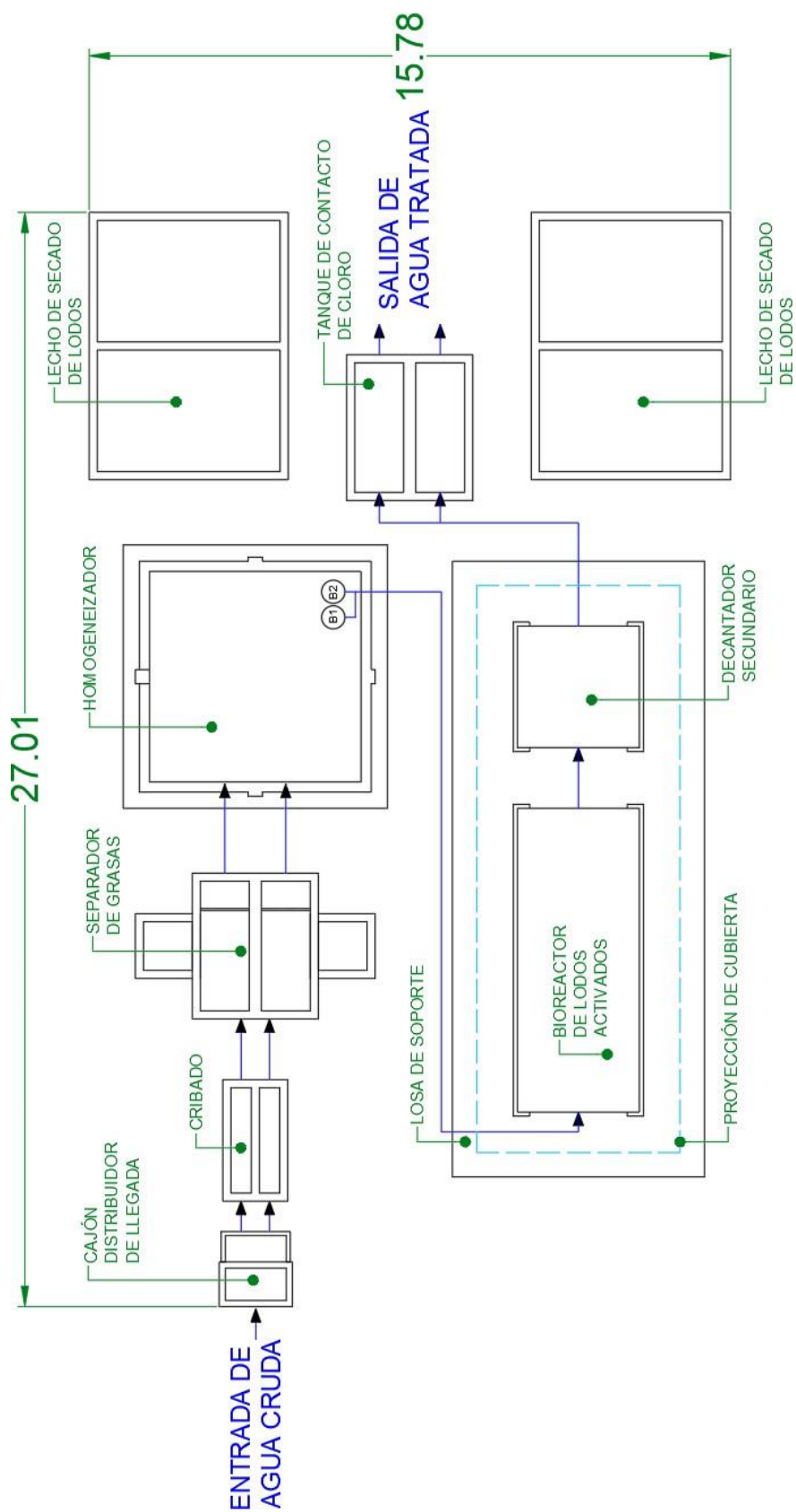


PTAR BIOFILM

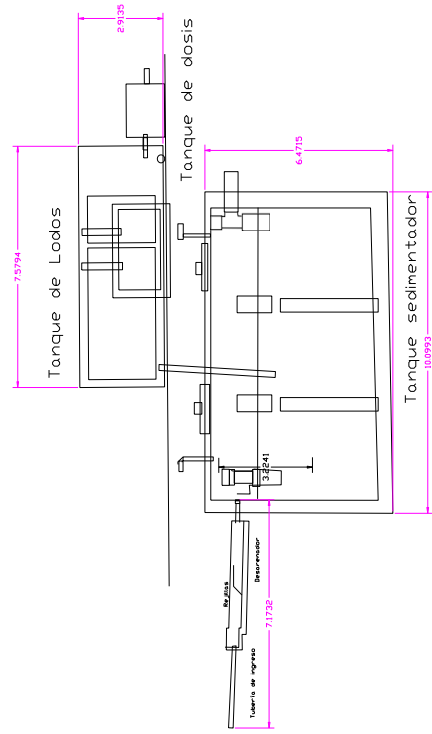
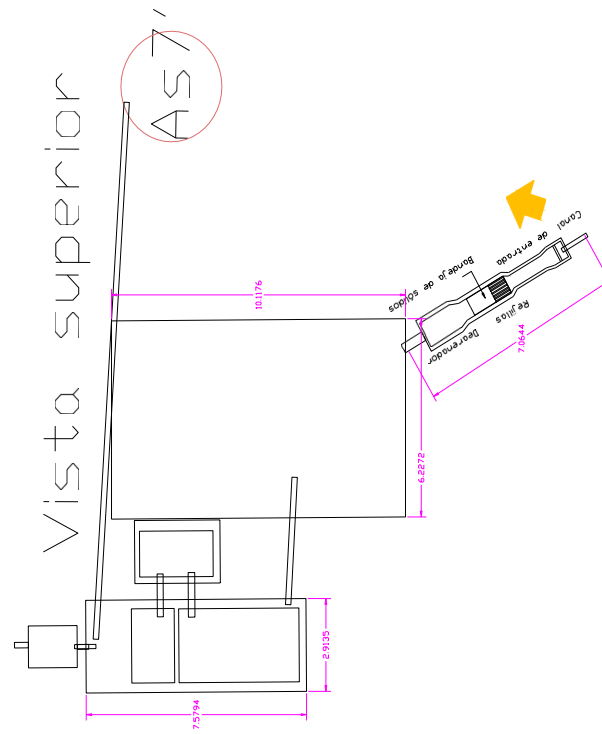


PTAR DIGESTOR





PTAR BIOFILM



Vista lateral