



**UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA COMUNIDAD ZONA LIBRE, CANTÓN QUERO,
PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”**

Autor: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Tutor: Ing. Mg. Fabián Rodrigo Morales Fiallos

AMBATO - ECUADOR

Septiembre – 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD ZONA LIBRE, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por la Srta. **Joseline Valeria Zambonino Quisanga** portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 0503758336, estudiante de la Carrea de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2021

Ing. Mg. Fabián Rodrigo Morales Fiallos

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Joseline Valeria Zambonino Quisanga**, con C.I. 0503758336 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD ZONA LIBRE, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021



Joseline Valeria Zambonino Quisanga

C.I. 0503758336

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.

Ambato, Septiembre 2021



Joseline Valeria Zambonino Quisanga

C.I. 0503758336

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Joseline Valeria Zambonino Quisanga, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD ZONA LIBRE, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino
Miembro Calificador

Ing. Mg. Lenin Gabriel Silva Tipantasig
Miembro Calificador

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con mucho amor a mis padres Washington y Rocío, quienes han sido el pilar fundamental en toda mi preparación desde que empecé mis primeras letras hasta ahora que he concluido mi carrera.

A mis hermanos Ángel, Galilea, Fernanda y Bradley, que siempre han estado conmigo acompañándome en todos mis logros y metas alcanzadas.

Con todo mi corazón para mi hermosa familia, los quiero mucho.

Joseline Valeria Zambonino Quisanga

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Virgencita y a mi Niño de Isinche por ayudarme día a día en mi formación profesional, por guiarme, protegerme y darme fuerzas para seguir adelante.

A mis padres por todo el apoyo incondicional, por brindarme su confianza, su tiempo, sus consejos y amor.

A mis tíos Gloria y Alejandro que desde el cielo han derramado bendiciones sobre mí.

A mis amigos por su amistad y apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil quienes me brindaron sus conocimientos para mi formación académica, y de manera especial a mi tutor Ing. Fabián Morales por la paciencia y ayuda durante la ejecución de este proyecto.

A mi querida Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato por abrirme las puertas y permitirme formarme como profesional.

Al Ing. Gabriel Velastegui por su buena disposición y ayuda en la elaboración del presente trabajo.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra forma, colaboraron y me apoyaron para lograr este objetivo, mi más sincero agradecimiento.

Joseline Valeria Zambonino Quisanga

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Justificación	6
1.1.3. Fundamentación Teórica.....	9
1.1.3.1. Planta de tratamiento de aguas residuales	9
1.1.3.2. Características de las aguas residuales	9
1.1.3.3. Fuentes de aguas residuales.....	11
1.1.3.4. Etapas del tratamiento de aguas residuales	13
1.1.3.5. Componentes empleados para el tratamiento de agua residual	14
1.1.3.6. Parámetros de las aguas residuales.....	14
1.1.3.7. Muestreo de aguas residuales	16
1.1.3.8. Agua residual tratada.....	17
1.1.4. Hipótesis	19
1.2. Objetivos	20
1.2.1. Objetivo General.....	20
1.2.2. Objetivos Específicos	20

CAPÍTULO II	21
METODOLOGÍA	21
2.1. Materiales y Equipos	21
2.2. Metodología	22
2.2.1. Descripción de la zona de estudio.....	22
2.2.2. Análisis del funcionamiento PTAR	23
2.2.2.1. Tanque repartidor de caudales.....	24
2.2.2.2. Fosa Séptica.....	25
2.2.2.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	25
2.2.2.4. Lecho de secado de lodos	26
2.2.3. Medición de caudales.....	26
2.2.4. Ubicación de los sitios de muestreo.....	28
 CAPÍTULO III.....	 30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	30
3.1.1. Análisis de las muestras de agua residual.....	30
3.1.2. Comparación de los resultados obtenidos con el TULSMA 2015.....	30
3.2. Evaluación de la PTAR de la comunidad Zona Libre.....	33
3.2.1. Diagnostico Técnico	33
3.2.2. Dimensiones de la planta de tratamiento de aguas residuales	33
3.2.2.1. Tanque repartidor de caudales.....	33
3.2.2.2. Fosa séptica	35
3.2.2.3. Lecho de secado de lodos	37
3.2.2.4. Filtro anaerobio de flujo ascendente.....	38
3.2.3. Verificación del funcionamiento de la PTAR.....	39
3.2.3.1. Diagnóstico del tanque repartidor de caudales.....	39
3.2.3.2. Diagnóstico de la fosa séptica	39
3.2.3.3. Diagnóstico del lecho de secado de lodos	41
3.2.3.4. Diagnóstico del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	43
3.3. Verificación de hipótesis.....	48
3.4. Propuesta de mejora	49
3.4.1. Parámetros de Diseño	49
3.4.1.1. Población de Diseño.....	49

