



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

**Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales
para la cabecera parroquial Licto perteneciente al cantón
Riobamba, Provincia de Chimborazo**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero
Ambiental**

Autor:

Álvarez Cárdenas, Cesar Armando

Vilema Romero, Neiser Omar

Tutor:

Mgs. Maria Fernanda Rivera Castillo

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Cesar Armando Álvarez Cárdenas** con cédula de ciudadanía **0927576843** y **Neiser Omar Vilema Romero** con cédula de ciudadanía **0605113893**, autores del trabajo de investigación titulado: **Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la cabecera parroquial Licto perteneciente al cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los veintinueve días del mes de mayo del 2025.



Cesar Armando Álvarez Cárdenas

C.I: 0927576843



Neiser Omar Vilema Romero

C.I: 0605113893

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. María Fernanda Rivera catedrática adscrita a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la cabecera parroquial Licto perteneciente al cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo**, bajo la autoría de Álvarez Cárdenas Cesar Armando y Vilema Romero Neiser Omar; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los cuatro días del mes abril.



Ing. María Fernanda Rivera

C.I: 0603452947

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación "Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la cabecera parroquial Licto perteneciente al cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo", presentado por Cesar Armando Álvarez Cárdenas con cédula de ciudadanía 0927576843 y Neiser Omar Vilema Romero con cédula de ciudadanía 0605113893, bajo la tutoría de Mgs. María Fernanda Rivera Castillo; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Dra. Silvia Hipatia Torres Rodríguez, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Dr. Iván Alfredo Ríos García, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Guido Patricio Santillán Lima, MgS.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **ÁLVAREZ CÁRDENAS CÉSAR ARMANDO** con CC: **0927576843** y **VILEMA ROMERO NEISER OMAR** con CC: **0605113893**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la cabecera parroquial Licto perteneciente al cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo**", cumplen con el **2 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Compilatio**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 19 de mayo de 2025



Firmado electrónicamente por:
**MARIA FERNANDA
RIVERA CASTILLO**

Validar únicamente con FirmaEC

Mgs. María Fernanda Rivera Castillo
TUTOR(A)

DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, quien ha guiado cada paso de mi camino, dándome la paciencia y el valor para superar los desafíos. A mi familia, por su amor incondicional y apoyo constante, siendo mi pilar en los momentos de dificultad. A mis amigos y docentes, por su inspiración y guía a lo largo de este proceso. Que este logro sea un testimonio de fe, esfuerzo y perseverancia, siempre con la certeza de que todo es posible con la bendición de Dios.

Cesar Armando Álvarez Cárdenas

Con gratitud y respeto, dedico este trabajo a todas aquellas personas que, de una u otra manera, han sido parte de este camino. A mi familia, por su apoyo incondicional; a mis amigos, por su compañía y aliento, a mi persona especial quien siempre me acompaña; a mis docentes, por compartir su conocimiento y guiarme en este proceso. A todos aquellos que creen en el poder del esfuerzo y la perseverancia, esta meta alcanzada es también un reflejo de su inspiración.

Neiser Omar Vilema Romero

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por concederme sabiduría para poder concluir de la mejor manera este hermoso viaje llamado estudio. Agradezco a mi hermosa familia por apoyarme en todo, este trabajo no habría sido posible sin su colaboración. Gracias de todo corazón por formar parte de este logro.

Cesar Armando Álvarez Cárdenas

Agradezco profundamente a todas las personas que, de una u otra manera, han sido parte de este camino. A mi familia, por su apoyo incondicional, su amor y su confianza en mí; en especial a mi madre María, y a mis hermanos Walter y Marcia. A mis docentes, por compartir su conocimiento y guiarme en mi formación. A mis amigos, por su compañía y motivación en los momentos difíciles. A todas aquellas personas que, con su ayuda, hicieron posible la culminación de esta etapa, les expreso mi más sincero agradecimiento. A Grace, por haber sido una persona muy importante en mi vida y por estar conmigo en momentos de suma importancia.

Neiser Omar Vilema Romero

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ECUACIONES

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
CAPÍTULO II.....	19
2 MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 MARCO REFERENCIAL.....	19
2.2 MARCO LEGAL.....	19
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	21
CAPÍTULO III.....	25
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.3 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	26
3.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.....	27

3.4.1 Muestreo	27
3.4.2 Análisis de Laboratorio.....	28
3.5 SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN FUNCIÓN DEL FLUJO VOLUMÉTRICO PARA SATISFACER DEMANDAS ACTUALES Y FUTURAS.....	32
3.5.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO	32
3.5.2 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL.....	33
3.5.3 DISEÑO PRELIMINAR	34
3.5.4 TRATAMIENTO PRIMARIO.....	34
3.5.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO	42
3.6 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE CADA UNIDAD DE PROCESO, Y LOS COSTOS DE DISEÑO ASEGURANDO SU VIABILIDAD Y BENEFICIO PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	53
3.6.1 MODELAMIENTO.....	53
3.6.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y VIABILIDAD	54
CAPÍTULO IV.....	55
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1 MEDICIÓN DE CAUDAL	55
4.2 ANÁLISIS EN LABORATORIO.....	55
4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REJILLAS	59
4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR.....	61
4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO	64
4.6 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE IMHOFF.....	66
4.7 DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO Y TANQUE DE AIREACIÓN	69
4.8 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE CONTACTO	73
4.9 COMPARATIVA GENERAL.....	76
4.10 ANÁLISIS DE COSTOS.....	78
CAPÍTULO V.....	79
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1 CONCLUSIONES.....	79
5.2 RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Técnicas metodológicas de ensayo en laboratorio.....	28
Tabla 2. Límites permisibles de descarga para un cuerpo de agua dulce.	32
Tabla 3. Indicador de biodegradabilidad.....	33
Tabla 4. Criterios de diseños para Cribado o Rejillas.....	34
Tabla 5. Criterios de diseños para el Desarenador.....	37
Tabla 6. Criterios de diseños para el Sedimentador Primario.....	40
Tabla 7. Criterios de diseños para el Tanque Imhoff	43
Tabla 8. Criterios de diseños para el Sedimentador Secundario.....	47
Tabla 9. Criterios para el diseño de un tanque de contacto para cloración.....	50
Tabla 10. Criterios para el diseño de un tanque de aireación	51
Tabla 12. Registro del Caudal pico y promedio por medio del método volumétrico	55
Tabla 11. Comparativa de los límites de la normativa 097-A con los datos obtenidos en laboratorio	55
Tabla 13. Dimensionamiento del sistema de rejillas.....	59
Tabla 14. Dimensionamiento del desarenador.....	62
Tabla 15. Dimensionamiento del sedimentador primario.....	65
Tabla 16. Dimensionamiento del tanque Imhoff	66
Tabla 17. Dimensionamiento del sedimentador secundario	69
Tabla 18. Dimensionamiento del tanque de aireación	71
Tabla 19. Dimensionamiento del tanque de contacto	74
Tabla 20. Tabla de Estimación de la eficiencia de los tratamientos.....	75
Tabla 21. Tabla comparativa de valores iniciales y finales con la normativa vigente...	76
Tabla 22. Tabla de los costos de implementación de la Planta de tratamiento (PTAR).	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio (Cabecera Parroquial de Licto, Cantón Riobamba).	26
Figura 2. Mapa de ubicación del punto de descarga de agua residual (Cabecera Parroquial de Licto, Cantón Riobamba).	28
Figura 3. Comparativa de los valores analizados en laboratorio y establecidos con la normativa	56
Figura 4. Percepción de malos olores cerca de las descargas de agua residual.....	57
Figura 5. Propuesta de la planta de tratamiento de agua residual para la cabecera parroquial de Licto	58
Figura 6. Vista Frontal del Dimensionamiento del Sistema de Rejillas (Plano en Autodesk AutoCAD).....	59
Figura 7. Vista Lateral del Dimensionamiento del Sistema de Rejillas (Plano en Autodesk AutoCAD).....	61
Figura 8. Vista Lateral del Dimensionamiento del Desarenador (Plano en Autodesk AutoCAD).....	62
Figura 9. Vista Frontal del Dimensionamiento del Desarenador (Plano en Autodesk AutoCAD).....	63
Figura 10. Vista Frontal del Dimensionamiento del Sedimentador Primario (Plano en Autodesk AutoCAD).....	66
Figura 11. Vista lateral del Dimensionamiento del Tanque Imhoff (Plano en Autodesk AutoCAD).....	67
Figura 12. Vista Frontal del Dimensionamiento del Tanque Imhoff (Plano en Autodesk AutoCAD).....	68
Figura 13. Vista Lateral del Dimensionamiento del Sedimentador Secundario (Plano en Autodesk AutoCAD).....	70
Figura 14. Vista lateral del Dimensionamiento del Tanque de Aireación (Plano en Autodesk AutoCAD).....	72
Figura 15. Vista Frontal del Dimensionamiento del Tanque de Aireación (Plano en Autodesk AutoCAD).....	73
Figura 16. Vista Lateral del Dimensionamiento del Tanque de Contacto (Plano en Autodesk AutoCAD).....	74
Figura 17. Vista Frontal del Dimensionamiento del Tanque de Contacto (Plano en Autodesk AutoCAD).....	74

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Medición del caudal por el método volumétrico.	33
Ecuación 2. Área libre de paso de agua.....	35
Ecuación 3. Tirante de agua en el canal.....	35
Ecuación 4. Área de sección transversal del flujo	35
Ecuación 5. Altura del canal.....	35
Ecuación 6. Longitud de las barras.....	36
Ecuación 7. Numero de barras (n)	36
Ecuación 8. Nivel máximo de agua en la rejilla	36
Ecuación 9. Longitud sumergida de la barra	36
Ecuación 10. Velocidad de sedimentación.....	37
Ecuación 11. Número de Reynolds.....	38
Ecuación 12. Área total del desarenador	38
Ecuación 13. Capacidad de desarenador	38
Ecuación 14. Área requerida del desarenador	38
Ecuación 15. Ancho del desarenador.....	39
Ecuación 16. Largo del desarenador.....	39
Ecuación 17. Área total del desarenador	39
Ecuación 18. Carga hidráulica.....	39
Ecuación 19. Caudal por la línea del desarenador	39
Ecuación 20. Longitud de la zona de transición	40
Ecuación 21. Volumen del tanque	41
Ecuación 22. Diámetro del tanque.....	41
Ecuación 23. Carga superficial	41
Ecuación 24. Área superficial (A)	41
Ecuación 25. Tiempo de retención hidráulico (TRH).....	42
Ecuación 26. Velocidad de ascenso (Vs)	42
Ecuación 27. Volumen de la cámara de sedimentación	43
Ecuación 28. Volumen de la cámara de digestión	44

Ecuación 29. Área superficial de la cámara de sedimentación.....	44
Ecuación 30. Ancho de la cámara de sedimentación.....	44
Ecuación 31. Longitud de la cámara de sedimentación.....	45
Ecuación 32. Área de las ventosas de la cámara de sedimentación.....	45
Ecuación 33. Ancho de las ventosas de la cámara de sedimentación.....	45
Ecuación 34. Ancho total del tanque	45
Ecuación 35. Profundidad de la cámara de sedimentación.....	46
Ecuación 36. Volumen real de la cámara de sedimentación	46
Ecuación 37. Altura de la cámara de digestión.....	46
Ecuación 38. Volumen de la cámara de digestión	46
Ecuación 39. Volumen real de la cámara de espumas	47
Ecuación 40. Altura de la cámara de espumas	47
Ecuación 41. Altura total del tanque Imhoff	47
Ecuación 42. Volumen del tanque	48
Ecuación 43. Altura del tanque.....	48
Ecuación 44. Profundidad del tanque	49
Ecuación 45. Diámetro del tanque.....	49
Ecuación 46. Área del tanque	49
Ecuación 47. Volumen del tanque de contacto	50
Ecuación 48. Área del tanque	50
Ecuación 49. Ancho del tanque	50
Ecuación 50. Largo del tanque	51
Ecuación 51. Velocidad del flujo.....	51
Ecuación 52. Dosis de cloro	51
Ecuación 53. Volumen del tanque de aireación	52
Ecuación 54. Área superficial del tanque	52
Ecuación 55. Altura del tanque.....	52
Ecuación 56. Largo del tanque	52
Ecuación 57. Ancho del tanque	53

RESUMEN

El presente estudio tiene como finalidad diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para la cabecera parroquial de Licto, en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. El objetivo es reducir la contaminación de los cuerpos de agua y mejorar la calidad de vida local mediante un sistema eficiente y sostenible. Se aplicó una metodología mixta con encuestas, observaciones de campo y análisis de laboratorio para evaluar parámetros como DQO, DBO, turbidez, sólidos suspendidos y coliformes fecales, comparándolos con los límites del Acuerdo Ministerial 097-A.

El sistema propuesto incluye tres etapas: tratamiento primario (cribado, desarenado y sedimentación), secundario (tanque Imhoff, reactor biológico y sedimentador), y terciario (aireación y cloración).

Los resultados muestran que la implementación de la PTAR reducirá significativamente los contaminantes, cumpliendo con la normativa ambiental y protegiendo los recursos hídricos. Además, el diseño es adaptable a las condiciones locales, asegurando su viabilidad técnica y económica.

En conclusión, la propuesta constituye una solución efectiva y sostenible para la gestión de aguas residuales en Licto, mejorando las condiciones sanitarias y ambientales de la población.

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales, contaminación del agua, PTAR, saneamiento ambiental.

ABSTRACT

This study aims to design a Wastewater Treatment Plant (WWTP) for the parish center of Licto, located in Riobamba canton, Chimborazo province. The objective is to reduce contamination of nearby water bodies and improve the local population's quality of life through an efficient and sustainable system. A mixed-methods approach was applied, including surveys, field observations, and laboratory analyses to evaluate parameters such as COD, BOD, turbidity, suspended solids, and fecal coliforms. These were compared against the limits set by Ministerial Agreement 097-A. The proposed system includes three stages: primary treatment (screening, grit removal, and primary sedimentation), secondary treatment (Imhoff tank, biological reactor, and secondary sedimentation), and tertiary treatment (aeration and chlorination). The results indicate that implementing the WWTP will significantly reduce pollutants, comply with environmental regulations, and protect water resources. Moreover, the system's design is adaptable to local conditions, ensuring its long-term technical and economic feasibility. In conclusion, the proposed WWTP offers an effective and sustainable solution for wastewater management in Licto, improving the area's public health and environmental conditions.

Keywords: Wastewater treatment, water pollution, WWTP, environmental sanitation.



Reviewed by:

Mgs. Sofia Freire Carrillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604257881

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua continentales han sido fundamentales para el desarrollo de civilizaciones, pero actualmente enfrentan serios impactos por la contaminación generada por actividades humanas. Entre las principales fuentes contaminantes se encuentran los residuos domésticos, industriales y agrícolas, así como los derrames de petróleo y las actividades mineras (González et al., 2021). Según Arango et al., (2021) la calidad del agua a nivel global se encuentra en una situación crítica, lo que subraya la importancia de implementar políticas efectivas para el manejo y control del vertido de residuos líquidos.

En algunos casos las aguas residuales son conducidas a través del sistema de alcantarillado municipal hasta una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), donde son procesadas para su reutilización. Sin embargo, en muchos casos estas aguas son descargadas directamente en cuerpos hídricos, generando contaminación por la presencia de componentes como: sólidos suspendidos, metano, nitrógeno, fósforo grasas y coliformes fecales. Estos contaminantes que pueden ser generados por partículas de comida, desechos que no se disuelven, por la descomposición de materia orgánica, desechos humanos, detergentes, productos de limpieza, fertilizantes, residuos de alimentos y contaminación fecal (Rojas, 2008). La regulación de los límites permisibles de estos compuestos varía a nivel mundial, ya que cada región establece estándares de calidad del agua según sus necesidades y normativas específicas (Orostegui & Valencia, 2023).

La cabecera parroquial de Licto, en la provincia de Chimborazo, está enfrentando problemas con el manejo de las aguas residuales de sus habitantes, esto es dado principalmente por el crecimiento de la población y la falta de un sistema adecuado para tratarlas. Hoy en día, las aguas sucias de las casas son descargadas en ríos y otros cuerpos de agua sin ningún proceso de limpieza, lo que causa contaminación y pone en riesgo la salud de los habitantes de los alrededores. Debido a esto, en este estudio se va a analizar cómo están las aguas residuales en Licto y proponer un diseño para una Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que ayude a reducir la contaminación, cumpliendo con las leyes ambientales y mejorando la calidad de vida de los habitantes.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la cabecera parroquial de Licto, las aguas residuales domiciliarias provienen principalmente de actividades cotidianas como el uso de sanitarios, duchas, lavadoras y cocinas. Estas aguas contienen una combinación de materia orgánica, nutrientes como nitrógeno y fósforo, detergentes y patógenos. Sin un tratamiento adecuado, estos contaminantes pueden afectar las fuentes de agua y provocar problemas de salud en la población. Un estudio reciente de Baños et al., (2022) resalta que la inadecuada disposición de aguas residuales domiciliarias incrementa el riesgo de enfermedades gastrointestinales y respiratorias, afectando especialmente a grupos vulnerables como niños y adultos mayores. Esta problemática manifiesta la urgente necesidad de implementar soluciones que no solo cumplan con los requisitos técnicos, sino que también sean accesibles y sostenibles para la comunidad afectada.

La ausencia de regulaciones eficaces tanto a nivel local como a nivel nacional ha permitido que esta situación persista, generando efectos perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente. Como respuesta a esta problemática, se propone el diseño óptimo de un sistema de tratamiento de aguas domiciliarias en la cabecera parroquial de Licto, con el objetivo de evitar que el río Chambo sea el principal receptor del vertido directo de aguas sin tratar. Esto genera una contaminación significativa y representa un riesgo que requiere acciones inmediatas, abordando el problema desde una perspectiva multidisciplinaria que considere aspectos técnicos, jurídicos, sociales y culturales.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso fundamental para la salud de los ecosistemas y el desarrollo de las actividades humanas, particularmente para satisfacer necesidades básicas y productivas. No obstante, la contaminación de las aguas, en su mayoría provocada por actividades humanas y una gestión inadecuada de los residuos líquidos, constituye un problema de gran relevancia, con impactos negativos tanto en la salud pública como en el ambiente (Gude, 2015). En la cabecera parroquial de Licto, en la provincia de Chimborazo, las aguas grises son descargadas directamente en cuerpos de agua cercanos sin un tratamiento apropiado, lo que incrementa la carga de contaminantes y perjudica tanto la calidad del agua como el entorno agrícola de la zona.

La disposición de aguas residuales sin tratar no solo deteriora la calidad del agua, sino que también pone en riesgo la seguridad alimentaria, dado que estos efluentes son utilizados en el riego de cultivos y en el consumo de ganado. Diversos estudios indican que el empleo de aguas contaminadas en la agricultura puede generar la acumulación de contaminantes orgánicos y patógenos en los productos agrícolas, afectando de manera significativa la salud de quienes los consumen (Sagasta et al., 2017). Esta problemática resulta especialmente alarmante en las áreas rurales, donde los recursos hídricos son escasos y los sistemas de tratamiento de aguas residuales no están implementados de una manera óptima.

Por ello, el presente estudio tiene como objetivo diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para la cabecera parroquial de Licto, garantizando que el efluente tratado cumpla con los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, reforma libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente. En particular el diseño se enfocará en la tabla 10, que establece los “límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce” (Ministerio del Ambiente, 2015). De acuerdo con la normativa ecuatoriana, la descarga de efluentes sin tratamiento está prohibida, lo que destaca la urgencia de implementar una PTAR que permita reducir la carga contaminante y proteger tanto el medio ambiente como la salud de la población local (Ramos et al., 2018).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la cabecera parroquial de Licto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua residual generada por la cabecera parroquial de Licto mediante la normativa del Acuerdo 097-A.
- Seleccionar las unidades de proceso de la planta de tratamiento de aguas en función del flujo volumétrico para satisfacer demandas actuales y futuras.
- Determinar la eficiencia de remoción de contaminantes de cada unidad de proceso, y los costos de diseño asegurando su viabilidad y beneficio para la zona de estudio.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO REFERENCIAL

Cabrera et al., (2017) llevaron a cabo un estudio en Púlinguí, Ecuador, enfocado en la remoción de contaminantes orgánicos mediante un sistema combinado de tratamiento anaerobio y aerobio, a escala de laboratorio. Este prototipo demostró una notable eficiencia, logrando una reducción del 88% de la materia orgánica y eliminación del mal olor en 60 días.

En el año 2018, un estudio llevado a cabo en Tauramena, Casanare, investigó la utilización de un humedal artificial enriquecido con *Bambusa* sp para el tratamiento de aguas residuales. Los resultados evidenciaron una capacidad de remoción superior al 50%, destacando especialmente a *Heliconia psittacorum* por su eficacia superior, tal como se menciona en el trabajo de (Carvajal et al., 2018).

De igual importancia, el estudio realizado por Castro et al. (2020) en Tibasosa, Boyacá, se centró en identificar las capacidades necesarias para implementar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTAR), considerando aspectos técnicos, humanos y económicos, subrayando la importancia de la sostenibilidad, la aceptación comunitaria y la gestión de la calidad.

Finalmente, el estudio realizado por (España et al., 2022) en Gualmatán, Nariño, tuvo como finalidad evaluar los lechos de secado plantados (LSP) como una alternativa eficaz para el tratamiento de lodos en comunidades con recursos limitados. La investigación contempló la identificación de variables de diseño mediante bases de datos especializadas y la construcción de humedales a escala de laboratorio en la Universidad Mariana. Los resultados obtenidos confirmaron que los LSP son capaces de reducir de manera significativa los sólidos, el agua y los nutrientes presentes en los lodos, logrando cumplir con los límites permisibles establecidos. Esto los posiciona como una solución económica y viable para pequeñas comunidades.

Estos estudios representan un enfoque esencial para el desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas residuales en Licto, considerando diferentes enfoques tecnológicos y ambientales

2.2 MARCO LEGAL

Organización mundial de la salud

Las normas de calidad del agua a nivel internacional están guiadas por la **Organización Mundial de la Salud (OMS)** y otras entidades como la **Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)**. Estas normativas abordan aspectos críticos de calidad del agua que incluyen la presencia de patógenos, materia orgánica, metales pesados, y otros contaminantes (OMS, 2022)

Constitución de la república 2008

En Ecuador, la **Constitución de la República** establece el agua como un derecho fundamental.

Art. 12.- *“El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”.*

Artículo 318.- *“El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua”* (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, Registro Oficial No. 305, 6 de agosto de 2014

Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua de 2014 regula la gestión del agua en Ecuador. Estableciendo que las descargas de aguas residuales deben cumplir con estándares de calidad que garanticen la protección de los cuerpos de agua y promuevan la reutilización de las aguas tratadas.

Art. 80.- *“Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público”* (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014).

Acuerdo Ministerial 097-A con Registro Oficial del 4 de noviembre de 2015

Según **Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador en 2015** establece los parámetros y límites permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales en cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado. Esta normativa es un referente clave en el diseño y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales en el país como se menciona en el “Anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua”.

Artículo 2: *“Las descargas de aguas residuales deberán cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en el presente Acuerdo para los diferentes parámetros. Las descargas a cuerpos de agua superficiales y sistemas de alcantarillado deben respetar los siguientes límites máximos para los parámetros indicados:*

- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): 100 mg/L***
- ***Demanda Química de Oxígeno (DQO): 200 mg/L***
- ***Sólidos Suspendidos Totales (SST): 50 mg/L***
- ***Coliformes Fecales: 500 NMP/100 mL***

- **Nitrógeno Total: 10 mg/L**
- **Turbidez: 5 NTU**
- **Color: 30 unidades Hazen**

Estos límites están establecidos para garantizar que las descargas de aguas residuales no afecten negativamente a los cuerpos de agua receptores, y asegurar que el tratamiento de aguas residuales sea adecuado y conforme a las regulaciones ambientales vigentes (MAATE, 2021)."

Artículo 4: *“Todas las plantas de tratamiento de aguas residuales deben cumplir con estos límites para prevenir la contaminación de cuerpos de agua, garantizando que el proceso de depuración sea eficaz y minimice los impactos ambientales como se menciona en el acuerdo 097-A” (MAATE, 2021).*

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Calidad del Agua

La calidad del agua se valora a través de parámetros físico-químicos tales como la turbidez, el pH, la conductividad y la demanda bioquímica de oxígeno. Estos mismos parámetros proporcionan la determinación del estado del agua, es decir, si esta es apta o no es apta o no para el consumo humano o para otros usos como la agricultura, agropecuaria o usos recreativos (Braga et al., 2022).

Parámetros de Calidad del Agua

Los parámetros de mayor importancia usados en el análisis de la calidad del agua comprenden la evaluación de sólidos disueltos, oxígeno disuelto, demanda química y bioquímica de oxígeno, nitratos y fosfatos. Estos parámetros proporcionan la identificación de la existencia de contaminantes y valorar el impacto de la actividad humana en los cuerpos de agua (Valle, 2016).

Parámetros Físicos en Aguas Residuales

Los parámetros físicos son necesarios para valorar las características más visibles del agua residual, que actúan sobre la eficiencia de los procesos de tratamiento.

Color. El color en las aguas residuales es un parámetro que señala la existencia de materiales orgánicos e inorgánicos, además de sustancias disueltas como metales. El color puede ser provocado por la presencia de materia orgánica en descomposición, metales pesados, o incluso microorganismos y actúa en la aceptación visual del agua. Según el ACUERDO 097-A, el límite máximo permisible de color para las descargas de aguas residuales tratadas es de 30 unidades Hazen (UH). Este parámetro es fundamental para evitar impactos visuales y estéticos en cuerpos de agua receptores (Metcalf & Eddy, 2014).

Sólidos Suspendidos Totales (SST). Los SST son partículas sólidas que no se disuelven y se encuentran suspendidas en el agua, además, su presencia influye en la

transparencia del agua y puede dificultar el funcionamiento de los sistemas de tratamiento. Las normativas ecuatorianas, a través del ACUERDO 097-A, establecen que las aguas residuales no deben contener más de 50 mg/L de SST para ser descargadas en cuerpos de agua superficiales. Este parámetro es controlado mediante procesos de sedimentación en el tratamiento primario (Metcalf & Eddy, 2014).

Temperatura. La temperatura es un parámetro físico que afecta directamente la actividad biológica y química en el agua residual. Un aumento en la temperatura puede reducir la solubilidad del oxígeno en el agua, afectando los procesos de tratamiento biológico y la vida acuática en los cuerpos receptores. El ACUERDO 097-A regula que la temperatura de las aguas residuales no debe superar los 35°C en las descargas, para evitar impactos térmicos en el ambiente (MAATE, 2021).

Turbidez. La turbidez es la medida de la opacidad del agua, causada por la presencia de partículas suspendidas que dispersan la luz. Este parámetro es importante porque altos niveles de turbidez pueden reducir la penetración de la luz, afectando la fotosíntesis en los cuerpos de agua y la eficiencia de los procesos de desinfección por radiación UV en los sistemas de tratamiento (Metcalf & Eddy, 2014). En Ecuador, el Acuerdo 097-A establece un límite de 5 NTU para las descargas de aguas residuales tratadas.

Parámetros Químicos en Aguas Residuales

Los parámetros químicos ayudan a comprender la composición del agua y posibles contaminantes disueltos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La DBO determina la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para descomponer la materia orgánica en el agua. Es un indicador significativo para determinar la contaminación orgánica en aguas residuales. Según el Acuerdo 097-A la cantidad máxima permitida de DBO que se puede descargar a cuerpos de agua es de 100 mg/L. Este parámetro se reduce principalmente en el tratamiento secundario mediante procesos biológicos aerobios (Metcalf & Eddy, 2014).

Demanda Química de Oxígeno (DQO). La DQO determina la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar los contaminantes del agua, incluyendo materia orgánica y sustancias químicas inorgánicas. Es una medida de la cantidad total de contaminantes en aguas residuales. El valor máximo de DQO para agua residual establecido por el Acuerdo 097-A es 200 mg/L. Y se usan tecnologías modernas de tratamiento químico, como la oxidación avanzada para reducir la concentración de este parámetro (Sánchez & García Gualoto, 2018).

Parámetros Biológicos en Aguas Residuales

La presencia de microorganismos y otros elementos biológicos que pueden afectar la calidad del agua está relacionada con los parámetros biológicos.

Coliformes Fecales. Las bacterias conocidas como coliformes fecales se encuentran en el intestino de humanos y animales, y su existencia en aguas residuales indica una contaminación fecal. Según el Acuerdo 097-A, el límite máximo de coliformes fecales en aguas residuales tratadas es de 500 NMP/100 mL antes de ser descargadas en cuerpos de

agua. Para su eliminación se usan procesos de desinfección como la cloración o la radiación ultravioleta (UV) (Collivignarelli et al., 2018).

Saneamiento. Esto describe la prestación de servicios para la eliminación segura de residuos y la gestión de residuos líquidos. Es importante para minimizar el contacto humano a agentes patógenos y evitar la propagación de enfermedades. Se ha demostrado que el acceso adecuado a servicios de saneamiento disminuye significativamente los riesgos sanitarios en comunidades urbanas y rurales (Andersson et al., 2016).

Tratamiento de Aguas Residuales

El proceso de eliminar contaminantes presentes en el agua residual para reducir su impacto ambiental y proteger la salud pública se conoce como tratamiento de aguas residuales. Este proceso puede contener métodos físicos, químicos y biológicos. Antes de su disposición final en cuerpos de agua o su respectiva reutilización, el objetivo es reducir la carga contaminante como materia orgánica, nutrientes, sólidos en suspensión, metales pesados y patógenos (Mara, 2013).

Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales están compuestos por varias fases elaboradas para la remoción de diferentes tipos de contaminantes. Estas fases contienen el pretratamiento (remoción de sólidos gruesos), el tratamiento primario (disminución de sólidos sedimentables), el tratamiento secundario (disminución de materia orgánica a través de procesos biológicos) y a veces un tratamiento terciario (eliminación de nutrientes y desinfección). El diseño de estos sistemas depende de la cantidad y la clase de agua residual, así como de las normativas ambientales aplicables al caso en específico (Tchobanoglous et al., 2014).

Pretratamientos

Para la eliminación de sólidos gruesos, arenas y grasas del agua residual antes de su tratamiento biológico (Jarquín Pascua et al., 2020) se usan los pretratamientos como las rejillas, desarenadores y separadores de grasa son sistemas muy importantes para este objetivo, además que mejora la eficiencia del sistema de tratamiento y previene daños en equipos a futuro.

Tratamientos Primarios

Los tratamientos primarios eliminan sólidos suspendidos a través de procesos físicos como la sedimentación, y químicos como la coagulación y floculación. Esto reduce la carga orgánica antes de que el agua pase a tratamientos biológicos (Muñoz et al., 2022).

Tratamiento Secundario

El proceso de lodos activados es una técnica de tratamiento biológico en la que los microorganismos, principalmente bacterias degradan la materia orgánica disuelta en el agua. Este sistema es muy bueno para eliminar la materia orgánica y nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Metcalf & Eddy, 2014).

Índice de Degradabilidad

La degradabilidad de sustancias presentes en el agua valoriza a través de un índice que muestra la facilidad con la que los microorganismos pueden descomponer dichos compuestos. Este valor es significativo en el tratamiento biológico de aguas residuales, ya que indica qué fracción de los contaminantes es fácilmente biodegradable (Zhang et al., 2020).

CAPÍTULO III

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo explicativa, cuyo objetivo es solucionar una problemática ambiental relacionada con la carga contaminante a cuerpos hídricos provenientes de vertidos domésticos mediante el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la cabecera parroquial de Licto, en la provincia de Chimborazo.

La investigación mostró un enfoque mixto, uniendo dos métodos como lo son el cualitativo y el método. El enfoque cualitativo incorporó una encuesta, revisiones documentales y la observación directa de condiciones ambientales en la cabecera parroquial de Licto por parte de los investigadores, esto dio una visión más clara y detallada del uso del agua y la percepción de la comunidad acerca de la gestión de los residuos líquidos, como lo proponen Creswell y Plano (2018), mismos que destacan que este enfoque facilita la integración de varias perspectivas.

Por otro lado, el enfoque cuantitativo, se centró en la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual, utilizando metodologías estandarizadas. Este enfoque fue de suma importancia en el proceso de la toma de decisiones para el diseño debido a que esto da paso para cuantificar los niveles de contaminación existentes y así poder compararlos con los límites establecidos en el marco legal (González et al., 2021).

Medrano et al., (2020) sugieren que el uso de enfoques mixtos en estudios de ingeniería ambiental aumenta la robustez de los resultados, permitiendo una evaluación más precisa y contextualizada del problema, además, se han utilizado en estudios previos sobre el diseño y evaluación de plantas de tratamiento en áreas rurales de América Latina, donde se busca no solo mejorar la calidad del agua, sino también generar beneficios para las comunidades locales (Orostegui & Valencia, 2023).

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación fue descriptivo-experimental, aquí se desarrolló de manera específica la relación tanto de análisis descriptivos de la situación de la zona como experimentales de laboratorio teniendo en cuenta muestreos. En la fase descriptiva, se determinó la situación actual de la cabecera parroquial de Licto, esto con un enfoque en su sistema de saneamiento y el flujo de agua residual de la comunidad. Según Vargas et al., (2020), los estudios descriptivos en contextos rurales son de alta importancia para establecer factores que influyen en la contaminación de los recursos hídricos y reconocer una base clara para la planificación y diseño de infraestructuras.

En la fase experimental, se analizaron muestras de agua residual siguiendo los protocolos establecidos por el American Public Health Association (APHA, 2017) en el

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Se midieron parámetros clave como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS), coliformes fecales, turbidez y color, que son indicadores fundamentales para evaluar la calidad del agua y su nivel de contaminación. Estos análisis son esenciales para determinar las estrategias de tratamiento más efectivas, tal como lo indican España et al., (2022) en sus estudios sobre el diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

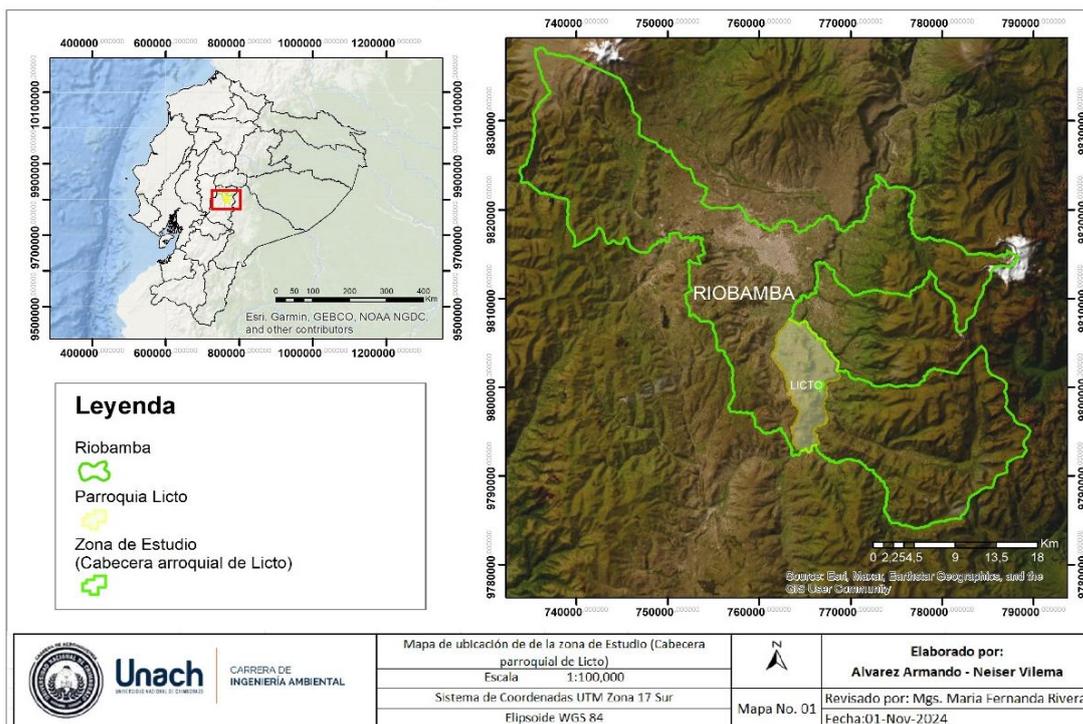
El proceso de valorización de distintas tecnologías modernas de tratamiento fue identificado en el diseño experimental, esto se realiza a través simulaciones para predecir el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones operativas. La experimentación es un factor con suma importancia en el planteamiento y diseño de infraestructuras sostenibles, ya que permite comprobar el desempeño del sistema antes de su implementación a gran escala, como lo sugieren Medrano et al., (2020).

3.3 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se delimitó en la cabecera parroquial de Licto, localizada en el cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo como se percibe en la Figura 1. Esta localidad, situada a una altitud de entre 2900 y 3080 m.s.n.m, presenta características geográficas y climáticas específicas, como un clima templado. La delimitación exacta del área permitió establecer los límites dentro de los cuales se realizarían las evaluaciones de calidad de agua y el impacto ambiental de los efluentes, determinando un área total de 74,12 km² (PDOT de Licto, 2019).

Figura 1.

Área de estudio (Cabecera Parroquial de Licto, Cantón Riobamba).



3.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.

3.4.1 Muestreo

Se emplearon herramientas como imágenes satelitales obtenidas a través de Google Earth y el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), esto permitió realizar un análisis espacial detallado, facilitando la identificación del punto clave de descarga de aguas residuales en el sistema de alcantarillado como se observa en la (Figura 2). Además, este análisis permitió interpretar el flujo de aguas residuales y su distribución en el área de estudio. El análisis espacial fue fundamental para entender la magnitud de la problemática ambiental, al identificar el sitio de concentración de los vertidos y establecer una línea base para el monitoreo de cambios tras la implementación del sistema de tratamiento (Medrano et al., 2020).

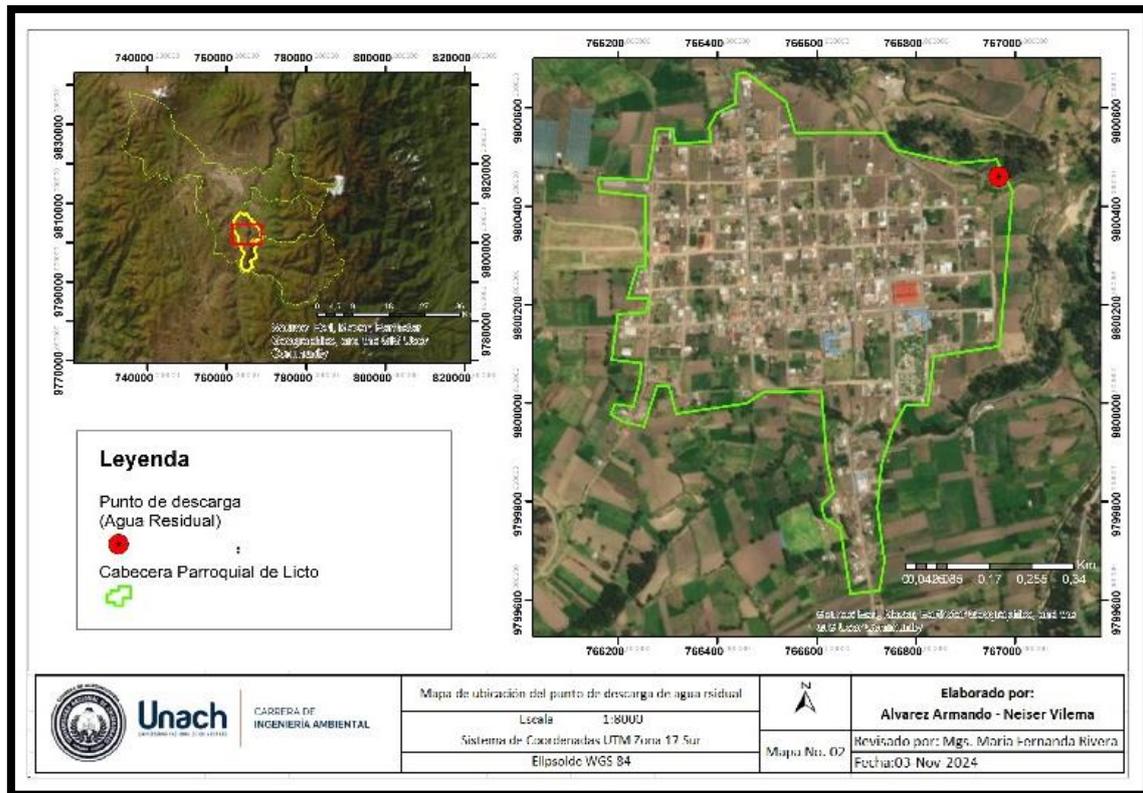
Asimismo, se realizó un reconocimiento en la zona para complementar los datos obtenidos mediante imágenes satelitales y análisis geoespaciales. Este trabajo incluyó recorridos y observaciones directas de las condiciones del área, permitiendo identificar características del sitio de descarga no visibles en las imágenes satelitales como la accesibilidad y posibles fuentes adicionales de contaminación adicional.

El "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 2017), sirvió de guía para la toma de muestras de agua residual de los domicilios de la comunidad, esto mediante un procedimiento de muestreo en la descarga del sistema de alcantarillado de la cabecera parroquial durante tres días. Para ello, se establecieron tres períodos en específico con los mayores flujos de agua residual en función de la actividad de la comunidad, estos periodos fueron, en la mañana (06:00 a 08:00), al mediodía (12:00 a 14:00) y en la noche (18:00 a 20:00).

Las muestras se recolectaron en envases ámbar de 1 litro para los análisis físico-químicos y recipientes estériles de 125 ml para los análisis microbiológicos, considerando variaciones temporales y estacionales. Se conservaron en condiciones controladas de temperatura hasta su transporte al laboratorio, con el fin de evitar alteraciones en los parámetros físico-químicos y microbiológicos (Vargas et al., 2020).

Figura 2.

Mapa de ubicación del punto de descarga de agua residual (Cabecera Parroquial de Licto, Cantón Riobamba).



3.4.2 Análisis de Laboratorio

Las muestras recolectadas fueron analizadas en base a los métodos estandarizados por el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 2017), los cuales se llevaron al laboratorio de servicios ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo como se reporta en la Tabla 1.

Tabla 1.

Técnicas metodológicas de ensayo en laboratorio

Análisis	Parámetros	Unidades	Norma	Método
	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	STD.MET 5220-D	Fotométrico
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	STD.MET 5220-D	Winkler
	Turbidez	NTU	STD.MET 2130-B	Turbidímetro

Físico-Químicos	Sólidos Suspendedos	mg/L	STD.MET 5220-D	Fotométrico
	Color	PtCo APHA	STD.MET 2120-C	Fotométrico
	Olor	-----	STD.MET 2550-B	Sensorial
	Oxígeno Disuelto	%	STD.MET 4500-O-G	Sonda electroquímica
	Temperatura	°C	STD.MET 2550-B	Sonda electroquímica
Microbiológicos	Coliformes Fecales	UFC/mL	STD.MET 2550-B	Petrifilm™ 3M™

Fuente: Adaptado de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23.^a ed., 2017).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Utilizando viales preconfigurados de rango alto, que contenían una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico con sulfato de plata como catalizador se pudo medir la demanda química de oxígeno (DQO). Este proceso, está basado en la norma 5220-D del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), y trata en la oxidación química controlada en donde los materiales orgánicos de la muestra reaccionan con el oxidante a una alta temperatura (150°C) durante dos horas en un reactor de digestión. Después de la digestión, la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar el material orgánico se calcula a través de la absorción de la muestra en un espectrofotómetro, este parámetro es importante para identificar la carga orgánica de las aguas residuales y estimar su impacto en los cuerpos receptores en donde son descargadas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

A través del método de Winkler modificado se pudo medir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) partiendo de un valor de oxígeno inicial y el uso de una solución aireada. Este análisis está reglamentado por la norma 5220-D y evalúa la cantidad de oxígeno disuelto consumido por microorganismos aeróbicos durante la descomposición de materia orgánica biodegradable en un período de incubación de cinco días a 20°C. Las muestras fueron colocadas en recipientes herméticos para prevenir la reoxigenación externa y fueron incubadas bajo condiciones controladas. Al terminar el período de tiempo, se midió nuevamente el oxígeno disuelto, usando esta diferencia para calcular el consumo de oxígeno.

Turbidez

El análisis de turbidez se realizó conforme a la norma 2130-B utilizando un turbidímetro calibrado con patrones estándar. Las muestras de agua residual fueron agitadas previamente para garantizar una distribución uniforme de las partículas suspendidas. El equipo mide la dispersión de luz causada por dichas partículas, expresando el resultado en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). Este análisis es esencial para evaluar la cantidad y el tipo de partículas en suspensión, ya que estas pueden influir en la calidad visual del agua, el transporte de contaminantes y la eficiencia de los procesos de tratamiento posteriores.

Sólidos Suspendidos Totales

La concentración de sólidos suspendidos totales fue establecida, según la norma 5220-D, por medio de un espectrofotómetro. En este procedimiento, las muestras de agua a tratar fueron analizadas para de esta manera valorar la interferencia en el paso de la luz que pueden tener las partículas suspendidas. Para asegurar mediciones claras y precisas, el equipo fue calibrado previamente. Este parámetro permite identificar la cantidad sobre materia particulada que podría requerir procesos de tratamiento físico-químicos adicionales en una planta de tratamiento para su eliminación o que no sedimenta rápidamente.

Color

El color se determinó utilizando un espectrofotómetro conforme a la norma 2120-C, empleando soluciones específicas de las muestras en proporciones de 1:2 y 1:5 para asegurarse de que la intensidad del color estuviera dentro del rango de medición del equipo. Este análisis compara la intensidad del color de la muestra con estándares predefinidos, como la escala de platino-cobalto (PtCo APHA), que funciona como referencia. La evaluación del parámetro de color resulta fundamental, ya que puede indicar la presencia de compuestos disueltos, como materia orgánica o contaminantes industriales, los cuales afectan la calidad del agua y pueden interferir en los procesos de tratamiento.

Olor

La evaluación del olor de las muestras de agua residual se llevó a cabo mediante un método sensorial conforme a la norma 2550-B. Este proceso involucró la realización de encuestas a los presidentes de los barrios en la cabecera parroquial de Licto, quienes aportaron sus percepciones sobre el olor en las fuentes de agua próximas. Además, las muestras fueron agitadas en condiciones controladas y posteriormente examinadas por un analista para detectar olores característicos, tales como aquellos relacionados con la descomposición de materia orgánica o la presencia de actividades industriales. Aunque subjetivo, este procedimiento resulta fundamental para comprender cómo las aguas residuales impactan la calidad de vida en la comunidad.

Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) fue medido utilizando un equipo multiparámetros con una sonda electroquímica calibrada, siguiendo la norma 4500-O-G. Antes del análisis, la sonda fue calibrada con estándares de oxígeno específicos para garantizar la precisión de las mediciones. Las muestras fueron analizadas directamente en el laboratorio, obteniendo lecturas en tiempo real sobre la cantidad de oxígeno disponible en el agua. Este parámetro es vital para evaluar la capacidad de las aguas residuales para sostener vida acuática y para identificar posibles condiciones anóxicas.

Temperatura

La determinación de la temperatura de las muestras se realizó mediante un equipo multiparámetros equipado con una sonda electroquímica calibrada, siguiendo las directrices de la norma 2550-B. Este procedimiento se llevó a cabo de inmediato tras la recolección de las muestras, con el fin de asegurar que las mediciones reflejaran fielmente las condiciones en el momento. La medición de la temperatura resulta fundamental, ya que tiene una repercusión significativa en diversos procesos biológicos y químico, tales como la solubilidad del oxígeno y la actividad metabólica de los microorganismos.

Coliformes Fecales

El análisis microbiológico de coliformes fecales se llevó a cabo mediante el método Petrifilm™ 3M, siguiendo la norma 2550-B. Para facilitar el conteo de colonias, se prepararon diluciones seriadas de las muestras en proporciones de 1:1000, 1:500 y 1:250. Estas diluciones se inocularon en placas Petrifilm™ y se incubaron a 37 °C durante 24 horas. Luego, se contaron manualmente las colonias características, expresándose los resultados en Unidades Formadoras de Colonias por mililitro (UFC/mL). Este procedimiento resulta fundamental para evaluar la presencia de contaminación fecal en el agua y su potencial impacto en la salud pública.

Los resultados de cada parámetro fueron comparados con la normativa ecuatoriana “Acuerdo 097-A” para evaluar si los niveles de contaminantes superaban los límites permitidos como se muestra en

Tabla 2, lo que orientó la selección de tecnologías de tratamiento específicas para el sistema propuesto (España et al., 2022).

Estos valores corresponden a estándares establecidos por la normativa vigente para garantizar la protección de los cuerpos hídricos, tomado del Acuerdo Ministerial 097 A - Registro Oficial Suplemento 387 de 4 de noviembre de 2015 (pp. 21-22) emitido por el Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015.

Tabla 2.*Límites permisibles de descarga para un cuerpo de agua dulce.*

Parámetros	Expresado como	Unidades	Límite permisible
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	100
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅ (2mL)	mg/L	50
Color	Color real	PtCo APHA	Inapreciable en disolución 1:20
Turbiedad		NTU	100
Sólidos suspendidos	SS	mg/L	100
Oxígeno disuelto	OD	%	5
Temperatura	°C		<35
Coliformes fecales	UFC	UFC/mL	Remoción > 99,9%

3.5 SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN FUNCIÓN DEL FLUJO VOLUMÉTRICO PARA SATISFACER DEMANDAS ACTUALES Y FUTURAS

3.5.1 Determinación de Parámetros de Diseño

Para establecer los parámetros de diseño, se analizaron los resultados obtenidos en los estudios de caracterización físico-química y microbiológica de las aguas residuales recolectadas, mismos que permitieron identificar los niveles de contaminación presentes en los efluentes de la cabecera parroquial de Licto y comparar estas mediciones con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana (PDOT de Licto, 2019).

A partir de los datos obtenidos de los análisis de DBO y DQO, se calculó la relación correspondiente con el propósito de determinar la biodegradabilidad de los contaminantes y seleccionar las unidades de tratamiento más adecuadas. En este caso particular, como se detalla en la Tabla 3, una relación superior a 0,2 y menor que 0,6 indicó que era viable implementar sistemas biológicos. Estos cálculos sirvieron como fundamento para dimensionar las unidades de tratamiento y garantizar que cada componente del sistema respondiera de manera eficiente a las necesidades específicas de remoción de contaminantes en la zona de estudio.

Tabla 3.

Indicador de biodegradabilidad

Fórmula	Indicador
$\frac{DBO_5}{DQO} > 0,6$	Es biodegradable, pudiéndose utilizar sistemas biológicos por fangos activos o lechos bacterianos.
$0,6 > \frac{DBO_5}{DQO} > 0,2$	Es biodegradable siendo recomendable el empleo de lechos bacterianos.
$0,2 > \frac{DBO_5}{DQO}$	No es biodegradable y no es necesario lodos biológicos, Requiere de procesos químicos.

Fuente: Adaptado de principios generales de tratamiento de aguas residuales (Metcalf & Eddy, 2003).

3.5.2 Determinación del Caudal

Como parte de la caracterización del agua residual de la cabecera parroquial de Licto, también se procedió a la medición del caudal promedio y pico, esto a través del método volumétrico que según señala Mariñelarena (2006), es ideal para determinar caudales pequeños, se basa en medir el tiempo que demora en llenarse un recipiente del que se conoce su volumen, esto se llevó a cabo cuatro veces a la semana durante periodos considerados de mayor demanda de agua por parte de la comunidad, aplicando la fórmula establecida en la Ecuación 1.

Ecuación 1.

Medición del caudal por el método volumétrico.

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde

Q: Caudal en (L/s).

V: Volumen del recipiente expresado en (L).

T: Tiempo de demora en llenarse el recipiente expresado en (s).

Este paso fue esencial para entender la variabilidad en los volúmenes de descarga a lo largo del día, lo que permitió identificar las capacidades de tratamiento necesarias. Los datos obtenidos a través de estos análisis proporcionaron una base técnica sólida para la fase del proyecto, que incluyó el diseño preliminar del sistema de tratamiento.

3.5.3 Diseño Preliminar

El diseño preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales se estructuró a partir de los datos obtenidos en los análisis de laboratorio y la revisión bibliográfica, permitiendo identificar los procesos de tratamiento más adecuados para las características de los efluentes de la cabecera parroquial de Licto. En primer lugar, se establecieron las unidades de tratamiento en un esquema modular que incluyó, tratamiento primario, secundario y terciario, cada uno con especificaciones técnicas adaptadas a los contaminantes detectados.

3.5.4 Tratamiento Primario

Se propuso un proceso que combina cribado o rejillas para la remoción de sólidos gruesos, un desarenador para separar partículas sedimentables de mayor densidad, y un sedimentador primario, diseñado para reducir sólidos en suspensión y parte de la materia orgánica. Estas unidades iniciales permiten disminuir la carga contaminante antes de ingresar a los procesos biológicos (Rojas, 2008).

En el caso del cribado o sistema de rejillas, se deben considerar parámetros técnicos fundamentales para su correcto dimensionamiento. La Tabla 4 presenta los criterios de diseño utilizados, los cuales incluyen la velocidad del flujo, la fracción ocupada por las barras, el ángulo de inclinación, la separación entre barras, entre otros. Estos valores garantizan una adecuada retención de sólidos de gran tamaño, evitando obstrucciones y mejorando el rendimiento de las siguientes etapas del tratamiento.

Tabla 4.

Criterios de diseños para Cribado o Rejillas

Criterio de diseño	Valor
Velocidad del flujo	0,3 m/s y 0,6 m/s
Fracción ocupada por las barras	entre 0,1 y 0,25
Coefficiente de eficiencia de cribado	0,6 a 0,8
Ángulo de inclinación	45° y 60°
Ancho del canal	0,6 m
Espesor de las barras	0,01 m
Separación entre barras	0,02 m
Altura de seguridad	0,25 m
Espesor de la pared	0,15 m

Fuente: Uralita. (2004.). *Manual de depuración de Uralita* (3ª ed.).

Como se muestra, estos parámetros aseguran que el sistema de cribado funcione de forma eficiente bajo diferentes condiciones de caudal y tipo de carga contaminante.

Ecuación 2.

Área libre de paso de agua

$$Al = \frac{Q}{Vr}$$

Donde:

Al: Área libre de paso a través de la rejilla (m²).

Q: Caudal de diseño (m³/s).

Vr: Velocidad de paso a través de la rejilla (m/s)

Ecuación 3.

Tirante de agua en el canal

$$h = \frac{Al}{b}$$

Donde:

h: Tirante de agua en el canal (m)

Al: Área libre de paso a través de la rejilla (m²).

b: Ancho del canal en la zona de rejillas (m)

Ecuación 4.

Área de sección transversal del flujo

$$At = \frac{Ab * (w + e)}{w}$$

Donde:

At: Área de sección transversal del flujo (m²)

Ab: Área entre barras (m²)

w: Separación entre barras (m)

e: espesor máximo de barras (m)

Ecuación 5.

Altura del canal

$$H = h + hs$$

Donde:

H: Altura total (m)

h: Altura del canal (m)

hs: Altura de seguridad (m)

Ecuación 6.

Longitud de las barras

$$Lb = \frac{H}{\text{Sen } \emptyset}$$

Donde:

Lb: Longitud de las barras (m)

H: Altura total (m)

Sen \emptyset : 45° -60°

Ecuación 7.

Número de barras (n)

$$n = \frac{b - w}{eb + w}$$

Donde:

n: Número de barras (n)

b: Ancho del canal en la zona de rejillas (m)

w: Separación entre barras (m)

eb: Espesor de barras (m)

Ecuación 8.

Nivel máximo de agua en la rejilla

$$n_{\text{max}} = \frac{Q}{V * b}$$

Donde:

Nmax: Nivel máximo de agua en la rejilla (m)

Q: Caudal de diseño (m³/s).

V: Velocidad de flujo (m/s)

b: Ancho del canal en la zona de rejillas (m)

Ecuación 9.

Longitud sumergida de la barra

$$LSR = \frac{N_{\text{max}}}{\text{Sen } \emptyset}$$

Donde:

LSR: Longitud sumergida de la barra (m)

Nmax: Nivel máximo de agua en la rejilla (m)

Después del sistema de cribado, el flujo de aguas residuales pasa por un desarenador, cuya función es separar partículas inorgánicas sedimentables, como arenas y gravas finas, que podrían causar desgaste o bloqueo en las unidades posteriores. Para asegurar su correcto funcionamiento, se tomaron en cuenta parámetros técnicos establecidos en la literatura y normativa vigente, que permiten dimensionar eficientemente este componente.

La Tabla 5 detalla los valores adoptados para el diseño del desarenador. Entre ellos, destacan el tiempo de retención hidráulico, que debe estar entre 2 a 5 minutos, y una velocidad de flujo controlada de aproximadamente 0,3 m/s, que favorece la sedimentación de partículas sin permitir la acumulación de materia orgánica. Asimismo, la profundidad, el ángulo de divergencia y los espesores estructurales fueron seleccionados con base en criterios de diseño hidráulico y funcional para garantizar un desempeño óptimo.

Tabla 5.

Criterios de diseños para el desarenador

Criterio de diseño	Valor
Tiempo de retención	2 a 5 min
Velocidad de flujo	0,3 m/s
Profundidad	1 a 1,5 m
Angulo de divergencia	12° 30`
Espesor de la pared	0,30 m

Fuente: Uralita. (2004.). *Manual de depuración de Uralita* (3ª ed.).

Los valores presentados corresponden a los criterios de diseño aplicables para desarenadores en sistemas de tratamiento de aguas residuales, estos parámetros aseguran que el sistema de cribado funcione de forma eficiente bajo diferentes condiciones de caudal y tipo de carga contaminante.

Ecuación 10.

Velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{g(Pa - P)}{18\mu} * dp^2$$

Donde:

Vs: Velocidad de sedimentación (cm/s).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

μ: Viscosidad dinámica del fluido (g/cm·s).

Pa: Densidad de la partícula (kg/m³).

P: Densidad del fluido (kg/m³).

dp: Diámetro de la partícula (m).

Ecuación 11.*Número de Reynolds*

$$Re = \frac{V_s * dp}{\mu}$$

Donde:**Re:** Número de Reynolds (adimensional).**V_s:** Velocidad de sedimentación o velocidad relativa entre la partícula y el fluido (cm/s).**μ:** Viscosidad dinámica del fluido (g/cm·s).**dp:** Diámetro de la partícula (m).**Ecuación 12.***Área total del desarenador*

$$A_s = \frac{Q_{diseño}}{V_s}$$

Donde:**A_s:** Área superficial del desarenador (m²).**Q_{diseño}:** Caudal de diseño (cm³/s).**V_s:** Velocidad de sedimentación o velocidad relativa entre la partícula y el fluido (cm/s).**Ecuación 13.***Capacidad de desarenador*

$$C_d = Q_{diseño} * TR$$

Donde:**C_d:** Capacidad de desarenador (m³).**Q_{diseño}:** Caudal de diseño (cm³/s).**TR:** Tiempo de retención (s).**Ecuación 14.***Área requerida del desarenador*

$$A_{ds} = \frac{C_d}{H}$$

Donde:**A_{ds}:** Superficie del desarenador (m²).**C_d:** Capacidad de desarenador (m³).**H:** Altura del desarenador (m).

Ecuación 15.*Ancho del desarenador*

$$B_{ds} = \sqrt{\frac{A_{ds}}{2}}$$

Donde: B_{ds} : Base del desarenador (m). A_{ds} : Superficie del desarenador (m²).**Ecuación 16.***Largo del desarenador*

$$L_{ds} = B_{ds} * 2$$

Donde: L_{ds} : Largo del desarenador (m). B_{ds} : Base del desarenador (m).**Ecuación 17.***Área total del desarenador*

$$A_{tds} = L_{ds} * B_{ds}$$

Donde: A_{tds} : Área total del desarenador (m²). L_{ds} : Largo del desarenador (m). B_{ds} : Base del desarenador (m).**Ecuación 18.***Carga hidráulica*

$$q = \frac{Q_{diseño}}{A_{tds}}$$

Donde: q : Carga hidráulica (m³/m²*día). A_{tds} : Área total del desarenador (m²). $Q_{diseño}$: Caudal de diseño (m³/s).**Ecuación 19.***Caudal por la línea del desarenador*

$$Q_o = \frac{Q_{diseño}}{N_{unidades}}$$

Donde:

Q_o : Caudal por la línea del desarenador (m³/s).

$N_{unidades}$: Número de unidades (adimensional).

$Q_{diseño}$: Caudal de diseño (m³/s).

Ecuación 20.

Longitud de la zona de transición

$$L_1 = \frac{B - b}{2 * T g \phi}$$

Donde:

ϕ : Angulo de divergencia

B: Ancho del sedimentador (m)

b: Ancho del canal de llegada

Como parte del tratamiento primario, el sedimentador cumple una función clave en la remoción de sólidos suspendidos y parte de la materia orgánica contenida en el agua residual. Esta unidad permite que, mediante la acción de la gravedad, las partículas más densas se depositen en el fondo del tanque, reduciendo así la carga contaminante antes del ingreso a los procesos biológicos.

Para su dimensionamiento, se establecieron parámetros técnicos fundamentales que garantizan un tiempo de retención adecuado y condiciones hidráulicas óptimas. En la Tabla 6 se presentan estos criterios, donde se define, por ejemplo, un tiempo de retención hidráulico de 2 horas y una profundidad mínima de 2 metros, necesarios para asegurar una separación eficiente de los sólidos. La velocidad del flujo se mantiene entre 0,3 y 0,6 metros por minuto, evitando turbulencias que puedan afectar la sedimentación.

Tabla 6.

Criterios de diseños para el sedimentador primario

Criterio de diseño	Valor
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	2 h
Profundidad	2 a 5 m
Velocidad del flujo	0,3 a 0,6 m/min

Fuente: Uralita. (2004.). *Manual de depuración de Uralita* (3^a ed.).

La aplicación de estos valores garantiza un funcionamiento efectivo del sedimentador primario, reduciendo la cantidad de sólidos en suspensión y mejorando la eficiencia global del sistema de tratamiento propuesto.

Ecuación 21.

Volumen del tanque

$$V = Q * TRH$$

Donde:

Q: Caudal del efluente (m³/s)

V: Volumen (m³)

TRH: Tiempo de retención hidráulica (horas)

Ecuación 22.

Diámetro del tanque

$$B = \sqrt{A}$$

Donde:

B: Ancho del tanque (m)

A: Área del tanque (m²)

Ecuación 23.

Carga superficial

$$C = \frac{Q}{A}$$

Donde

C: Carga superficial (m³/m²·d o m/h).

Q: Caudal de diseño (m³/s)

A: Área superficial del sedimentador (m²).

Ecuación 24.

Área superficial (A)

$$A = \frac{Q}{C}$$

Donde

C: Carga superficial (m³/m²·d o m/h).

Q: Caudal de diseño (m³/s)

A: Área superficial del sedimentador (m²).

Ecuación 25.

Tiempo de retención hidráulico (TRH)

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

Donde

Q: Caudal de diseño (m³/s)

V: Volumen del sedimentador (m³)

Ecuación 26.

Velocidad de ascenso (Vs)

$$Vs = \frac{Q}{A}$$

Donde:

V_s: Velocidad ascensional o carga superficial (m/h).

Q: Caudal de diseño (m³/s).

A: Área superficial del sedimentador (m²).

3.5.5 Tratamiento Secundario

Se seleccionó un sistema de tratamiento que integra un reactor biológico combinado con un tanque Imhoff, seguido por un sedimentador secundario y un tanque de contacto. Este enfoque garantiza una remoción eficiente de materia orgánica biodegradable, sustentada en la relación DBO_5/DQO de las muestras analizadas, que indica alta biodegradabilidad. El sistema Imhoff realiza una digestión anaerobia primaria, mientras que el reactor biológico asegura la oxidación de compuestos orgánicos mediante procesos aeróbicos. Posteriormente, el sedimentador secundario separa los lodos generados en estos procesos. Finalmente, el efluente pasa al tanque de contacto, donde se lleva a cabo la cloración para la desinfección. Los parámetros técnicos, como el volumen de los tanques, los tiempos de retención, y los caudales promedio y pico, fueron calculados según los métodos y fórmulas recomendados por la normativa de diseño (Ávalos et al., 2021).

Para garantizar la calidad del efluente, se implementó un sistema de cloración en el tanque de contacto, basado en el uso de pastillas de cloro o cloro líquido. Este tanque asegura un tiempo de contacto adecuado de al menos 30 minutos, lo que permite una eficiente eliminación de microorganismos, reduciendo al mínimo los niveles de coliformes en el efluente final. La elección de cloración por pastillas o cloro líquido responde a su facilidad de manejo, bajo costo, y adaptabilidad al contexto rural de la cabecera parroquial de Licto. La ubicación del tanque de contacto después del sedimentador secundario es estratégica, ya

que el agua previamente clarificada optimiza la eficiencia de la desinfección y reduce el consumo de cloro.

En el tratamiento secundario, el tanque Imhoff desempeña una doble función: actúa como un sedimentador para separar los sólidos sedimentables y, al mismo tiempo, como una unidad de digestión anaerobia de los lodos acumulados. Esta característica lo convierte en una alternativa eficiente para zonas rurales, ya que permite la reducción de la carga orgánica sin requerir sistemas mecánicos complejos.

Para asegurar su operatividad y eficiencia, el diseño se basó en parámetros técnicos recomendados para este tipo de unidad. La Tabla 7 resume los principales criterios adoptados, entre los que se incluye un tiempo de retención hidráulico entre 2 y 5 horas, una profundidad de 4 a 6 metros, y una velocidad ascensional controlada. Además, se consideraron aspectos estructurales como la altura neutra, el espesor de la pared y el volumen destinado a la digestión de lodos, que debe ser capaz de almacenarlos por un periodo de hasta 12 meses, evitando así vaciados frecuentes.

Tabla 7.
Criterios de diseños para el tanque Imhoff

Criterio de diseño	Valor
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	2 y 5 h
Velocidad ascensional	25 y 40 m ³ /m ² ·d
Profundidad	4 a 6 m
Volumen de la zona de digestión de lodos	6 a 12 meses
Tiempo de la zona sedimentadora	1,5 y 3 h
Altura Neutra (hn)	0,45 m
Espesor de la pared	0,25 m
Espesor de la base	0,30 m

Fuente: Uralita. (2004.). *Manual de depuración de Uralita* (3^a ed.).

Estos valores fueron seleccionados con base en criterios funcionales y estructurales para asegurar que el tanque opere de forma eficiente, tanto en la sedimentación como en la estabilización de lodos, adaptándose a las condiciones particulares de la cabecera parroquial de Licto.

Ecuación 27.
Volumen de la cámara de sedimentación

$$Vl_s = Q_{diseño} * TDH$$

Donde:

Vl_s : Volumen de la cámara de sedimentación (m³).

$Q_{diseño}$: Caudal de diseño (m³/s).

TDH: Tiempo de la zona sedimentadora

Ecuación 28.

Volumen de la cámara de digestión

$$Vl_{g1} + Vl_e = Pob * Dot_{lodos} * TD$$

Donde:

Vl_{g1} : Volumen de la cámara de digestión (m³).

Vl_e : Volumen de la cámara de espumas (m³).

Pob: Población (hab).

Dot_{lodos} : Dotación de lodos (L/hab*día).

TD: Tiempo de digestión (día).

Ecuación 29.

Área superficial de la cámara de sedimentación

$$A_{sup} = \frac{Q_{diseño}}{Overflow}$$

Donde:

A_{sup} : Área superficial de la cámara de sedimentación (m²).

$Q_{diseño}$: Caudal de diseño (m³/s).

Overflow: Desbordamiento (m/día).

Ecuación 30.

Ancho de la cámara de sedimentación

$$W = \sqrt{\frac{A_{sup}}{2.5}}$$

Donde:

W: Ancho de la cámara de sedimentación (m).

A_{sup} : Área superficial de la cámara de sedimentación (m²).

Ecuación 31.

Longitud de la cámara de sedimentación

$$L = 2.5 * W$$

Donde:

W: Ancho de la cámara de sedimentación (m).

L: Longitud de la cámara de sedimentación (m).

Ecuación 32.

Área de las ventosas de la cámara de sedimentación

$$av = \frac{A_{sup}}{4}$$

Donde:

av: Área de las ventosas de la cámara de sedimentación (m²).

A_{sup}: Área superficial de la cámara de sedimentación (m²).

Ecuación 33.

Ancho de las ventosas de la cámara de sedimentación

$$Wv = \frac{\left(\frac{av}{L}\right)}{2}$$

Donde:

av: Área de las ventosas de la cámara de sedimentación (m²).

Wv: Ancho de las ventosas de la cámara de sedimentación (m).

L: Longitud de la cámara de sedimentación (m).

Ecuación 34.

Ancho total del tanque

$$WT = W + (Wv * 2)$$

Donde:

W: Ancho de la cámara de sedimentación (m).

Wv: Ancho de las ventosas de la cámara de sedimentación (m).

WT: Ancho total del tanque (m).

Ecuación 35.

Profundidad de la cámara de sedimentación

$$h_s = \operatorname{tg}60^\circ * (0,15 + D1)$$

Donde:

h_s : Altura de la cámara de sedimentación (m).

D1: Distancia para el dimensionamiento de la cámara de digestión (m).

Ecuación 36.

Volumen real de la cámara de sedimentación

$$Vl_{rs} = \frac{1}{2} (W * h_s * L)$$

Donde:

W: Ancho de la cámara de sedimentación (m).

h_s : Altura de la cámara de sedimentación (m).

L: Longitud de la cámara de sedimentación (m).

Vl_{rs} : Volumen real de la cámara de sedimentación (m³)

Ecuación 37.

Altura de la cámara de digestión

$$h_g = \operatorname{tg}30^\circ * (Wv + D1)$$

Donde:

h_g : Altura de la cámara de digestión (m).

D1: Distancia para el dimensionamiento de la cámara de digestión (m).

Wv: Ancho de las ventosas de la cámara de sedimentación (m).

Ecuación 38.

Volumen de la cámara de digestión

$$Vl_{g2} = \left[\left(\frac{(Ab + At + \sqrt{Ab * At}) h_g}{3} \right) \right] * 2$$

Donde:

W: Ancho de la cámara de sedimentación (m).

Ab: Diámetro de la tubería elevado al cuadrado (m)

At: Ancho total del tanque (m).

hg: Altura de la cámara de digestión (m).

Ecuación 39.

Volumen real de la cámara de espumas

$$Vl_{rg} = (Vl_{g1} + Vl_e) - Vl_{g2}$$

Donde:

Vl_{rg}: Volumen real de espumas (m³)

Vl_{g2}: Volumen de la cámara de digestión (m³)

Vl_e: Volumen de espumas

Ecuación 40.

Altura de la cámara de espumas

$$h_{esp} = \frac{Vl_e}{(L * WT)}$$

Donde:

Vl_e: Volumen de espumas (m³)

WT: Ancho total del tanque (m).

L: Longitud de la cámara de sedimentación (m).

Ecuación 41.

Altura total del tanque Imhoff

$$h_T = h_s + h_g + h_n + h_{esp}$$

Donde:

h_s: Altura de la cámara de sedimentación (m).

h_g: Altura de la cámara de digestión (m).

h_n: Altura neutra (m)

El sedimentador secundario tiene como finalidad separar los lodos biológicos generados durante el proceso de tratamiento aeróbico, permitiendo que el agua clarificada

continúe hacia las etapas finales del tratamiento. Esta unidad es fundamental para garantizar una buena eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos remanentes, y evitar que estos sean arrastrados nuevamente al efluente tratado.

En función de las características del caudal tratado y de los parámetros técnicos recomendados para este tipo de infraestructura, se establecieron los criterios de diseño que se presentan en la Tabla 8. Entre los valores más relevantes se encuentra un tiempo de retención hidráulico de 2 horas, necesario para permitir la adecuada decantación de los sólidos. Asimismo, se contempla una velocidad ascensional baja, de 0,00075 m/s, que evita la resuspensión de los lodos y mejora la clarificación. El borde libre de 0,30 m contribuye a mantener condiciones seguras y estables dentro del tanque.

Tabla 8.

Criterios de diseños para el sedimentador secundario

Criterio de diseño	Valor
Tiempo de retención hidráulica	2 h
Borde Libre	0,30 m
Velocidad ascensional	0,00075 m/s

Fuente: Uralita. (2004.). *Manual de depuración de Uralita* (3ª ed.).

La implementación de estos parámetros permite obtener un efluente con menor carga de sólidos, contribuyendo a mejorar la calidad final del agua tratada antes de su desinfección y posterior vertido al medio ambiente.

Ecuación 42.

Volumen del tanque

$$V = Q * TRH$$

Donde:

Q: Caudal del efluente (m³/s)

V: Volumen (m³)

TRH: Tiempo de retención hidráulica (horas)

Ecuación 43.

Altura del tanque

$$h = \sqrt[3]{\frac{V}{2}}$$

Donde:

V: Volumen (m³)

h: Altura del tanque (m)

Ecuación 44.

Profundidad del tanque

$$p = h$$

Donde:

p: Profundidad del tanque (m)

h: Altura del tanque (m)

Ecuación 45.

Diámetro del tanque

$$B = \sqrt{A}$$

Donde:

B: Ancho del tanque (m)

A: Área del tanque (m²)

Ecuación 46.

Área del tanque

$$A = \frac{v}{h}$$

Donde:

A: Área del tanque (m²)

v: Volumen usado (m³)

h: Altura del tanque (m)

La etapa de desinfección constituye el proceso final dentro del sistema de tratamiento, y tiene como objetivo eliminar los microorganismos patógenos presentes en el efluente tratado. Para ello, se implementó un tanque de contacto en el que se aplica cloro, permitiendo asegurar una calidad microbiológica adecuada antes del vertido al medio ambiente.

El diseño de esta unidad se basó en criterios técnicos que garantizan la eficacia del proceso de cloración. La Tabla 9 resume los parámetros adoptados, entre los cuales destaca un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos, valor necesario para que el cloro actúe sobre los agentes patógenos. Además, se estableció una relación de concentración-tiempo de entre

15 y 30 mg·min/L, asegurando un nivel adecuado de desinfección. Se consideró también una profundidad de 2 metros y un espesor de pared de 0,30 m, lo cual proporciona estabilidad estructural y facilita el mantenimiento del sistema.

Tabla 9.

Criterios para el diseño de un tanque de contacto para cloración

Criterio de diseño	Valor
Tiempo de contacto	30 min
Relación de concentración por tiempo	15-30 mg*min/L
Profundidad	2 m
Espesor de la pared	0,30 m

Fuente: Uralita. (2004.). *Manual de depuración de Uralita* (3ª ed.).

Estos valores permiten asegurar que el efluente tratado cumpla con los límites microbiológicos establecidos en la normativa ambiental vigente, garantizando así la protección de la salud pública y del entorno natural receptor.

Ecuación 47.

Volumen del tanque de contacto

$$V = Q * t$$

Donde:

Q= Caudal de diseño

t= tiempo de contacto

Ecuación 48.

Área del tanque

$$A = \frac{V}{H}$$

Donde:

V= Volumen del tanque

H= Profundidad

Ecuación 49.

Ancho del tanque

$$B = \sqrt{\frac{A}{3}}$$

Donde:

A= Área del tanque

Ecuación 50.

Largo del tanque

$$L = 3 * B$$

Donde:

B= ancho del tanque

Ecuación 51.

Velocidad del flujo

$$v_f = \frac{Q}{A_{S.Transversal}}$$

Donde:

Q= caudal de diseño

$A_{s.transversal}$ = Sección transversal del tanque

Ecuación 52.

Dosis de cloro

$$Q_{cloro} = Q * D$$

Donde:

Q= caudal de diseño

D= Dosis de cloro típica

El tanque de aireación forma parte fundamental del tratamiento secundario, ya que en él se lleva a cabo la oxidación biológica de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual. Este proceso se realiza mediante el suministro de oxígeno, el cual favorece la actividad de los microorganismos encargados de degradar los compuestos contaminantes.

Para garantizar la eficiencia del proceso, se establecieron parámetros técnicos clave que guiaron el dimensionamiento de esta unidad. En la Tabla 10 se presentan dichos criterios, como un tiempo de retención de 4 horas, necesario para permitir la completa oxidación de la carga orgánica. También se consideró una concentración mínima de oxígeno disuelto de 2 mg/L, valor indispensable para mantener activa la biomasa microbiana. Además, la relación F/M (carga de alimento por masa de sólidos volátiles) se mantuvo en 0,2 kg DBO/kg SSV, lo que permite un equilibrio adecuado entre la cantidad de materia orgánica y la capacidad de degradación del sistema biológico.

Tabla 10.

Criterios para el diseño de un tanque de aireación

Criterio de diseño	Valor
Tiempo de retención	4 h
Relación F/M	0,2 kg DBO/kg SSV
Oxígeno disuelto	2,0 mg/L
Espesor de la pared	0,30 m

Fuente: Uralita. (2004.). *Manual de depuración de Uralita* (3ª ed.).

El cumplimiento de estos valores asegura una adecuada aireación, una eficiente remoción de la materia orgánica biodegradable y la estabilidad del proceso biológico en condiciones operativas normales.

Ecuación 53.

Volumen del tanque de aireación

$$V = Q * TRH$$

Donde:

Q: Caudal de diseño

TRH: Tiempo de retención hidráulico

Ecuación 54.

Área superficial del tanque

$$A = \frac{V}{H}$$

Donde:

V: Volumen del tanque de aireación

H: Profundidad del tanque

Ecuación 55.

Altura del tanque

$$h = \sqrt[3]{\frac{V}{2}}$$

Donde:

V: Volumen del tanque

H: altura del tanque

Ecuación 56.

Largo del tanque

$$a = 2h$$

Donde:

a: largo del tanque

h: altura del tanque

Ecuación 57.

Ancho del tanque

$$B = \sqrt{A}$$

Donde:

B: Ancho del tanque

A: Área del tanque

3.6 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE CADA UNIDAD DE PROCESO, Y LOS COSTOS DE DISEÑO ASEGURANDO SU VIABILIDAD Y BENEFICIO PARA LA ZONA DE ESTUDIO

3.6.1 Modelamiento

El modelamiento y diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la cabecera parroquial de Licto fue una fase crítica para analizar el desempeño del esquema modular propuesto, que incluye las etapas de tratamiento primario, secundario y terciario. Utilizando el software Autodesk AutoCAD, se elaboraron los planos detallados de cada proceso, considerando los parámetros clave como la eficiencia de remoción de contaminantes, la estabilidad operativa y la capacidad de respuesta ante variaciones en la carga y caudal. Este enfoque permitió ajustar y optimizar el diseño preliminar antes de su implementación.

En el tratamiento primario, se diseñaron los procesos de cribado, desarenado y sedimentación primaria, el cribado fue diseñado para determinar su efectividad en la retención de sólidos gruesos, el desarenador para optimizar la remoción de partículas sedimentables, el sedimentador primario para reducir la concentración de sólidos suspendidos totales y materia orgánica, garantizando que el efluente cumpla con los requisitos de ingreso al tratamiento secundario. Los cálculos indicaron que este conjunto de unidades lograría reducir la carga contaminante inicial en un 40-60%, un rango óptimo para los sistemas biológicos posteriores (Rojas, 2008).

En el tratamiento secundario, se integraron un tanque Imhoff y un sedimentador secundario, el diseño consideró procesos aeróbicos, evaluando parámetros como el oxígeno

disuelto, la producción de lodos y la eficiencia de remoción de DBO y DQO. Los resultados mostraron que el sistema propuesto podía alcanzar eficiencias superiores al 85% en la remoción de materia orgánica, incluso en escenarios de alta carga orgánica, lo que validó su viabilidad técnica.

El tratamiento terciario fue diseñado como una unidad de cloración con pastillas o cloro líquido. Se determinó la concentración de cloro residual necesaria para garantizar la eliminación de coliformes fecales, ajustando el tiempo de contacto y la dosificación. Los resultados indicaron que la configuración seleccionada alcanzaba los niveles de desinfección establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A, con un consumo mínimo de reactivos.

3.6.2 Evaluación Económica y Viabilidad

La evaluación económica y el análisis de viabilidad del sistema de tratamiento de aguas residuales fueron desarrollados para determinar su factibilidad técnica y económica, considerando los costos de construcción, operación y mantenimiento, asegurando que la propuesta sea sostenible para la comunidad y viable dentro del financiamiento estatal.

Esta evaluación se llevó a cabo a través de un presupuesto detallado que contemple los costos de materiales, equipos, mano de obra y otros gastos necesarios para su construcción y funcionamiento. Para ello, se recopiló información sobre los componentes específicos requeridos en la implementación del sistema, asegurando que los materiales seleccionados sean adecuados en términos de calidad, durabilidad y costos accesibles.

El análisis económico incluye la identificación y cuantificación de los costos unitarios de cada proceso necesario. Esta información permite determinar un presupuesto acorde con las condiciones del mercado y garantizar la disponibilidad de los recursos esenciales. Además, se consideraron los costos asociados a la mano de obra especializada requerida para la construcción e instalación del sistema, así como los gastos relacionados con los materiales y la ejecución de actividades complementarias.

Adicionalmente, se evaluaron los costos operativos y de mantenimiento del sistema, incluyendo el consumo de energía, la reposición de insumos y los procedimientos de monitoreo y control para garantizar su correcto funcionamiento. La información obtenida es organizada en un informe detallado que permite visualizar la inversión total estimada y su viabilidad en función de los recursos disponibles para el proyecto.

CAPÍTULO IV.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MEDICIÓN DE CAUDAL

Para determinar los valores de caudal en el punto de descarga, se realizaron mediciones volumétricas, los resultados de las mediciones se detallan en la Tabla 12. El caudal promedio fue de 2,85 L/s (0,00285 m³/s), mientras que el caudal máximo alcanzó un valor de 4 L/s (0,004 m³/s). Estas mediciones fueron obtenidas considerando un volumen constante de 6 litros y tiempos de llenado de 2,10 segundos para el caudal promedio y 1,50 segundos para el caudal máximo. Estos resultados permiten garantizar una capacidad adecuada para manejar tanto el flujo regular como los picos de descarga.

Tabla 11.

Registro del caudal máximo y promedio por medio del método volumétrico

	Caudal Promedio	Caudal Máximo
Volumen (L)	6	6
Tiempo de llenado (s)	2,10	1,50
Caudal (L/s)	2,85	4
Caudal (m³/s)	0,00285	0,004

Estos datos constituyen una base fundamental para los cálculos necesarios en el dimensionamiento de cada unidad de tratamiento de agua residual contemplada en el sistema propuesto para la cabecera parroquial de Licto.

Estos registros reflejan las condiciones específicas de descarga en el área de estudio y garantizan la precisión en el análisis de los caudales, lo que permitirá un diseño eficiente y adaptado a las necesidades del sistema de saneamiento propuesto.

4.2 ANÁLISIS EN LABORATORIO

Los datos de la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual del sistema de descarga de la cabecera parroquial de Licto se representan se presentan en la Tabla 11.

Tabla 12.

Comparativa de los límites de la normativa 097-A con los datos obtenidos en laboratorio

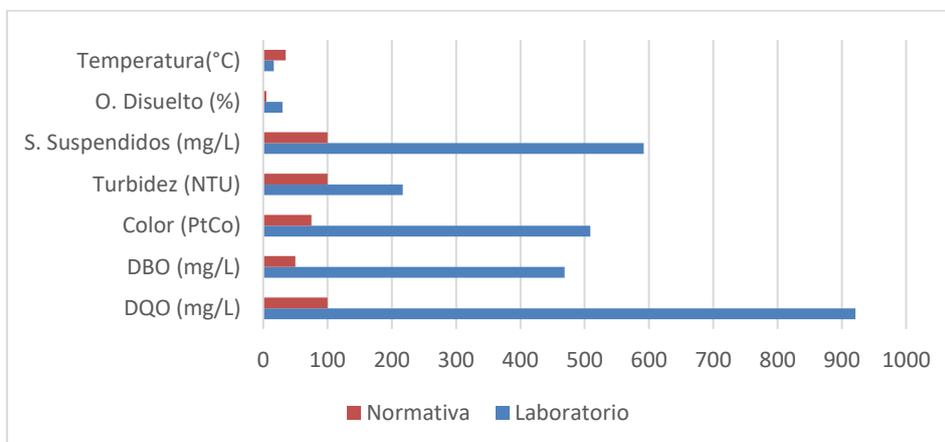
Parámetros	Unidades	Límite permisible	Laboratorio	Criterio
Demanda química oxígeno	de mg/L	100	921	No cumple

Demanda bioquímica de oxígeno	de mg/L	50	469	No cumple
Color	PtCo APHA	Inapreciable en disolución 1:20	509 (1:2)	Cumple
Turbiedad	NTU	100	217	No cumple
Sólidos suspendidos	mg/l	100	592	No cumple
Oxígeno disuelto	%	5	30	No cumple
Temperatura	°C	<35	16,5	Cumple
Coliformes fecales	UFC/ml	Remoción 99,9% >	2,4 x 10 ⁵	No cumple

Del análisis de los parámetros evaluados del agua residual de la cabecera parroquial de Licto, se observó que solo dos de los ocho parámetros se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa vigente, siendo estos la temperatura y color. Los demás parámetros superaron los valores máximos permitidos, lo cual indica una alta presencia de contaminantes en el efluente. Se observan elevadas concentraciones de DQO, DBO, turbidez, sólidos suspendidos y coliformes fecales, reflejando una carga orgánica y presencia de compuestos no biodegradables. Este comportamiento es característico de las aguas residuales generadas en zonas rurales, las cuales requieren un tratamiento especializado para la remoción eficiente de dichos contaminantes.

En la Figura 3 se presenta los valores de los parámetros obtenidos en el laboratorio frente a los límites establecidos en la normativa correspondiente:

Figura 3. Comparativa de los valores analizados en laboratorio y establecidos con la normativa



Para evaluar la percepción de olores en la descarga de aguas residuales de la cabecera parroquial de Licto, se realizaron encuestas a los presidentes de los barrios de la zona como se indica en el Anexo 16, presentando una serie de preguntas que permitieron identificar la situación de la calidad de olor en la zona de estudio. Los resultados indican que el 68,8% de los encuestados percibieron el olor como "Desagradable" (olor malo pero soportable), mientras que un 18,8% lo calificó como "Muy desagradable" (olor muy fuerte y malo). Solo el 12,5% de los participantes señaló no percibir olores fuertes, describiéndolos como "Agradables" (olor suave, casi no molesto) como se muestra en la Figura 4. Estos confirman la presencia predominante de olores, lo que refuerza la necesidad de implementar un tratamiento adecuado para la reducción de carga orgánica y compuestos volátiles responsables de los malos olores.

Figura 4.

Percepción de malos olores cerca de las descargas de agua residual.

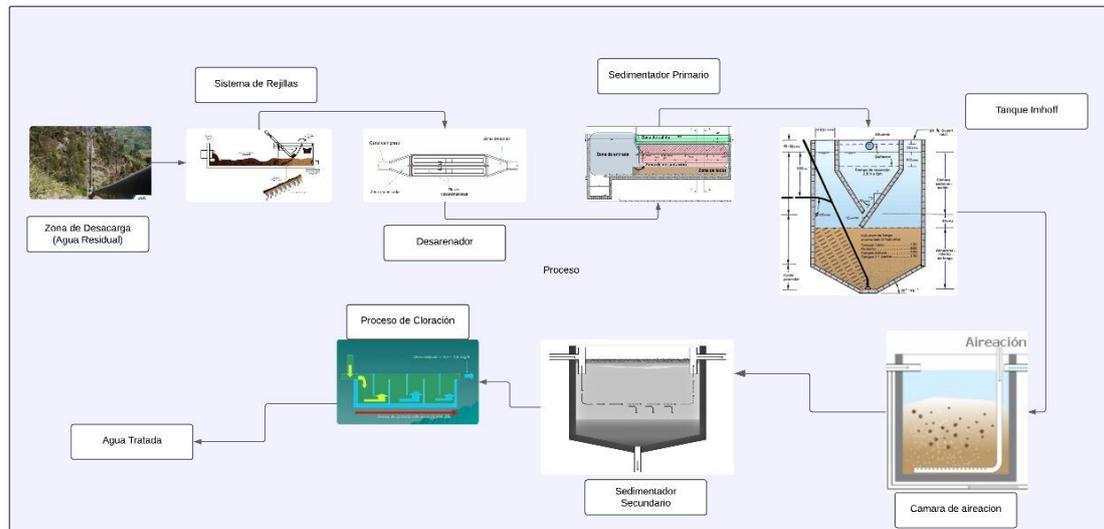


La Figura 5 presenta el diagrama del sistema propuesto para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la cabecera parroquial de Licto. Este esquema detalla cada una de las unidades de proceso que conforman el sistema de tratamiento, mostrando la secuencia lógica y funcional de las etapas diseñadas para garantizar una depuración eficiente y sostenible del agua residual.

Posteriormente, las aguas residuales atraviesan una serie de procesos secuenciales que garantizan su adecuado tratamiento. En primer lugar, se lleva a cabo el pretratamiento, que comprende la remoción de sólidos gruesos y materiales flotantes mediante el sistema de rejilla o cribado. Este proceso es fundamental para evitar la obstrucción de equipos y mejorar la eficiencia de las siguientes etapas. A continuación, el flujo se dirige al desarenador, unidad en la que se separan partículas sedimentables como arena y grava, lo que previene el desgaste y la acumulación de residuos en la infraestructura del sistema.

Figura 5.

Propuesta de la planta de tratamiento de agua residual para la cabecera parroquial de Licto



La segunda fase corresponde a la sedimentación primaria, donde el agua pretratada es conducida al sedimentador primario. En esta unidad, se facilita la separación de partículas más finas mediante un proceso de sedimentación gravitacional, lo que permite la reducción de la carga contaminante y mejora la eficiencia del tratamiento posterior.

En la tercera etapa se desarrolla el tratamiento biológico, cuyo objetivo principal es la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual. Inicialmente, el flujo pasa al tanque Imhoff, unidad en la que se combinan la sedimentación y la digestión anaerobia, contribuyendo a la reducción de sólidos suspendidos y carga orgánica. Posteriormente, el efluente es transferido al tanque de aireación, donde se introduce aire para favorecer la proliferación de microorganismos aeróbicos. Estos organismos desempeñan un papel clave en la degradación de la materia orgánica, reduciendo significativamente la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y mejorando la calidad del agua tratada.

La siguiente fase corresponde a la sedimentación secundaria, en la cual el agua tratada en el tanque de aireación es conducida al sedimentador secundario. En esta unidad, se remueven los sólidos biológicos generados en el proceso de tratamiento biológico, mejorando la claridad del efluente y reduciendo la presencia de material en suspensión.

Finalmente, se lleva a cabo la desinfección y disposición final del efluente, en esta etapa, el agua es sometida al sistema de cloración, donde se aplica un agente desinfectante para la eliminación de microorganismos patógenos. Este procedimiento es esencial para garantizar que el agua cumpla con los estándares de calidad establecidos por la normativa vigente antes de su disposición final o posible reutilización.

Este esquema integra procesos físicos, químicos y biológicos, diseñados asegurando un tratamiento eficiente y sostenible de los recursos hídricos antes de su disposición final o posible reutilización.

4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REJILLAS

El sistema de rejillas constituye la primera etapa del proceso de tratamiento de aguas residuales en la cabecera parroquial de Licto. Su diseño garantiza la retención eficiente de sólidos gruesos, evitando obstrucciones en las unidades posteriores y manteniendo condiciones hidráulicas adecuadas.

El diseño del sistema de rejillas cumple con criterios hidrodinámicos y estructurales, asegurando un pretratamiento eficiente y sostenible. La selección de materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o galvanizado garantiza su durabilidad y eficiencia operativa en ambientes agresivos. Además, la disposición geométrica facilita un mantenimiento sencillo, minimizando costos y optimizando la eficiencia del sistema a largo plazo.

Los parámetros de diseño se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13.

Dimensionamiento del sistema de rejillas

	Unidad	Valor
Caudal de diseño	m ³ /s	0,0052
Ancho del canal	m	0,6
Espesor de las barras	m	0,01
Separación entre barras	m	0,02
Altura de seguridad	m	0,25
Ángulo de inclinación	∅	45°
Velocidad de flujo	m/s	0,45
Fracción ocupada de barras		0,175
Área libre de paso de agua	m ²	0,01156
Tirante de agua en el canal	m	0,01926
Área de sección transversal del flujo	m ²	0,0143
Altura total del canal	m	0,2692
Longitud de las barras	m	0,3807
Número de barras		20
Nivel máximo de agua en la rejilla	mm	0,01926
Longitud sumergida de la barra	m	0,02724

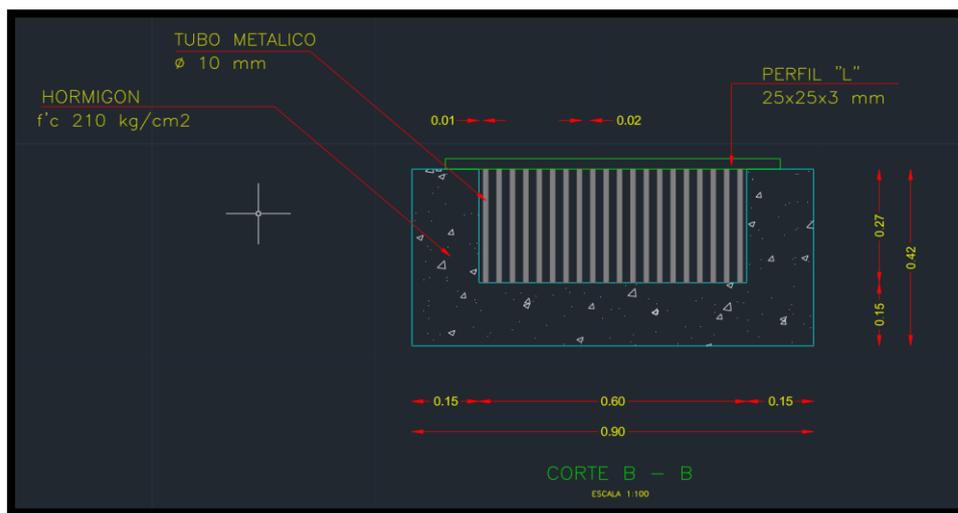
La implementación del sistema de rejillas constituye el primer paso del tratamiento primario, ya que permite retener sólidos gruesos presentes en el caudal entrante. Esta unidad debe garantizar un flujo constante y libre de obstrucciones hacia las etapas posteriores. Para

lograrlo, se realizó un dimensionamiento técnico que toma en cuenta el caudal máximo, la velocidad de paso, el ancho del canal y la separación entre barras.

La Figura 6 muestra la vista frontal del diseño del sistema de rejillas, esta imagen fue elaborada mediante el software Autodesk AutoCAD y representa de forma clara la distribución geométrica de las barras, la inclinación y dimensiones estructurales de las mismas, que fueron definidas con base al dimensionamiento dado en la Tabla 13 posteriormente entregada. Este diseño puede confirmar un área libre de paso suficiente para el caudal calculado y proyectado, además garantiza de cierto modo una eficiencia en la retención de sólidos sin generar pérdidas de gran importancia en la carga.

Figura 6.

Vista Frontal del Dimensionamiento del Sistema de Rejillas (Plano en Autodesk AutoCAD)



Esta visualización técnica es clave para comprender cómo se integra físicamente el sistema en la planta de tratamiento y cómo responde a las necesidades hidráulicas del sitio.

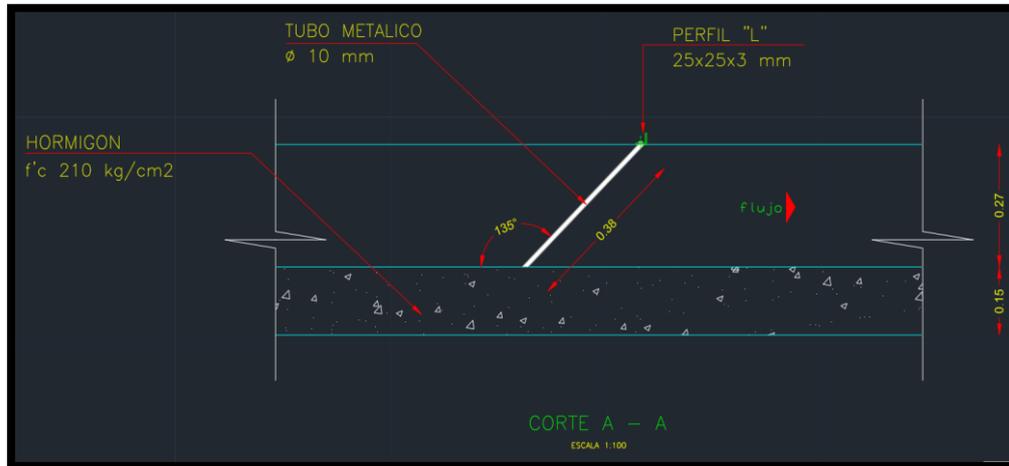
Una vez presentada la vista frontal también se adjunta una representación lateral del diseño, misma que da un entendimiento más claro del funcionamiento y la geometría de la unidad. Esta vista lateral también deja ver la inclinación de barras, la profundidad del canal, la altura total del sistema, elementos muy importantes para garantizar un flujo óptimo, adecuado y evitar acumulación de sólidos.

La Figura 7 nos muestra una vista lateral del diseño del sistema de rejillas, donde se observa el ángulo de inclinación de las rejillas, esto ayuda en la retención de residuos y hace más fácil la limpieza ya sea manual o mecánica, además, se presentaron detalles estructurales como el tirante hidráulico y la altura de seguridad del diseño planteado.

Para valorar que las condiciones hidráulicas se cumplan de una forma debida en el diseño elaborado se muestra la imagen dada, también para una ayuda en el apartado de construcción e implementación de la unidad de cribado en el lugar establecido.

Figura 7.

Vista Lateral del Dimensionamiento del Sistema de Rejillas (Plano en Autodesk AutoCAD)



Para complementar el diseño del sistema de cribado, se elaboraron planos técnicos que permiten visualizar su geometría y estructura. La vista en planta y la isometría de las rejillas se presentan en los Anexos 1 y 2, respectivamente. Estos anexos detallan las dimensiones de los canales, la separación entre barras y la inclinación adoptada, aspectos fundamentales para garantizar una eficiente retención de sólidos gruesos.

Además, los rubros de construcción estimados para esta unidad se encuentran detallados en el Anexo 17, que incluye costos de materiales, mano de obra y equipos requeridos.

4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR

La unidad del desarenador es importante en todo el sistema de tratamiento debido a la influencia que tiene sobre la remoción de sólidos sedimentables como arena y grava.

Se debe hacer énfasis en el uso de concreto reforzado con recubrimiento con resistencia al calor en zonas expuestas a sustancias agresivas y acero inoxidable para elementos metálicos para su construcción. Este diseño planteado consolida una eficiencia operativa, facilidad de mantenimiento y protección de las etapas que vienen después en el tratamiento de las aguas residuales de la zona de estudio.

El desarrollo de las dimensiones se obtuvo a partir de parámetros hidráulicos como el caudal máximo, el tiempo de retención y la velocidad de sedimentación. En la Tabla 14 se pueden apreciar las dimensiones finales calculadas para el desarenador, tomando en cuenta el equilibrio entre eficiencia en la separación de partículas y facilidad de operación en esta unidad y posteriores.

Las dimensiones tomadas pueden confirmar que las partículas con mayor densidad se coloquen de manera eficiente en el fondo del tanque sin verse empujadas a las etapas que siguen en el proceso de tratamiento, confirmando la eficiencia global del sistema de tratamiento de aguas residuales de nuestra zona investigada.

Tabla 14.*Dimensionamiento del desarenador*

Factor	Unidad	Valor
Caudal de diseño	m ³ /s	0,0052
Tiempo de retención	min	5
Velocidad de sedimentación	m/s	0,0146
N de unidades		2
Capacidad por unidad	m ³	1,56
Capacidad total	m ³	3,12
Área superficial requerida	m ²	0,3562
Área superficial por unidad	m ²	1,3
Área total	m ²	2,6
Largo por unidad	m	1,62
Ancho por unidad	m	0,81
Ancho total	m	1,62
Altura del desarenador	m	1,20
Caudal por línea	m ³ /s	0,004
Largo de la zona de transición	m	1,96

Una vez definidos los parámetros técnicos y estructurales del desarenador, se procedió a su representación gráfica con el objetivo de visualizar su implementación dentro del sistema de tratamiento. La vista lateral es especialmente útil para evaluar aspectos como la profundidad efectiva, la forma del canal, y la distribución del flujo durante el proceso de sedimentación.

La Figura 8 muestra una vista lateral del diseño del desarenador realizado en el software Autodesk AutoCAD. En esta imagen, se puede observar la pendiente en el fondo, la profundidad necesaria para su funcionamiento y las dimensiones estructurales que garantizan un tiempo de retención adecuado, permitiendo que las partículas sedimentables se depositen de manera eficiente. Además, se incluye el perfil hidráulico del flujo, lo cual ayuda a verificar que la velocidad del agua se mantenga dentro del rango óptimo establecido durante la fase de diseño.

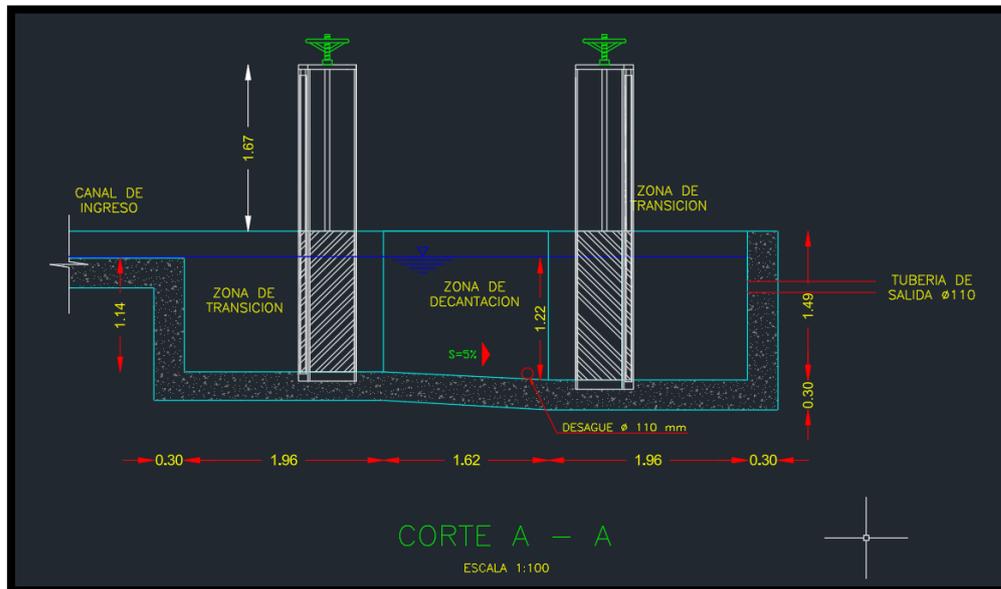
Este tipo de representación técnica resulta esencial para comprender en la práctica cómo opera el sistema, facilitar su construcción y garantizar que cumple con los objetivos de eficiencia establecidos en el estudio.

La vista frontal del desarenador permite una mejor comprensión de la configuración transversal del canal, incluyendo su ancho útil para el paso del caudal y los detalles

estructurales que afectan su rendimiento. Esta perspectiva complementa la vista lateral y proporciona una visión integral del comportamiento hidráulico de la unidad.

Figura 8.

Vista Lateral del Dimensionamiento del Desarenador (Plano en Autodesk AutoCAD)



La Figura 9 presenta la vista frontal del desarenador, representada gráficamente mediante Autodesk AutoCAD. En este plano se destacan las dimensiones horizontales del canal, incluyendo el ancho total y el espesor de las paredes laterales. También se puede visualizar la sección transversal por donde fluye el agua residual, lo cual es fundamental para confirmar que se mantenga una distribución uniforme del flujo que favorezca la sedimentación de las partículas más densas.

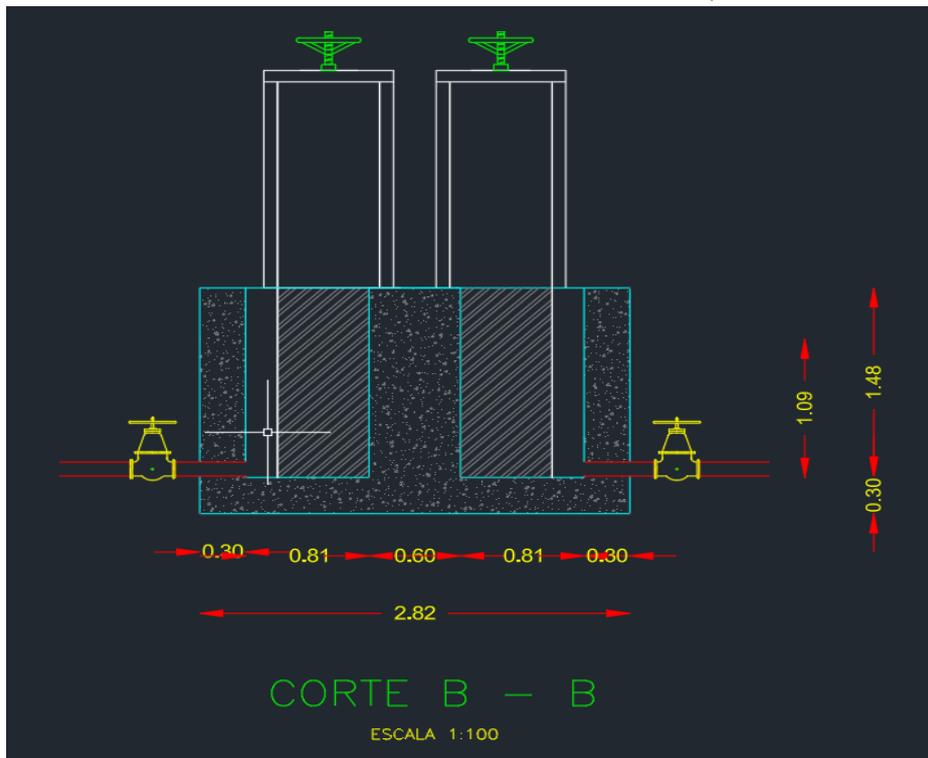
Esta representación es fundamental para asegurarse de que se cumplen los criterios de diseño, además de facilitar tanto la etapa de construcción como el mantenimiento a largo plazo de la estructura.

El diseño del desarenador se ha representado gráficamente mediante planos en planta e isometrías, que se encuentran en los Anexos 3 y 4. En estos planos se puede ver claramente la forma trapezoidal del canal, la inclinación del fondo y la ubicación de las cámaras de entrada y salida. Estas vistas son muy útiles para comprobar que las condiciones hidráulicas se ajustan correctamente al caudal diseñado.

Además, el Anexo 18 proporciona un presupuesto estimado para su construcción, lo cual ayuda a entender cuánto invierteremos en esta parte del proceso de tratamiento.

Figura 9.

Vista Frontal del Dimensionamiento del Desarenador (Plano en Autodesk AutoCAD)



4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO

El sedimentador primario es una unidad clave en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la cabecera parroquial de Licto, diseñado para remover sólidos suspendidos gruesos mediante sedimentación.

Se recomienda que la construcción del sedimentador se realice utilizando concreto armado, el cual debe ser resistente a la humedad y al desgaste químico. Además, es aconsejable aplicar recubrimientos internos que contribuyan a prolongar su vida útil. Este diseño está enfocado en optimizar la reducción de la carga orgánica, facilitando así las etapas posteriores del tratamiento.

Para determinar sus dimensiones, se emplearon fórmulas de diseño que toman en cuenta el caudal promedio, el tiempo de retención hidráulica y la carga superficial admisible. La Tabla 15 presenta un resumen de los resultados obtenidos en esta fase, incluyendo datos como la carga superficial, la superficie total, el diámetro, el volumen del sedimentador, así como el tiempo de retención hidráulica, la profundidad y la velocidad ascensional, todos ellos calculados según las condiciones específicas de operación del proyecto.

Este diseño asegura que el sedimentador proporcione las condiciones hidráulicas necesarias para una adecuada remoción de sólidos, evitando el arrastre de partículas hacia las etapas posteriores del tratamiento.

Tabla 15.*Dimensionamiento del sedimentador primario*

Factor	Unidad	Valor
Carga Superficial	m ³ /h	1,25
Área superficial	m ²	14,98
Diámetro del sedimentador	m	4,37
Volumen del sedimentador	m ³	44,93
Tiempo de retención hidráulico	h	2,4
Profundidad	m	3
Velocidad ascensional	m/s	0,00347

La visualización frontal del sedimentador primario permite analizar la configuración geométrica y estructural de esta unidad, esencial para asegurar un proceso eficiente de sedimentación. Esta perspectiva facilita la validación del área superficial requerida, la distribución del flujo y la altura total del tanque diseñada para cumplir con el tiempo de retención establecido.

La Figura 10 presenta una vista frontal del diseño del sedimentador primario, elaborado cuidadosamente con el software Autodesk AutoCAD. En este plano, se destacan los del proyecto, todos ellos ajustados a las condiciones hidráulicas establecidas para el caudal previsto. Esta representación gráfica facilita la evaluación de la coherencia entre los parámetros calculados y la implementación en obra del sistema.

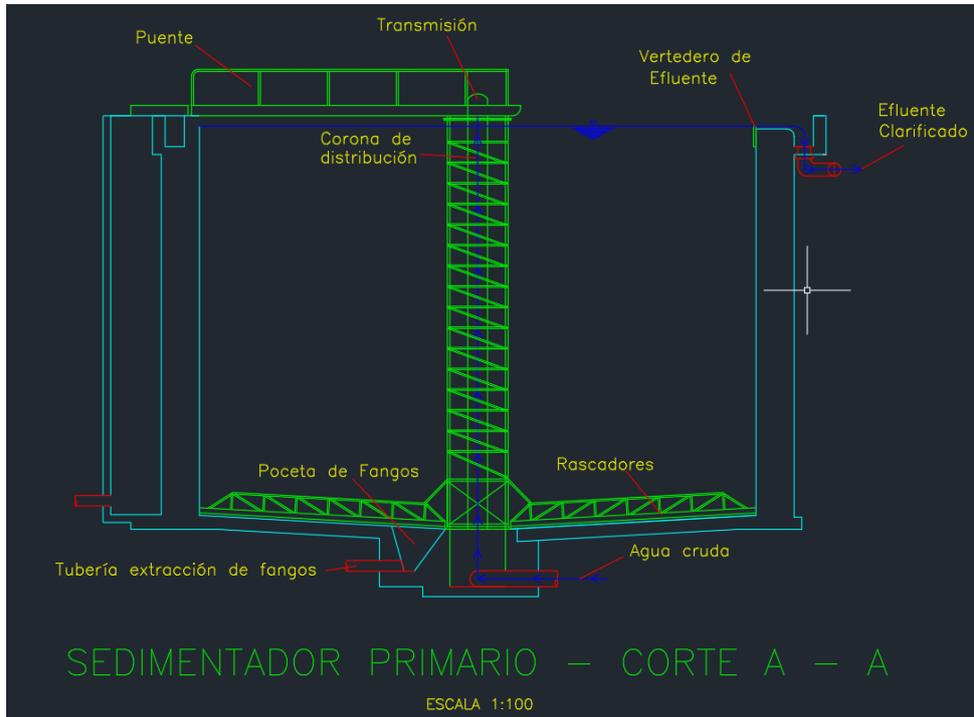
Además, este grafico sirve como una guía visual clara para la ejecución en campo, contribuyendo a que el sistema cumpla con los objetivos de remoción de sólidos suspendidos en esta etapa del proceso de tratamiento.

Los detalles gráficos específicos del sedimentador primario se encuentran en los Anexos 5 y 6, que incluyen tanto la vista en planta como la vista isométrica del tanque, permitiendo entender sus dimensiones estructurales y configuración interna, lo cual favorece un flujo laminar y una sedimentación eficiente de las partículas.

El Anexo 22 complementa esta sección con el detalle económico del presupuesto requerido para su ejecución.

Figura 10.

Vista Frontal del Dimensionamiento del Sedimentador Primario (Plano en Autodesk AutoCAD)



4.6 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE IMHOFF

El tanque Imhoff es una unidad esencial dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales diseñado para la cabecera parroquial de Licto, combinando las funciones de sedimentación y digestión anaerobia. Este tanque permite la remoción eficiente de sólidos suspendidos y la estabilización de la materia orgánica, elementos críticos para el adecuado manejo de aguas residuales.

El diseño presentado en la Tabla 16 no solo optimiza la remoción de sólidos y la estabilización de la materia orgánica, sino que además desempeña un papel fundamental en la mejora de la calidad del efluente tratado. Esto garantiza no solo la sostenibilidad del sistema sino también su eficiencia operativa.

Para este estudio, se calculó cada valor en función de la carga orgánica estimada, el tiempo de retención en las cámaras de sedimentación y digestión, así como el volumen necesario para el almacenamiento de lodos durante varios meses. La Tabla 16 detalla las dimensiones finales del diseño, incluyendo el volumen total del tanque, la altura de la cámara, las áreas funcionales y otros parámetros estructurales que aseguran un funcionamiento adecuado del sistema.

Este dimensionamiento asegura que el tanque Imhoff cumpla con su doble función de forma eficiente, facilitando tanto la separación física de sólidos como la estabilización de

lodos, lo cual reduce la frecuencia de limpieza y contribuye a un tratamiento sostenible a largo plazo.

Tabla 16.

Dimensionamiento del tanque Imhoff

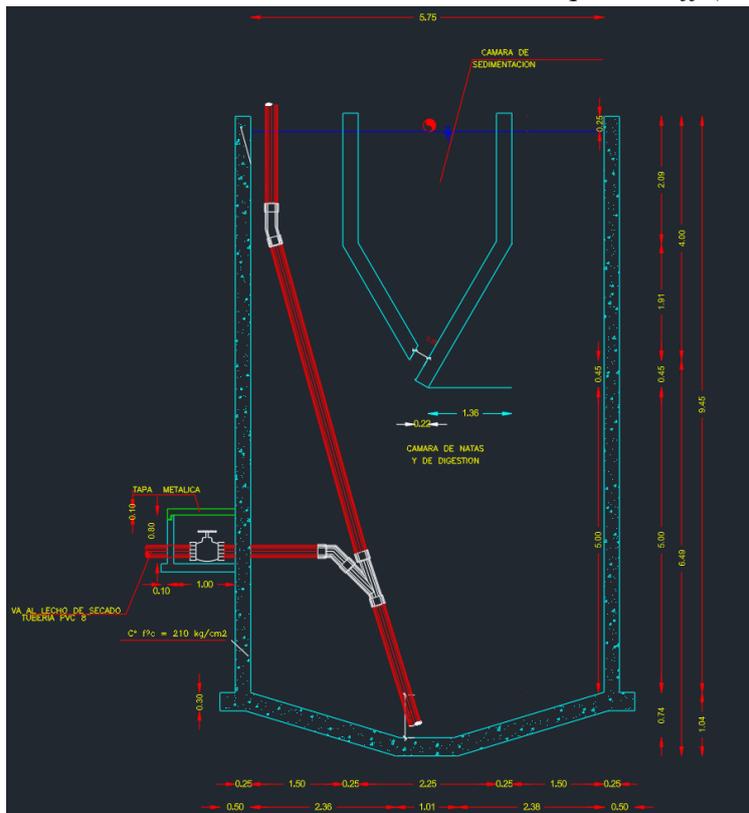
<i>Factor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>
Tiempo de retención hidráulica	h	3
Velocidad ascensional	m ³ /m ² ·d	30
Altura neutra	m	0,45
Profundidad de la cámara de sedimentación	m	2,50
Altura de la cámara de digestión	m	5
Volumen de la cámara de sedimentación	m ³	56,19
Área superficial de la cámara de sedimentación	m ²	14,98
Ancho de la cámara de sedimentación	m	2,23
Longitud de la cámara de sedimentación	m	6,70
Volumen real de la cámara de sedimentación	m ³	74,92
Volumen de la cámara de digestión	m ³	74,92
Altura total del tanque	m	9,45
Área de las ventosas de la cámara de sedimentación	m ²	0,749
Ancho de las ventosas de la cámara de sedimentación	m	0,223
Ancho total del tanque	m	2,73
Altura de la cámara de sedimentación	m	3,75
Volumen real de la cámara de espumas	m ³	3,746
Altura de la cámara de espumas	m	0,250

La Figura 11 muestra la vista lateral del tanque Imhoff, representada mediante Autodesk AutoCAD. En esta ilustración técnica se aprecia la diferenciación clara entre la cámara superior, donde ocurre la sedimentación, y la cámara inferior, destinada a la digestión anaerobia de lodos. También se destacan aspectos constructivos como la altura total del tanque, el nivel de agua, el espesor de la base, y la pendiente de fondo que facilita la acumulación controlada de sólidos.

Esta representación permite validar que las proporciones del diseño garanticen el tiempo de retención requerido, favorezcan el asentamiento de sólidos y aseguren una digestión eficiente, todo dentro de un diseño compacto y funcional adaptado al contexto rural del área de estudio.

Figura 11.

Vista lateral del Dimensionamiento del Tanque Imhoff (Plano en Autodesk AutoCAD)



La vista frontal del tanque Imhoff complementa la información proporcionada en la vista lateral, permitiendo analizar con mayor precisión la configuración transversal de sus componentes. Esta perspectiva facilita la verificación de dimensiones como el ancho del tanque, la simetría de las cámaras internas y la ubicación de elementos clave para el flujo del agua residual.

La Figura 12 muestra una vista frontal del diseño del tanque Imhoff, elaborado en Autodesk AutoCAD. En esta imagen, se pueden observar con claridad las proporciones estructurales del tanque, como su ancho total, la distribución de las diferentes cámaras y las alturas de operación. Esta vista permite identificar cómo se organiza internamente el sistema para cumplir su doble función: sedimentar los sólidos en la parte superior y digerirlos en la parte inferior mediante procesos anaerobios.

Esta visualización técnica es muy importante para garantizar que el diseño cumpla con las especificaciones, funcione de manera eficiente y se construya adecuadamente según las condiciones del sitio.

Para esta unidad, se calcularon parámetros fundamentales como el volumen total, la altura del tanque, su diámetro, y la carga superficial, todo en función del caudal y las características del lodo generado. La Tabla 17 resume los valores obtenidos para el diseño del sedimentador secundario, considerando además la velocidad ascensional máxima admisible para evitar la resuspensión de sólidos.

Tabla 17.

Dimensionamiento del sedimentador secundario

Factor	Unidad	Valor
Tiempo de retención hidráulica	h	2
Borde libre	m	0,30
Volumen del tanque	m ³	37,44
Área del tanque	m ²	6,93
Diámetro del tanque	m	2,97
Profundidad del tanque	m	5,4
Velocidad ascensional	m/s	0,00075

Este dimensionamiento permite asegurar una decantación eficiente, minimizando el arrastre de lodos y optimizando el rendimiento del sistema antes de la etapa final de tratamiento.

Una representación gráfica adecuada del sedimentador secundario es fundamental para verificar que se cumplen los criterios de diseño establecidos. En particular, la vista lateral permite entender la profundidad del tanque, la disposición vertical del flujo y las proporciones generales de la estructura, aspectos que favorecen una eficaz decantación de los lodos biológicos.

La Figura 13 presenta la vista lateral del dimensionamiento del sedimentador secundario, elaborada con Autodesk AutoCAD. En este plano, se detallan aspectos estructurales como la altura útil del tanque, el nivel de agua, el borde libre y el fondo, que puede ser cónico o plano según el diseño, facilitando así la recolección y extracción de los lodos. Además, esta perspectiva permite analizar el perfil hidráulico del flujo, asegurando una velocidad ascensional controlada que evita que los sólidos se arrastren hacia el efluente final.

Esta representación es muy importante para guiar la construcción y asegurarse de que el sistema funcione correctamente según los principios que se esperan hidráulicos y biológicos. Esto ayuda a que el proceso sea más eficiente.

Para determinar las dimensiones, se consideraron parámetros como la relación entre alimento y microorganismos (F/M), el tiempo de retención hidráulico y la concentración mínima de oxígeno necesaria para mantener una actividad biológica constante. La Tabla 18

presenta las dimensiones principales del tanque de aireación, que se calcularon en base al caudal promedio de diseño y a las características de la carga contaminante.

Figura 13.

Vista Lateral del Dimensionamiento del Sedimentador Secundario (Plano en Autodesk AutoCAD)

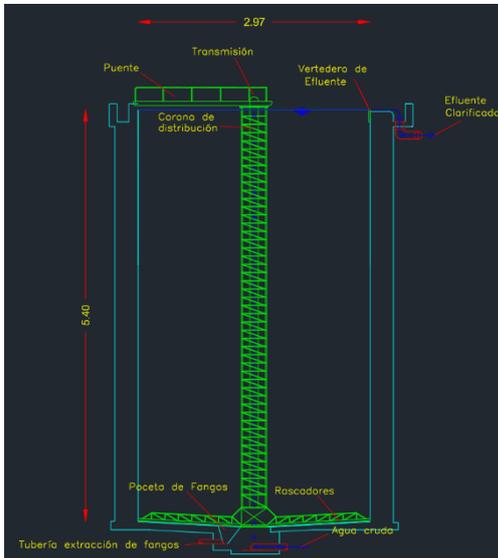


Tabla 18.

Dimensionamiento del tanque de aireación

Factor	Unidad	Valor
Caudal de diseño	m ³ /s	0,0052
Volumen del tanque	m ³	3,12
Altura del tanque	m	1,16
Área superficial	m ²	2,69
Largo del tanque	m	2,32
Ancho del tanque	m	1,64

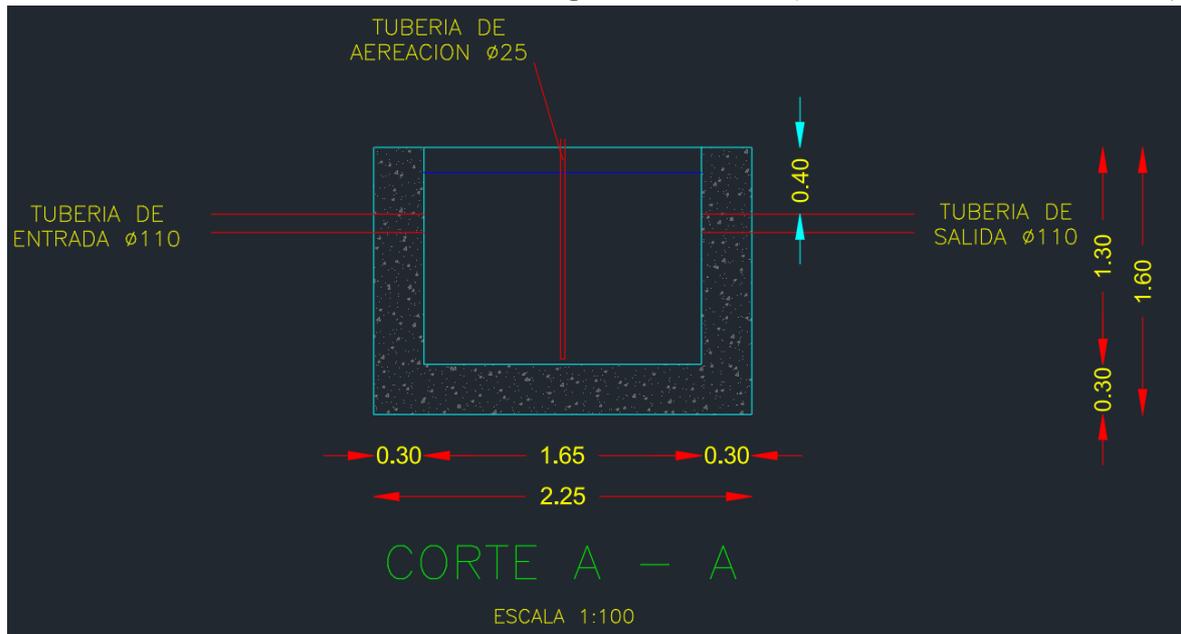
Estas dimensiones garantizan un entorno aeróbico eficiente para la biodegradación de materia orgánica, minimizando el riesgo de sobrecarga y optimizando el rendimiento del sistema en condiciones operativas normales.

La vista lateral del tanque de aireación ofrece una descripción detallada de su configuración estructural, facilitando así la evaluación de la distribución del volumen útil, la altura total y la dinámica hidráulica durante el proceso de tratamiento biológico. Esta perspectiva resulta fundamental para asegurar que las condiciones internas propicien un contacto eficiente entre la biomasa activa y el oxígeno disuelto.

La Figura 14 muestra la vista lateral del diseño del tanque de aireación, elaborada con Autodesk AutoCAD. En este plano se observan elementos como la profundidad del tanque, el nivel del agua, el espesor de las paredes y la disposición del sistema de aireación, los cuales fueron dimensionados conforme a los criterios técnicos previamente establecidos. Además, se puede apreciar la geometría del tanque, pensada para mantener una mezcla homogénea y asegurar un tiempo de retención adecuado.

Figura 14.

Vista lateral del Dimensionamiento del Tanque de Aireación (Plano en Autodesk AutoCAD)



Esta representación gráfica permite confirmar que el diseño cumple con los requerimientos para un tratamiento aeróbico eficiente, favoreciendo la reducción de la materia orgánica y el funcionamiento óptimo del sistema en condiciones reales de operación.

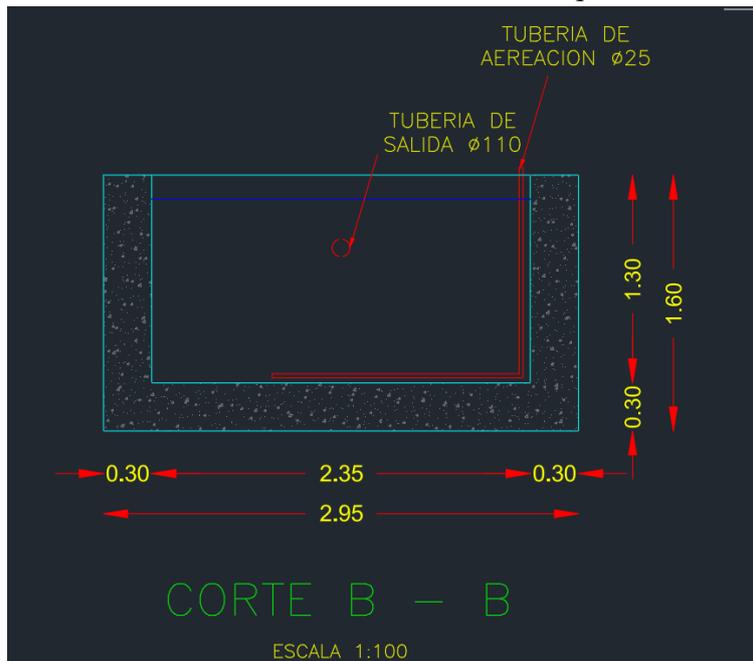
La vista frontal del tanque de aireación permite ver fácilmente sus dimensiones horizontales y cómo está organizado en su interior, todo desde una perspectiva transversal, complementando así el análisis estructural. Esta perspectiva facilita la verificación del ancho, la distribución simétrica del flujo y la ubicación de elementos clave del sistema de aireación.

La Figura 15 ilustra la vista frontal del tanque de aireación, elaborada con el software Autodesk AutoCAD. En esta imagen se puede apreciar claramente el ancho total del tanque, el nivel del líquido durante la operación, así como los componentes estructurales que garantizan la estabilidad y el correcto funcionamiento del sistema. Además, se observa la distribución espacial que permite una aireación homogénea en toda la sección del reactor biológico, asegurando una mezcla completa entre el agua residual y el oxígeno.

Esta representación técnica facilita la validación de que el diseño cumple con los parámetros funcionales y constructivos necesarios para una remoción eficiente de la carga orgánica en condiciones aeróbicas, contribuyendo así a la efectividad global del sistema de tratamiento.

Figura 15.

Vista Frontal del Dimensionamiento del Tanque de Aireación (Plano en Autodesk AutoCAD)



La geometría y disposición interna del tanque de aireación se presentan en los Anexos 9 y 10, donde se observan las dimensiones, la altura operativa y la ubicación del sistema de difusión de aire. En cuanto al sedimentador secundario, sus vistas técnicas están contenidas en los Anexos 11 y 12, que muestran su estructura circular y el mecanismo de recolección de lodos.

Para ambos elementos, se han elaborado estimaciones de costos. El Anexo 20 corresponde al tanque de aireación y el Anexo 23 al sedimentador secundario.

4.8 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE CONTACTO

La Tabla 19 presenta el diseño del tanque de contacto, una de las unidades más importantes en el sistema de tratamiento de aguas residuales para la cabecera parroquial de Licto. Su función principal es desinfectar el agua tratada mediante un proceso de cloración, que elimina microorganismos patógenos y garantiza que el efluente cumpla con las normas de calidad requeridas para su disposición final o para su posible reutilización.

Gracias a sus características, el tanque de contacto refuerza la etapa final del proceso, asegurando la calidad del agua y ayudando a proteger el medio ambiente y la salud pública

Además, este dimensionamiento asegura que la desinfección se realice de manera eficiente, eliminando agentes patógenos y cumpliendo con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

La Figura 16 muestra la vista lateral del dimensionamiento del tanque de contacto, desarrollada con Autodesk AutoCAD. En este plano se aprecian la longitud del tanque, la altura del líquido, el espesor de las paredes y el volumen útil diseñado para cumplir con el tiempo de retención establecido. Esta disposición garantiza que el efluente permanezca el

tiempo suficiente en contacto con el desinfectante, permitiendo la inactivación efectiva de microorganismos patógenos.

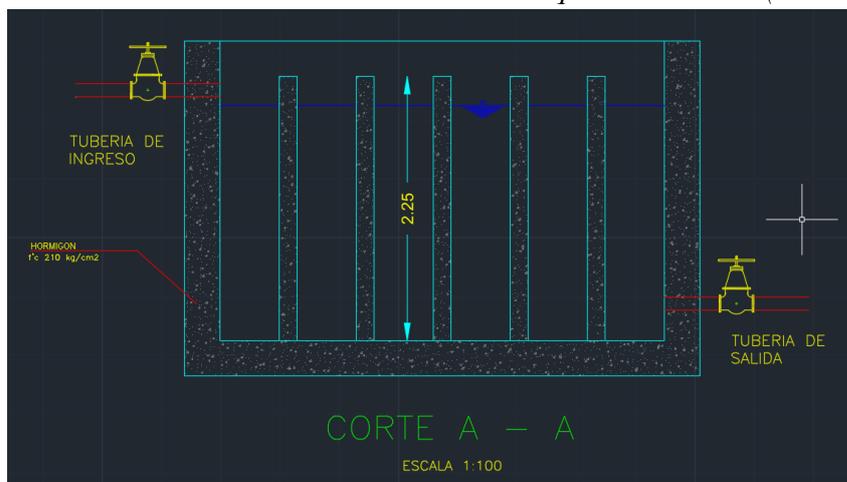
Tabla 19.

Dimensionamiento del tanque de contacto

Factor	Unidad	Valor
Caudal de diseño	m ³ /s	0,0052
Tiempo de contacto	30	min
Volumen del tanque	9,36	m ³
Área del tanque	4,68	m ²
Ancho del tanque	1,25	m
Largo del tanque	3,75	m
Profundidad del tanque	2	m
Velocidad de flujo	0,00208	m/s
Dosis de cloro	3	mg/L

Figura 16.

Vista lateral del dimensionamiento del tanque de contacto (Plano en Autodesk AutoCAD)



Esta representación técnica es clave para validar la funcionalidad hidráulica y sanitaria del sistema, asegurando que la etapa final del tratamiento cumpla con los estándares de calidad antes de la disposición del agua tratada al medio receptor.

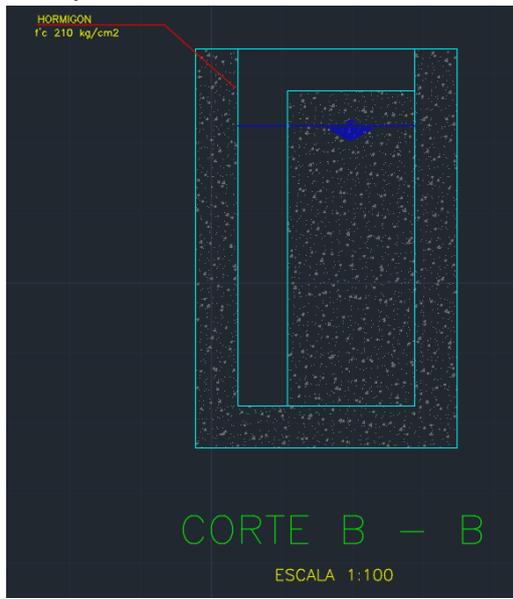
La vista frontal del tanque de contacto facilita una comprensión más profunda de su diseño estructural, permitiendo apreciar la distribución transversal del flujo y verificar las dimensiones necesarias para garantizar un proceso de desinfección eficiente. Esta perspectiva resulta particularmente útil para analizar la proporción entre el ancho del tanque y la profundidad del nivel operativo, contribuyendo a una evaluación integral del sistema.

La Figura 17 presenta la vista frontal del diseño del tanque de contacto, elaborada mediante Autodesk AutoCAD. En esta ilustración se muestran el ancho útil del tanque, el

espesor de las paredes, el nivel de operación y otros detalles estructurales que garantizan la correcta circulación del efluente durante el tiempo de contacto con el agente desinfectante. Esta disposición asegura que el flujo no genere turbulencias que reduzcan la eficiencia del proceso de cloración.

Figura 17.

Vista frontal del dimensionamiento del tanque de contacto (Plano en Autodesk AutoCAD)



Esta representación facilita la ejecución constructiva y permite confirmar que el diseño responde a los requerimientos establecidos en términos de volumen, retención y estabilidad estructural, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos sanitarios y ambientales del sistema.

Los Anexos 13 y 14 muestran los planos del tanque de contacto, donde se puede ver cómo pasa el efluente, la forma de las cámaras y los elementos estructurales que se usan. Este diseño ayuda a que el tiempo que el efluente pasa en el tanque sea el adecuado para que el desinfectante actúe de manera efectiva.

El análisis de los costos involucrados en esta unidad se encuentra en el Anexo 21, que desglosa cada componente presupuestario.

Asimismo, la evaluación de la eficiencia en cada etapa del tratamiento de aguas residuales resulta esencial para validar el rendimiento del sistema propuesto. Esta estimación permite determinar el porcentaje de contaminantes eliminados en cada unidad, aspecto fundamental para asegurar que el efluente final cumpla con los parámetros establecidos por la normativa ambiental vigente.

Para esta valoración, se consideraron los tipos de contaminantes removidos en cada fase — como sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos—, además de la eficiencia promedio observada en sistemas similares, según la bibliografía técnica. La Tabla 20 ofrece un resumen de la eficiencia estimada por cada unidad del proceso, proporcionando así una

visión integral del aporte individual de cada componente en la depuración total del agua residual.

Tabla 20.

Tabla de estimación de la eficiencia de los tratamientos

Unidad de Tratamiento	Contaminante Removido	Eficiencia de Remoción (%)
Rejillas	Sólidos gruesos	85%
Desarenador	Arena y partículas sedimentables	90%
Sedimentador Primario	DBO ₅ , SS	50-70%
Tanque Imhoff	DBO ₅ , SS	60-70%
Tanque de Aireación	DBO ₅ , DQO	85-90%, 75-85%
Sedimentador Secundario	SS	90-95%
Tanque de Contacto (Cloración)	Coliformes fecales	>99,9%

Estas eficiencias permiten estimar el rendimiento global del sistema y proyectar su capacidad para cumplir con los límites de vertido. Además, sirven como herramienta de referencia para futuras acciones de monitoreo y operación.

4.9 COMPARATIVA GENERAL

El sistema de tratamiento de aguas residuales diseñado para la cabecera parroquial de Licto se enfocó en lograr la remoción de los contaminantes más relevantes para cumplir con los estándares establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A de la normativa ecuatoriana.

La evaluación de los valores de remoción de contaminantes, tales como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), turbidez y coliformes fecales, se realizó a partir de un análisis técnico exhaustivo. Este proceso permitió perfeccionar el diseño del sistema, asegurando que cada etapa del tratamiento contribuya de manera efectiva al cumplimiento de los estándares de calidad establecidos para el efluente.

El diseño del sistema contempla un tratamiento integral organizado en fases primarias, secundarias y terciarias, todas ellas optimizadas para maximizar la eficiencia en la eliminación de cada parámetro contaminante. Para ofrecer una visión completa del sistema propuesto, el Anexo 15 presenta un esquema general de dimensionamiento de la planta. Dicho esquema proporciona una vista consolidada de la disposición de todas las unidades de tratamiento y cómo se conectan hidráulicamente, facilitando la comprensión del proceso desde la entrada de las aguas residuales hasta su salida tratada.

En las etapas iniciales, los niveles de contaminación superan ampliamente los límites permitidos. Sin embargo, mediante la implementación de procesos como sedimentación,

digestión anaerobia y desinfección final por cloración, se logró una notable mejora en la calidad del efluente, como se detalla en la Tabla 21.

Tabla 21.

Tabla comparativa de valores iniciales y finales con la normativa vigente.

Parámetro	Valor Inicial	Valor Final	Límite Normativo	Cumple (Sí/No)
DQO (mg/L)	921	90	100	Sí
DBO (mg/L)	469	40	50	Sí
Color (PtCo)	509	30	75	Sí
Turbidez (NTU)	217	5	5	Sí
SS (mg/L)	592	45	50	Sí
Oxígeno Disuelto (%)	30	6	5	Sí
Temperatura (°C)	16,5	16,5	<35	Sí
Coliformes Fecales (UFC/mL)	2,4 x 10 ⁵	500	Remoción >99,9%	Sí

Este ejercicio comparativo demuestra que el sistema de tratamiento diseñado no solo es técnicamente viable, sino que también cumple con los estándares de calidad exigidos para la protección del medio ambiente y la salud pública.

Estos resultados validan la efectividad del sistema de tratamiento, demostrando que cada etapa del proceso ha sido cuidadosamente diseñada y ajustada para lograr una eliminación eficiente de los contaminantes presentes en las aguas residuales. La integración de procesos físicos, biológicos y químicos ha permitido alcanzar niveles óptimos de depuración, asegurando que el efluente tratado cumpla con los límites establecidos en la normativa ecuatoriana vigente

Además, el cumplimiento de estos estándares no solo obedece a las regulaciones, sino que también refleja un compromiso genuino con la protección del entorno natural y la salud pública en la cabecera parroquial de Licto. Al reducir la carga contaminante que se vierte en los cuerpos de agua receptores, se ayudan a prevenir problemas como la eutrofización, la degradación de la calidad del agua y los daños a los ecosistemas acuáticos, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental de la región.

De igual forma, la optimización de cada fase del tratamiento asegura que el sistema funcione de manera eficiente a lo largo del tiempo, disminuyendo los costos de mantenimiento y garantizando su viabilidad a largo plazo. Este enfoque integral no solo mejora la calidad del agua tratada, sino que también sienta un precedente para futuras iniciativas de saneamiento en comunidades similares.

4.10 ANÁLISIS DE COSTOS

Para determinar la viabilidad económica del proyecto, se realizó una estimación detallada de los costos asociados a la construcción e implementación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Esta evaluación considera tanto los costos directos de materiales, mano de obra y equipos, como los costos indirectos asociados a la gestión del proyecto, movimiento de tierras, y obras complementarias.

La Tabla 22 ofrece un análisis detallado de los principales rubros que componen el presupuesto total, agrupando las actividades según sus unidades funcionales y asignando un valor referencial basado en precios actualizados del mercado local. Esta tabla facilita una visualización clara de la inversión requerida para llevar a cabo la implementación completa del sistema de tratamiento.

Tabla 22.

Tabla de los costos de implementación de la Planta de tratamiento (PTAR)

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Total
Rejillas	1	1	\$ 1.630,01
Desarenador	1	1	\$ 10.369,59
Tanque Imhoff	1	1	\$ 4.311,54
Cámara de aireación	1	1	\$ 3.989,74
Tanque de cloración	1	1	\$ 7.069,21
Sedimentador Primario	1	1	\$ 37.474,14
Sedimentador Secundario	1	1	\$ 32.390,16
Total			\$ 97.234,39

Esta estimación económica permite proyectar los recursos necesarios para materializar el sistema de tratamiento, y sirve como base para la elaboración de propuestas de financiamiento, planificación institucional y gestión de recursos públicos o comunitarios.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Este estudio nos permitió echar un vistazo a qué tan viable sería poner en marcha un sistema para tratar las aguas residuales en la cabecera de Licto. La idea era analizar desde lo técnico, lo ambiental y lo económico. Al revisar cómo están las cosas ahora mismo, quedó claro que necesitamos una solución rápida y efectiva para manejar estas aguas, porque no hacerlo impacta negativamente en los ríos y en la salud de la gente que vive allá.

Cuando analizamos las aguas residuales, encontramos que hay varios contaminantes que superan los límites permitidos por las normas ecuatorianas. Esto resalta lo importante que es diseñar un sistema de tratamiento que realmente reduzca la contaminación antes de que el agua sea vertida. Para armar este sistema, escogimos materiales y equipos pensando en que sean duraderos y que no sean muy caros, así logramos una infraestructura que sea fácil de mantener y que dure en el tiempo, beneficiando a toda la comunidad.

Desde el punto de vista económico, la evaluación de costos permitió identificar los principales rubros de inversión asociados a la construcción y operación del sistema de tratamiento. Si bien la inversión inicial representa un desafío para la comunidad y las autoridades locales, los beneficios a largo plazo en términos de salud pública y preservación ambiental justifican su implementación. Se determinó que los costos operativos y de mantenimiento son manejables con una planificación adecuada y el compromiso de los actores involucrados.

Finalmente, este estudio pone de manifiesto la relevancia de adoptar un enfoque integral en la gestión del recurso hídrico en las zonas rurales. En estas áreas, la implementación de infraestructuras adecuadas para el saneamiento aún presenta deficiencias significativas. La construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales no solo reduciría considerablemente el impacto ambiental, sino que también mejoraría de manera tangible la calidad de vida de los habitantes de Licto, fomentando así un desarrollo sostenible alineado con las políticas de conservación del medio ambiente.

5.2 RECOMENDACIONES

Con el fin de asegurar el éxito en la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la cabecera parroquial de Licto, resulta esencial que las autoridades locales y la comunidad colaboren de manera coordinada en la gestión y el mantenimiento de la infraestructura. Se aconseja que, previo a la construcción, se realicen capacitaciones dirigidas a la comunidad sobre la relevancia del tratamiento de aguas residuales y su impacto en la salud pública y el medio ambiente. La sensibilización ciudadana facilitará un uso adecuado del sistema y contribuirá a su operatividad sostenible en el tiempo.

En relación con la operación del sistema, se recomienda establecer un plan de monitoreo periódico que permita evaluar su rendimiento y detectar posibles fallas en etapas tempranas. La supervisión debería incluir análisis físico-químicos de los efluentes tratados, con el propósito de garantizar que los parámetros de descarga cumplan con las normativas vigentes.

Finalmente, se sugiere promover la participación activa de la comunidad en la gestión del sistema de tratamiento, fomentando la formación de comités encargados de su supervisión y mantenimiento. La responsabilidad compartida entre las autoridades y los habitantes fortalecerá la sostenibilidad del proyecto y asegurará que los beneficios ambientales y sociales puedan mantenerse a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Andersson, K., Dickin, S., & Rosemarin, A. (2016). Towards “sustainable” sanitation: Challenges and opportunities in urban areas. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 8, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su8121289>
- Arango-Arteaga, L. D., Saldarriaga-Molina, J. C., & Correa-Ochoa, M. A. (2021). Gestión del agua residual no doméstica (ARnD) empleando sistema de información geográfica en la definición de distritos sanitarios. *Revista UIS Ingenierías*, 20(3). <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n3-2021008>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Quito: Tribunal Constitucional del Ecuador. Registro oficial Nro, 449, 79-93. *Iusrectusecart*.
- Baños-Castro, G. L., Martínez-de-Navas, E. N., & Landaverde-Sánchez, J. V. (2022). Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales restaurante Tekunal en el lago de Coatepeque, Santa Ana. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 10(1), 61–72. <https://doi.org/10.5377/payds.v10i1.13348>
- Braga, F. H. R., Dutra, M. L. S., Lima, N. S., da Silva, G. M., de Miranda, R. de C. M., Firmo, W. da C. A., de Moura, A. R. L., Monteiro, A. de S., da Silva, L. C. N., da Silva, D. F., & Silva, M. R. C. (2022). Study of the Influence of Physicochemical Parameters on the Water Quality Index (WQI) in the Maranhão Amazon, Brazil. *Water (Switzerland)*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/w14101546>
- Cabrera Vallejo, M. V., Mejía-Lopez, A., & Carillo, Y. (2017). REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA MEDIANTE PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO. *La Granja*, 26(2). <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.07>
- Carvajal Arias, C. E., Ortiz, P., & Vega Beltran, A. L. (2018). Propuesta de tratamiento de aguas residuales domésticas implementando un humedal artificial de flujo subsuperficial empleando bambusa sp en la finca el recreo ubicada en Tauramena, Casanare. *Revista de Tecnología*, 16(1). <https://doi.org/10.18270/rt.v16i1.2317>
- Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Benigna, I., Sorlini, S., & Torretta, V. (2018). Overview of the main disinfection processes for wastewater and drinking water treatment plants. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/su10010086>
- Duncan Mara. (2013). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries (Mara)*.
- España Bolaños, B. N., Mañunga, T., & Ortega Guerrero, P. (2022). Diseño de dos humedales artificiales a escala de laboratorio para el tratamiento del lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua residual doméstica. In *Las ciencias ambientales y su avance sin fronteras durante la pandemia*. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.171.c221>

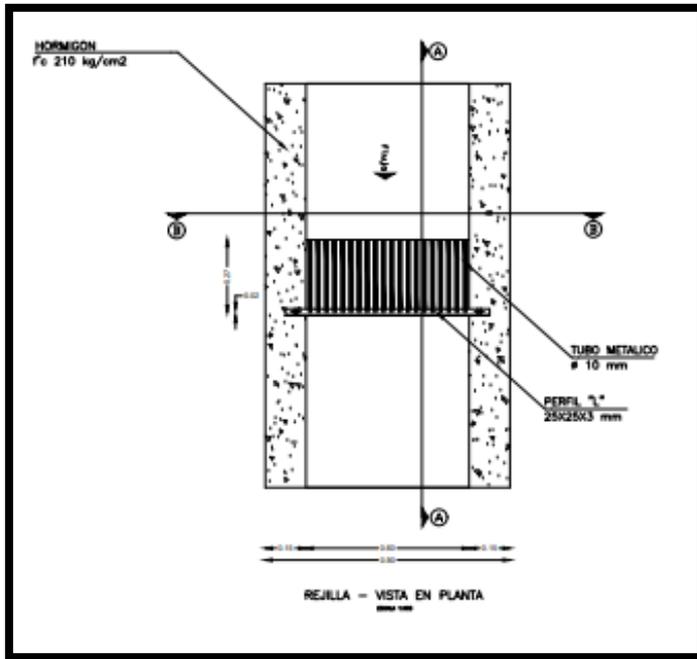
- García-González, J., Osorio-Ortega, M. A., Saquicela-Rojas, R. A., & Cadme, M. L. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería Del Agua*, 25(2). <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13921>
- Gude, V. G. (2015). Energy and water autarky of wastewater treatment and power generation systems. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 45). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.055>
- Jarquín Pascua, M., Lacayo Romero, M., López Hernández, M., & González Castro, E. (2020). Sistematización de experiencias en las capacitaciones realizadas en el uso y manejo del aceite vegetal usado. *Revista Compromiso Social*, 3. <https://doi.org/10.5377/recoeso.v2i3.13419>
- Javier Mateo-Sagasta (IWMI), Sara Marjani Zadeh (FAO), & Hugh Turrall. (2017). *Water pollution from agriculture: a global review Executive summary LED BY*.
- John W. Creswell, V. L. P. C. (2018). Designing and Conducting Mixed Methods Research 2018. In *Beyond Bullying*.
- Ley Orgánica De Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento Del Agua, Registro Oficial (2014).
- Medrano, M., Mamani, A., Muñoz, E., Díaz, R., & Medrano, E. (2020). Operatividad de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas circunlacustres al lago Titicaca-Sector Perú y el marco legal en defensa de los ecosistemas. *Ciencia y Desarrollo*, 23(3). <https://doi.org/10.21503/cyd.v23i3.2142>
- Metcalf & Eddy. (2014). Treatment and Resource Recovery. 5th edn. In *Handbook of Environmental Engineering*.
- Ministerio del Ambiente. (2015). TULSMA Reforma 097-A. *Registro Oficial Órgano Del Gobierno Del Ecuador*.
- Orostegui Calderón, L. F., & Valencia López, R. (2023). Comparación de las normatividades en calidad de agua potable latinoamericanas frente a los establecidos por la Organización Mundial para la Salud (OMS). *Dinamica Ambiental*, 3. <https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.3.2019.10428>
- Pulgarin Muñoz, C. E., Saldarriaga Molina, J. C., & Correa Ochoa, M. A. (2022). Análisis y perspectivas del tratamiento anaerobio y el aprovechamiento de lodos biológicos en América Latina. *Revista EIA*, 19(38). <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1516>
- Ramos, K., Parada, M., & Godoy, S. (2018). EVALUACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA FÁBRICA TEXTIL HILARIO. *Perfiles*, 1(19). <https://doi.org/10.47187/perf.v1i19.13>
- Romero Rojas, J. A. (2008). Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño. In *Escuela Colombiana de ingeniería* (Vol. 1).

- Sánchez, R. G., & García Gualoto, K. J. (2018). Tratamiento de aguas residuales con cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. *La Granja*, 27(1). <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08>
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F., Abu-Orf, M., Bowden, G., & Pfrang, W. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, Fifth Edition (International Edition). In *Metcalf & Eddy I AECOM, McGraw-Hill Education*.
- Thcobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. In *Mc Graw Hill* (Issue 4).
- Valle, V. (2016). Evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el agua residual doméstica de la ciudad de Quito. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Carrera de Ingeniería Ambiental*.
- Zhang, B., Ning, D., Yang, Y., Van Nostrand, J. D., Zhou, J., & Wen, X. (2020). Biodegradability of wastewater determines microbial assembly mechanisms in full-scale wastewater treatment plants. *Water Research*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115276>

ANEXOS

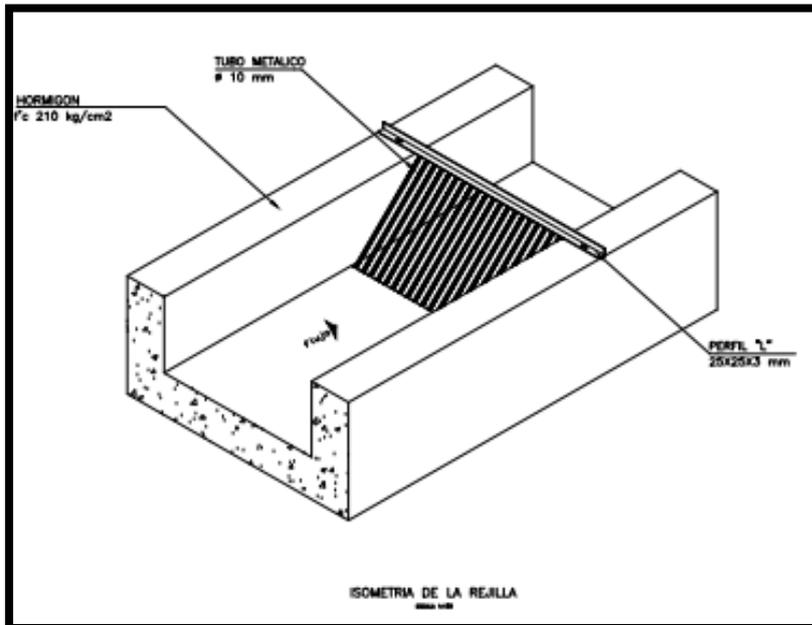
Anexo 1

Rejillas – Vista de planta



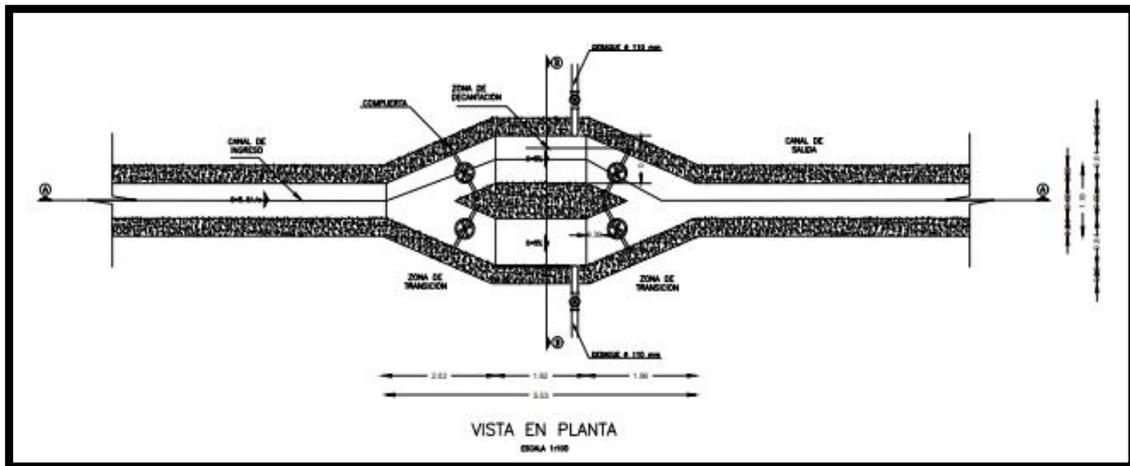
Anexo 2

Rejillas – Isometría



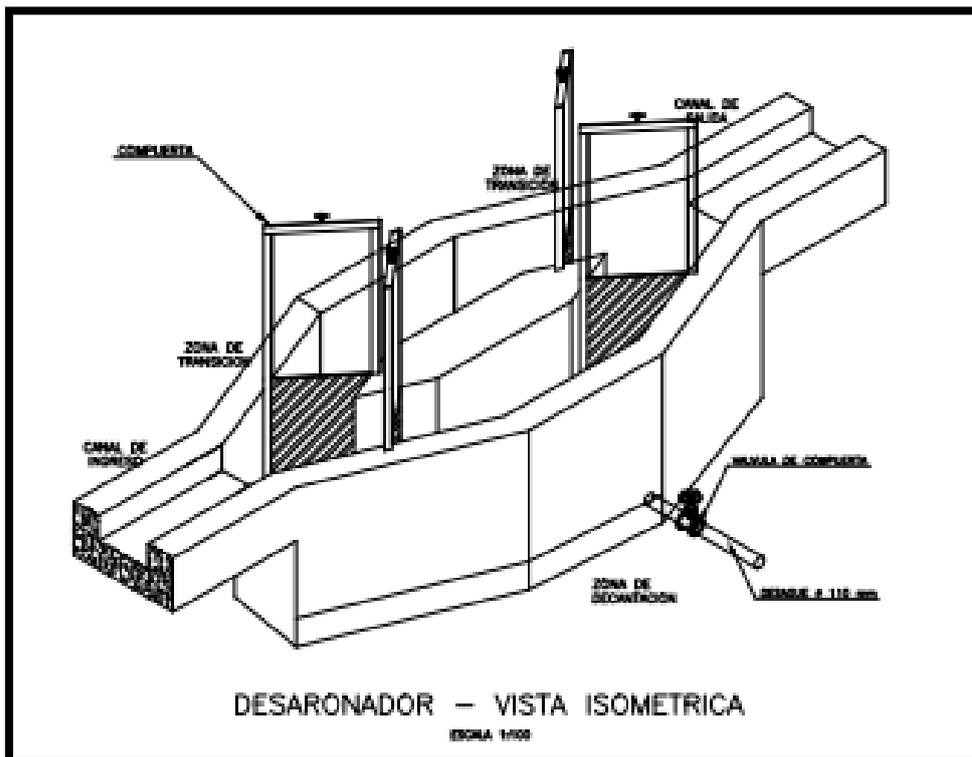
Anexo 3

Desarenador – Vista de planta



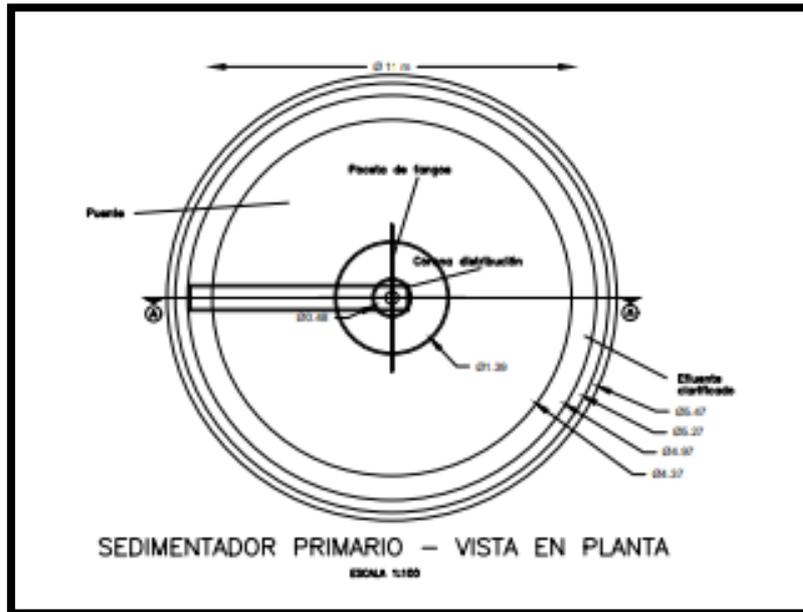
Anexo 4

Desarenador – Isometría



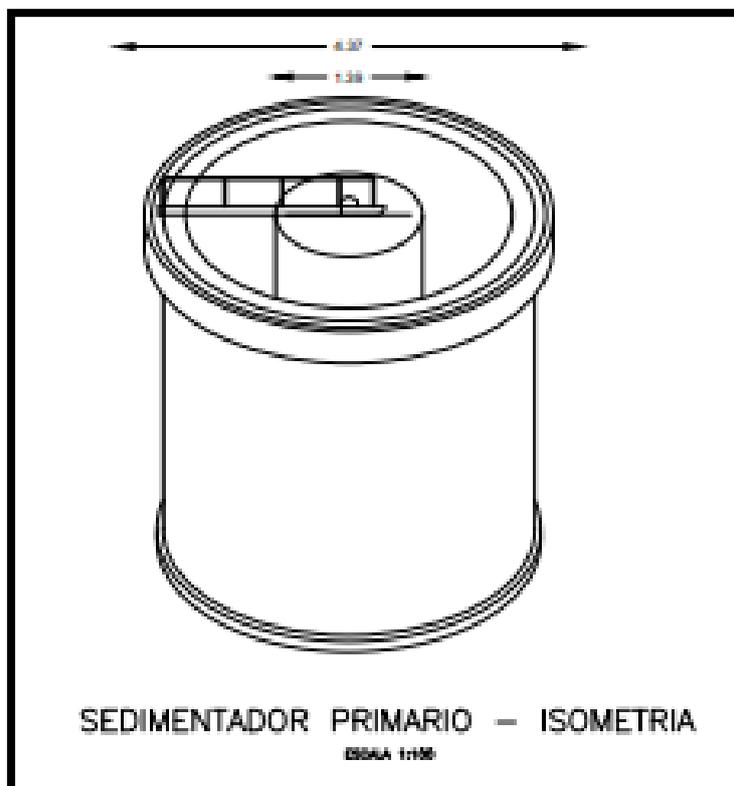
Anexo 5

Sedimentador Primario – Vista de planta



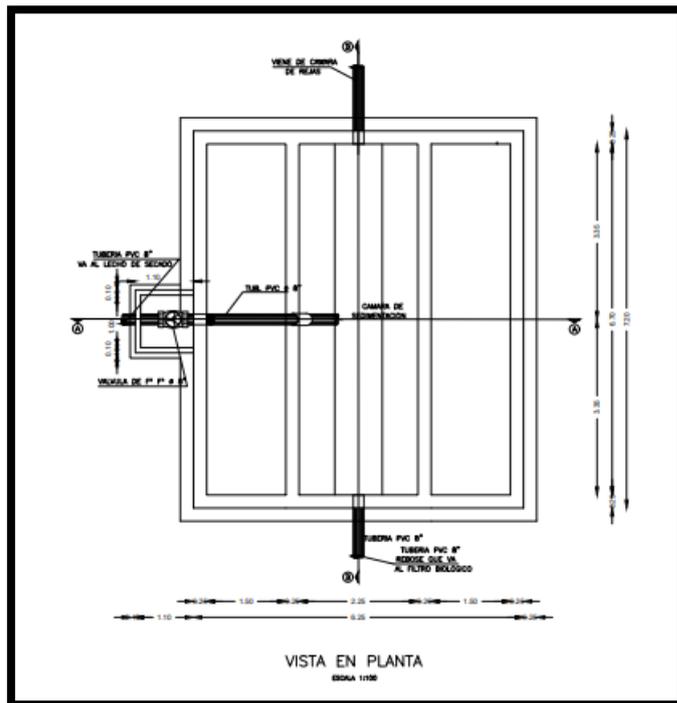
Anexo 6

Sedimentador Primario – Isometría



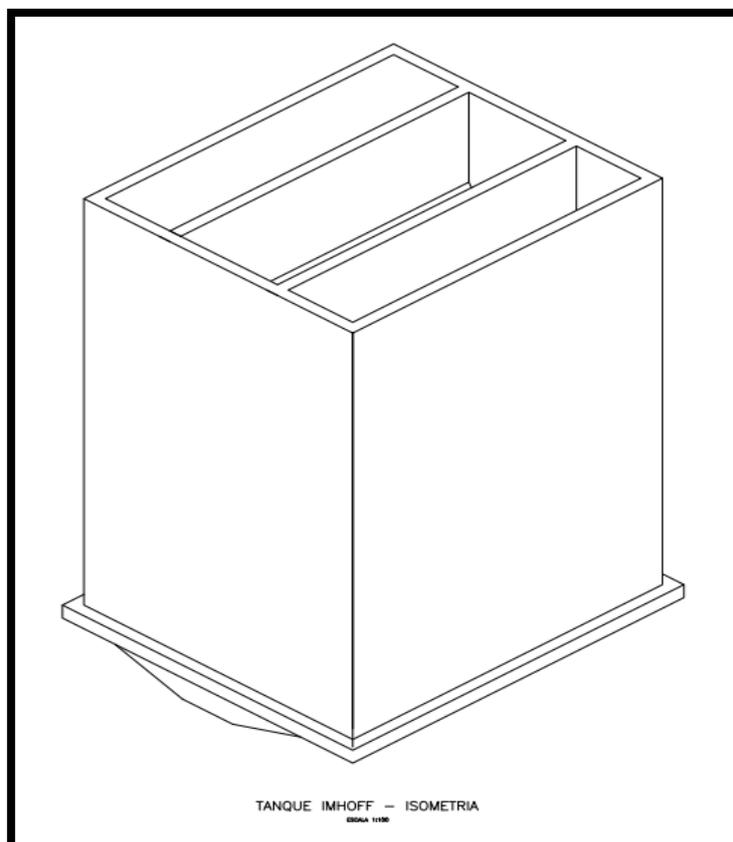
Anexo 7

Tanque Imhoff – Vista de planta



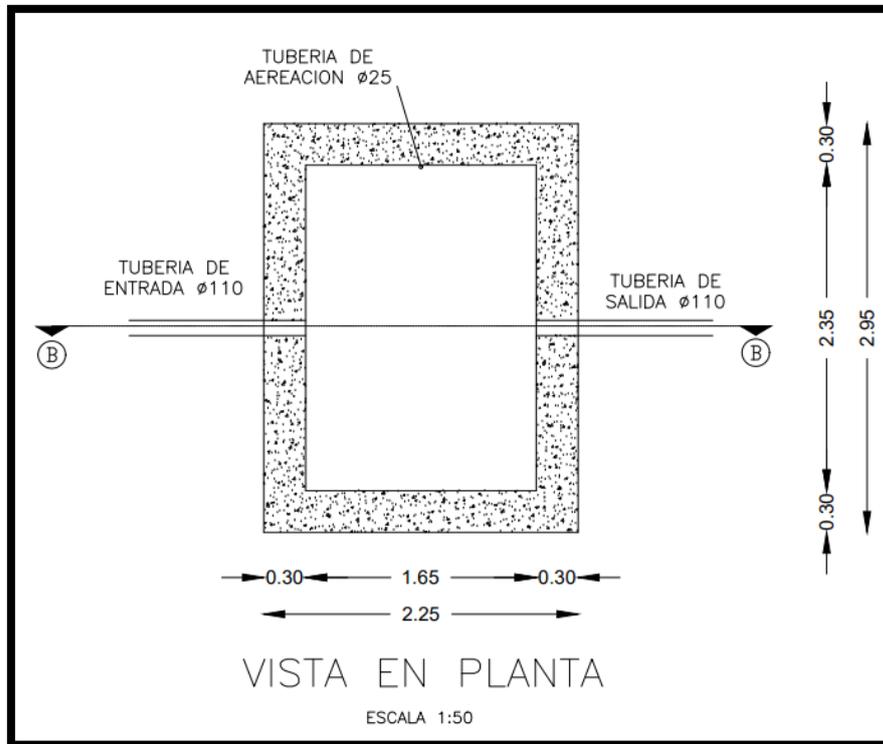
Anexo 8

Tanque Imhoff – Isometría



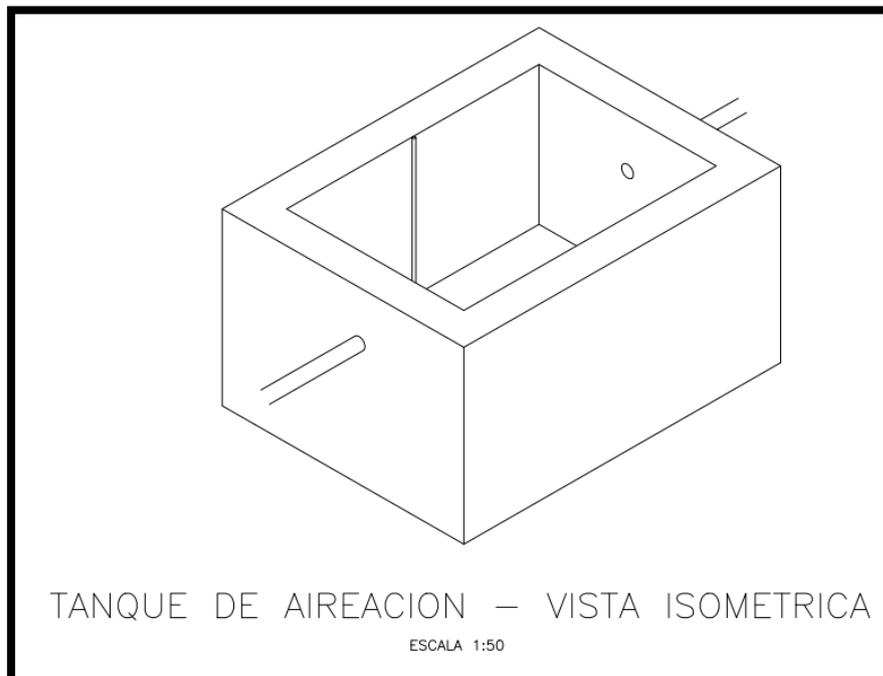
Anexo 9

Tanque de Aireación – Vista de planta



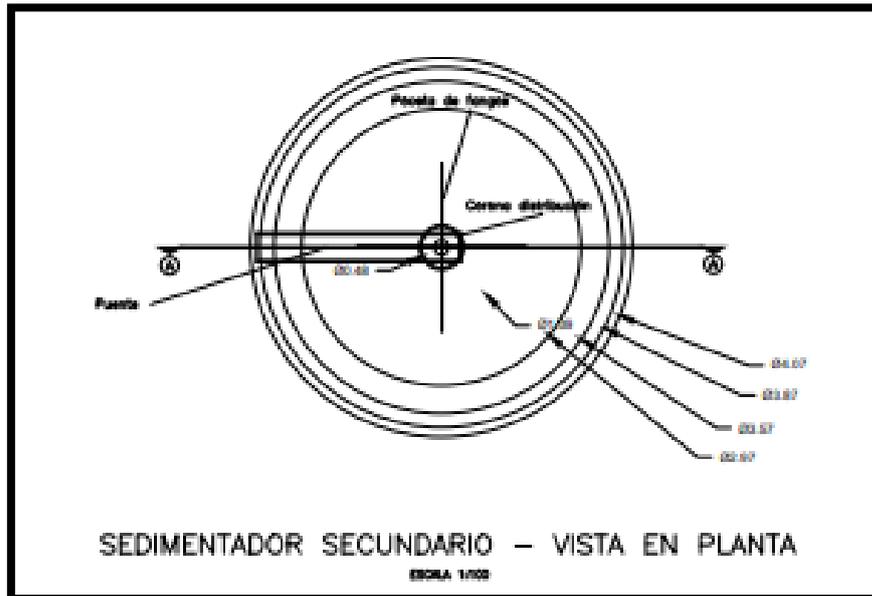
Anexo 10

Tanque de Aireación – Isometría



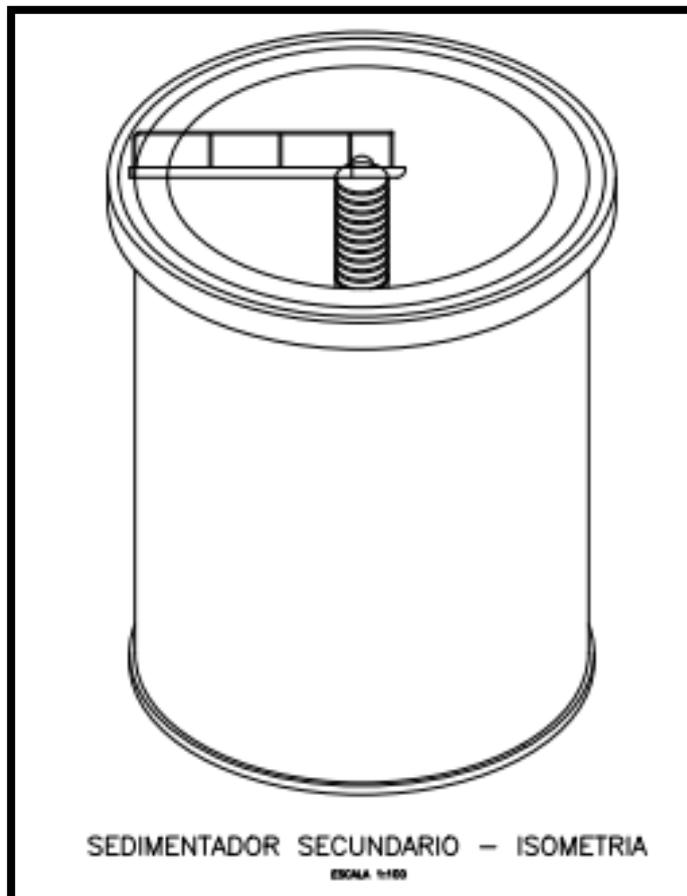
Anexo 11

Sedimentador secundario – Vista de planta



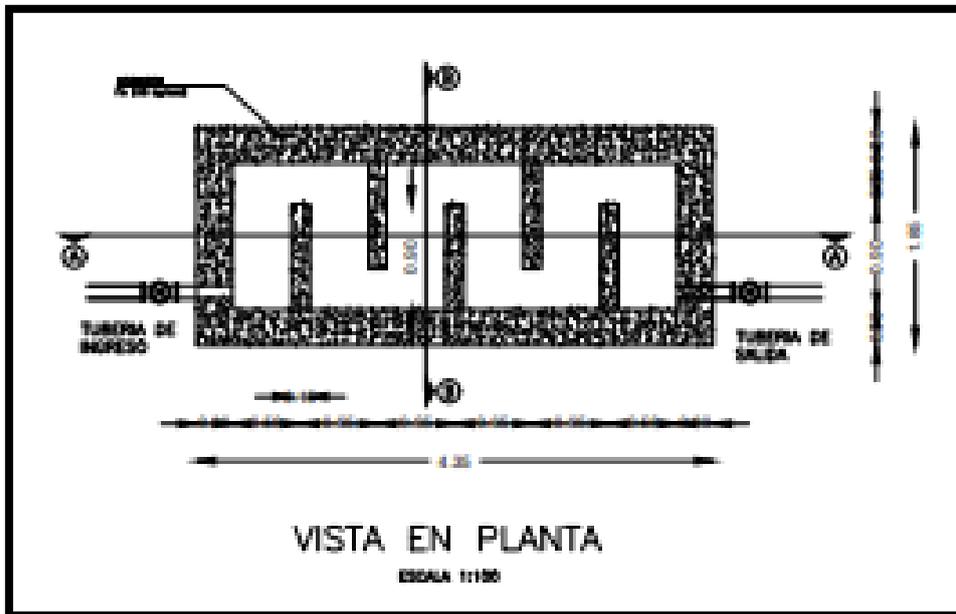
Anexo 12

Sedimentador secundario – Isometría



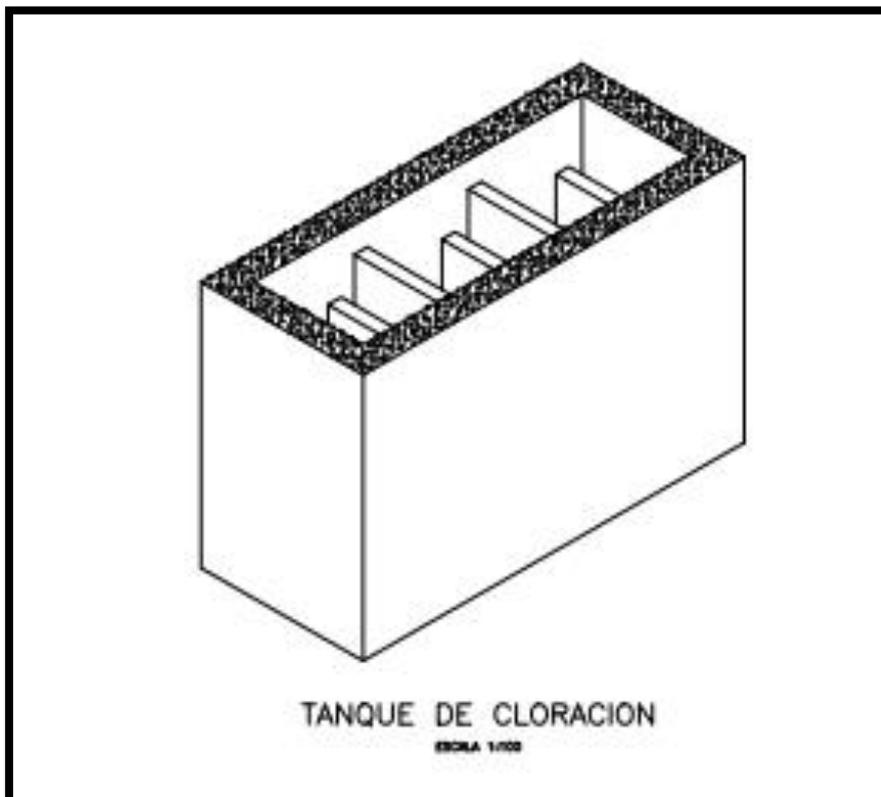
Anexo 13

Tanque de contacto – Vista de planta



Anexo 14

Tanque de contacto – Isometría



Anexo 16

Encuesta utilizada para la determinación del parámetro "olor"



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
CHIMBORAZO

ENCUESTA PARA LA DETERMINACION DEL OLOR DEL AGUA RESIDUAL

1. **¿Ha notado agua residual (aguas sucias) en tu comunidad?**
 - a) **Sí**
 - b) No
2. **¿Con qué frecuencia pasa por lugares donde hay descargas de agua residual?**
 - a) Todos los días
 - b) Varias veces a la semana
 - c) **Algunas veces**
 - d) Casi nunca
3. **¿Sabe si existe un sistema de tratamiento del agua residual en la comunidad?**
 - a) Si
 - b) **No**
4. **¿Cree que el manejo del agua residual en tu comunidad es:**
 - a) Muy malo
 - b) **Malo**
 - c) Regular
 - d) Bueno
 - e) Muy bueno
5. **¿Ha notado malos olores cerca de las descargas de agua residual?**
 - a) **Sí**
 - b) No
6. **En una escala del 1 al 5, ¿cómo calificaría el olor de las descargas de agua residual?**
 - o 1: Muy desagradable (olor muy fuerte y malo)
 - o **2: Desagradable (olor malo, pero soportable)**
 - o 3: Regular (olor ni bueno ni malo)
 - o 4: Agradable (olor suave, casi no molesta)
 - o 5: Muy agradable (sin olor o con olor agradable)

Anexo 17

Rubros estimados para la implementación del sistema de rejillas

Rejilla	1	1	-	\$	1.630,01
1. obras preeliminares					
Limpieza y desbroce	m2	21,6	\$	1,02	\$ 22,03
Lefrero de obra	u	1	\$	52,63	\$ 52,63
Replanteo y nivelacion con equipo topografico	m2	21,6	\$	1,46	\$ 31,54
2. Movimientos de tierra					
Excavacion a cielo abierto a mano en tierra	m3	41,94	\$	6,25	\$ 262,11
Relleno compactado con material del sitio	m3	0,8232	\$	5,53	\$ 4,55
Desalojo con maquinaria de material sin clasificar	m3	41,94	\$	1,91	\$ 80,10
3. Estructural					
Perfil L 25x25x3 mm en rejilla	U	1	\$	6,86	\$ 6,86
Tubería de acero inoxidable ø10 mm	m	30,4	\$	6,91	\$ 210,06
Hormigon en base del canal e=15cm, fc=210kg/cm2	m3	0,405	\$	30,94	\$ 12,53
Hormigon en muros, fc=210kg/cm	m3	0,24	\$	126,28	\$ 30,69
Acero de refuerzo longitudinal en base del canal ø18 mm (refuerzo negativo)	kg	72	\$	1,27	\$ 91,44
Acero de refuerzo longitudinal en base del canal ø 12 @10cm (refuerzo positivo)	kg	63,936	\$	1,27	\$ 81,20
Acero de refuerzo longitudinal en muros ø18 mm @40cm (refuerzo negativo)	kg	168	\$	1,27	\$ 213,36
Acero de refuerzo longitudinal en muros ø 16 @10cm (refuerzo positivo)	kg	151,68	\$	1,27	\$ 192,63
Electrodos E6013 para soldadura de acero al carbono	cja	1	\$	49,99	\$ 49,99
Replantillo de hormigon simple e = 10cm, fc= 140 kg/cm2	m3	2,16	\$	106,82	\$ 230,73
4. Acabados y limpieza					
Enlucido con mortero 1:3 + impermeabilizante	m2	3,42	\$	8,81	\$ 30,13
Limpieza final de la obra	m2	10,8	\$	2,54	\$ 27,43

Anexo 18

Rubros estimados para la implementación del desarenador

Desarenador				\$	10.369,59
1. obras preeliminares					
Limpieza y desbroce	m2	42,23	\$	1,02	\$ 43,08
Replanteo y nivelacion	m2	42,23	\$	1,46	\$ 61,66
2. Excavacion					
Excavacion manual en suelo sin especificar	m3	80,24	\$	6,25	\$ 501,50
Desalojo con maquinaria de material sin clasificar	m3	53,49	\$	1,91	\$ 102,17
Relleno compactado con material del sitio	m3	26,75	\$	5,53	\$ 147,91
3. Estructural					
Suministro e instalaciones de compuertas metalicas prefabricadas	u	4	\$	453,00	\$ 1.812,00
Hormigon en base del desarenador e=15cm, fc=210kg/cm2	m3	7,317	\$	126,28	\$ 923,99
Hormigon en muros, fc=210kg/cm	m3	16,0622	\$	127,28	\$ 2.044,40
Acero de refuerzo longitudinal en base del desarenador ø18 mm (refuerzo negativo)	kg	660	\$	1,27	\$ 838,20
Acero de refuerzo longitudinal en base del desarenador ø 12 @10cm (refuerzo positivo)	kg	1214,784	\$	1,27	\$ 1.542,78
Acero de refuerzo longitudinal en muros ø18 mm @40cm (refuerzo negativo)	kg	672	\$	1,27	\$ 853,44
Acero de refuerzo longitudinal en muros ø 16 @10cm (refuerzo positivo)	kg	673,08	\$	1,27	\$ 854,81
Replantillo de hormigon simple e = 10cm	m3	2,439	\$	106,82	\$ 260,53
4. Instalaciones					
Valvula de compuerta ø 110 mm	U	2	\$	148,50	\$ 297,00
Tubería de PVC ø 110 mm 1.25MPA	m	2,5	\$	13,00	\$ 32,50
5. Acabados					
Limpieza final de la obra	m2	21,11565	\$	2,54	\$ 53,63

Anexo 19

Rubros estimados para la implementación del tanque Imhoff

Tanque inmhoff					\$ 4.311,54	
1. obras preelminares						
Limpieza y desbroce	m2	48,22	\$	1,02	\$	49,18
Replanteo y nivelacion	m2	48,22	\$	1,46	\$	70,40
2. Movimientos de tierra						
Excavacion a cielo abierto a mano en tierra	m3	350,08	\$	6,25	\$	2.187,98
Relleno compactado con material del sitio	m3	83,127	\$	5,53	\$	459,69
Desalojo con maquinaria de material sin clasificar	m3	350,08	\$	1,91	\$	668,65
3. Estructural						
Hormigon en base del canal e=15cm, fc=210kg/cm2	m3		\$	30,94	\$	-
Hormigon en muros, fc=210kg/cm	m3		\$	126,28	\$	-
Acero de refuerzo longitudinal en base del canla ø18 mm (refuerzo negativo)	kg	72	\$	1,27	\$	91,44
Acero de refuerzo longitudinal en base del canal ø 12 @10cm (refuero positivo)	kg	63,936	\$	1,27	\$	81,20
Acero de refuerzo longitudinal en muros ø18 mm @40cm (refuerzo negativo)	kg	168	\$	1,27	\$	213,36
Acero de refuerzo longitudinal en muros ø 16 @10cm (refuero positivo)	kg	151,68	\$	1,27	\$	192,63
4. Instalaciones						
Valvula de compuerta ø 110 mm	U	2	\$	148,50	\$	297,00
Tuberia de PVC ø 8"1.25MPA	m		\$	13,00	\$	-
5. Acabados						
Limpieza final de la obra	m2	0	\$	2,54	\$	-

Anexo 20

Rubros estimados para la implementación de la cámara de aireación

Camara de aireacion					\$ 3.989,74	
1. obras preelminares						
Limpieza y desbroce	m2	32,00	\$	1,02	\$	32,64
Replanteo y nivelacion	m2	32,00	\$	1,46	\$	46,72
2. Movimientos de tierra						
Excavacion a cielo abierto a mano en tierra	m3	54,40	\$	6,25	\$	340,00
Relleno compactado con material del sitio	m3	9,078	\$	5,53	\$	50,20
Desalojo con maquinaria de material sin clasificar	m3	54,40	\$	1,91	\$	103,90
3. Estructural						
Hormigon en base de la camara e=30cm, fc=210kg/cm2	m3	7,97	\$	30,94	\$	246,42
Hormigon en muros, fc=210kg/cm	m3	14,35	\$	126,28	\$	1.812,37
Acero de refuerzo longitudinal en base del canla ø18 mm (refuerzo negativo)	kg	216	\$	1,27	\$	274,32
Acero de refuerzo longitudinal en base del canal ø 12 @10cm (refuero positivo)	kg	95,904	\$	1,27	\$	121,80
Acero de refuerzo longitudinal en muros ø18 mm @40cm (refuerzo negativo)	kg	79,92	\$	1,27	\$	101,50
Acero de refuerzo longitudinal en muros ø 16 @10cm (refuero positivo)	kg	151,68	\$	1,27	\$	192,63
Replantillo de hormigon simple e = 10cm	m3	2,655	\$	106,82	\$	283,61
4. Instalaciones						
Tuberia de PVC ø 110 mm 1.25MPA	m	5,06	\$	13,00	\$	65,78
Tuberia de aireacion PVC ø 25 mm 1.25MPA	m	5,06	\$	14,00	\$	70,84
Bomba de aireacion	u	1	\$	165,73	\$	165,73
5. Acabados						
Limpieza final de la obra	m2	32,00	\$	2,54	\$	81,28

Anexo 21

Rubros estimados para la implementación del tanque de cloración

Tanque de cloración						\$ 7.069,21
1. obras preelminares						
Limpieza y desbroce	m2	19,60	\$	1,02	\$	19,99
Replanteo y nivelación	m2	19,60	\$	1,46	\$	28,62
2. Movimientos de tierra						
Excavación a cielo abierto a mano en tierra	m3	57,82	\$	6,25	\$	361,38
Relleno compactado con material del sitio	m3	34,07	\$	5,53	\$	188,42
Desalojo con maquinaria de material sin clasificar	m3	57,82	\$	1,91	\$	110,44
3. Estructural						
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO RECTO	m2	133,12	\$	8,26	\$	1.099,57
Hormigon en base de la camara e=30cm, fc=210kg/cm2	m3	7,97	\$	30,94	\$	246,42
Hormigon en muros, fc=210kg/cm	m3	14,35	\$	126,28	\$	1.812,37
Acero de refuerzo longitudinal en base del canla ø18 mm (refuerzo negativo)	kg	300	\$	1,27	\$	381,00
Acero de refuerzo longitudinal en base del canal ø 12 @10cm (refuero positivo)	kg	159,84	\$	1,27	\$	203,00
Acero de refuerzo longitudinal en muros ø18 mm @40cm (refuerzo negativo)	kg	127,872	\$	1,27	\$	162,40
Acero de refuerzo longitudinal en muros ø 16 @10cm (refuero positivo)	kg	284,4	\$	1,27	\$	361,19
Replantillo de hormigon simple e = 10cm	m3	0,805	\$	106,82	\$	85,99
4. Instalaciones						
Tubería de PVC ø 110 mm 1.25MPA	m	2,44	\$	13,00	\$	31,72
DIFUSORES DE AIRE	Glb	18	\$	80,05	\$	1.440,90
Valvula de compuerta ø 110 mm	U	2	\$	148,50	\$	297,00
5. Acabados						
ENLUCIDO MORTERO 1:2 PALETEADO FINO (e=1.5cm) CON IMPERMEABILIZANTE	m2	133,12	\$	9,68	\$	1.288,60
Limpieza final de la obra	m2	19,60	\$	2,54	\$	49,78

Anexo 22

Rubros estimados para la implementación del sedimentador primario

Sedimentador primario						\$ 37.474,14
1. obras preelminares						
Limpieza y desbroce	m2	24,36	\$	1,02	\$	24,85
Replanteo y nivelación	m2	24,36	\$	1,46	\$	35,57
2. Movimientos de tierra						
Excavación a cielo abierto a mano en tierra	m3	13,40	\$	6,25	\$	83,74
Relleno compactado con material del sitio	m3	6,25	\$	5,53	\$	34,55
Desalojo con maquinaria de material sin clasificar	m3	13,40	\$	1,91	\$	25,59
3. Estructural						
Replantillo de hormigon simple e = 10cm	m3	1,3	\$	106,82	\$	138,87
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO RECTO	m2	154,75	\$	8,26	\$	1.278,26
Hormigon fc=210kg/cm2	m3	580,71	\$	30,94	\$	17.965,87
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	5680,01	\$	1,27	\$	7.213,61
ENLUCIDO MORTERO 1:2 PALETEADO FINO (e=1.5cm) CON IMPERMEABILIZANTE	m2	242,77	\$	9,68	\$	2.350,03
4. Instalaciones						
MATERIAL GRANULAR O PETREO PARA FILTRO (ARENAS, RIPIO, Y/O PIEDRAS)	m3	154,75	\$	28,24	\$	4.370,21
LISTA DE SUMINISTRO INSTALACION ACCESORIOS	glb	1,00	\$	4.030,00	\$	4.030,00
5. Acabados						
Limpieza final de la obra	m2	24,36	\$	2,54	\$	61,87

Anexo 23

Rubros estimados para la implementación del sedimentador secundario

Sedimentador secundario						\$ 32.390,16
1. obras preelminares						
Limpieza y desbroce	m2	20,66	\$	1,02	\$	21,07
Replanteo y nivelación	m2	20,66	\$	1,46	\$	30,16
2. Movimientos de tierra						
Excavación a cielo abierto a mano en tierra	m3	11,36	\$	6,25	\$	71,01
Relleno compactado con material del sitio	m3	5,30	\$	5,53	\$	29,30
Desalajo con maquinaria de material sin clasificar	m3	11,36	\$	1,91	\$	21,70
3. Estructural						
Replanteo de hormigon simple e = 10cm	m3	1,10	\$	106,82	\$	117,76
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO RECTO	m2	131,23	\$	8,26	\$	1.083,94
Hormigon fc=210kg/cm2	m3	492,44	\$	30,94	\$	15.234,80
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	4816,57	\$	1,27	\$	6.117,04
ENLUCIDO MORTERO 1:2 PALETEADO FINO (e=1,5cm) CON IMPERMEABILIZANTE	m2	205,87	\$	9,68	\$	1.992,79
4. Instalaciones						
MATERIAL GRANULAR O PETREO PARA FILTRO (ARENAS, RIPIO, Y/O PIEDRAS)	m3	131,23	\$	28,24	\$	3.705,88
LISTA DE SUMINISTRO INSTALACION ACCESORIOS	glb	1,00	\$	4.030,00	\$	4.030,00
5. Acabados						
Limpieza final de la obra	m2	20,66	\$	2,54	\$	52,47