3.4.1.2.	Dotación de Agua Potable	54
3.4.1.3.	Caudales de diseño	55
3.4.2.	Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales	58
3.4.2.1.	Canal de Entrada.....	58
3.4.2.2.	Diseño de Rejillas.....	59
3.4.2.3.	Diseño del Desarenador.....	60
3.4.2.4.	Diseño de la Fosa Séptica.....	65
3.4.2.5.	Diseño del Lecho de secado de lodos.....	68
3.4.2.6.	Diseño del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	71
3.4.3.	PTAR Zona Libre	74
CAPÍTULO IV		75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		75
4.1.	Conclusiones	75
4.2.	Recomendaciones.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....		78
ANEXOS.....		83
Anexo N° 1: Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Zona Libre		83
Anexo N° 2: Fotografías		88
Anexo N° 3: Resultados de Laboratorio		91
Anexo N° 4: Planos.....		93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y su procedencia	9
Tabla 2. Procesos del tratamiento preliminar	13
Tabla 3. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	17
Tabla 4. Materiales.....	21
Tabla 5. Equipos de seguridad	21
Tabla 6. Resultados de la medición de caudales de ingreso en lt/s	27
Tabla 7. Resultados de la medición de caudales de salida en lt/s	27
Tabla 8. Resultado comparativo de las muestras analizadas con el TULSMA.....	31
Tabla 9. Porcentaje de eficiencia de remoción de los parámetros físicos y químicos de la PTAR.....	32
Tabla 10. Dimensiones del tanque repartidor de caudales	34
Tabla 11. Dimensiones de la fosa séptica.....	35
Tabla 12. Dimensiones del lecho de secado de lodos	37
Tabla 13. Dimensiones del filtro anaerobio de flujo ascendente	38
Tabla 14. Datos del análisis de la fosa séptica.....	40
Tabla 15. Datos del análisis del lecho de secado de lodos.....	41
Tabla 16. Datos del análisis del FAFA.....	43
Tabla 17. Datos reales del FAFA	45
Tabla 18. Cuadro resumen valores calculados FAFA	47
Tabla 19. Cuadro comparativo entre medidas tomadas in situ y las medidas calculadas..	48
Tabla 20. Población INEC	50
Tabla 21. Datos para el diseño del canal de entrada	58
Tabla 22. Datos para el diseño del desarenador.....	60
Tabla 23. Valores del coeficiente “a”	62
Tabla 24. Datos para el diseño de la fosa séptica	65
Tabla 25. Datos para el diseño del lecho de secado de lodos	68
Tabla 26. Datos para el diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente	71
Tabla 27. Remoción teórica del nuevo diseño PTAR.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Agua residual doméstica	11
Figura 2. Agua residual industrial	11
Figura 3. Agua residual de la lluvia.....	12
Figura 4. Agua residual agrícola	12
Figura 5. Ubicación del proyecto	22
Figura 6. PTAR Comunidad Zona Libre	23
Figura 7. Proceso de tratamiento actual PTAR	24
Figura 8. Tanque repartidor PTAR.....	24
Figura 9. Fosa séptica PTAR.....	25
Figura 10. Filtro anaerobio de flujo ascendente PTAR	25
Figura 11. Lecho de secado de lodos PTAR.....	26
Figura 12. Ubicación puntos de muestreo	28
Figura 13. Muestreo del agua residual al ingreso de la PTAR.....	28
Figura 14. Muestreo del agua residual a la salida de la PTAR	29
Figura 15. Rotulado y conservación de muestras	29
Figura 16. Porcentaje de remoción de la PTAR Zona Libre	32
Figura 17. Diagrama de Flujo de la PTAR	33
Figura 18. Vista en planta del tanque repartidor.....	34
Figura 19. Vista del corte longitudinal del tanque repartidor	35
Figura 20. Vista en planta de la fosa séptica	36
Figura 21. Vista del corte longitudinal de la fosa séptica	36
Figura 22. Vista en planta del lecho de secado de lodos	37
Figura 23. Vista del corte transversal del lecho de secado de lodos	38
Figura 24. Vista del corte transversal del FAFA	39
Figura 25. Propuesta de diseño para la planta de tratamiento de aguas residuales.....	49
Figura 26. Medición de caudales.....	89
Figura 27. Recolección de muestras de agua residual	89
Figura 28. Caja de revisión salida PTAR	89
Figura 29. Fosa séptica y FAFA.....	90
Figura 30. Lecho de secado de lodos.....	90

RESUMEN

En el presente trabajo experimental, tiene como objetivo principal evaluar la operación y funcionamiento de los procesos unitarios de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la comunidad Zona Libre, la cual da servicio a aproximadamente 295 personas; la finalidad del estudio es determinar si efectivamente cumple con los parámetros que exige la normativa ambiental vigente (TULSMA). En la investigación, se desarrolló primero aforos durante 7 días consecutivos para determinar el caudal actual de ingreso y salida de la planta; consecutivamente, se envió muestras de agua residual al laboratorio para analizar sus características físicas y químicas.

La evaluación de la planta consistió en el dimensionamiento de las unidades de tratamiento hasta el presente año (2021), para ello se usaron los datos obtenidos en campo y laboratorio, concluyendo que la geometría actual en cada unidad de tratamiento es similar a la obtenida teóricamente, a excepción del FAFa que no cuenta con el volumen adecuado para que el medio filtrante reduzca la carga contaminante del agua residual. Además, la PTAR en general alcanza bajos porcentajes de eficiencia de remoción: DBO con 1.93 por ciento y DQO con 0.47 por ciento.

Una vez procesada toda la información antes mencionada, se propone incorporar un nuevo proceso de tratamiento y un manual de operación y mantenimiento, que pretende contribuir a la mejora del funcionamiento de las unidades.

Palabras clave: Planta de tratamiento, DBO, DQO, agua residual, Quero, TULSMA.

ABSTRACT

In the present experimental work, its main objective is to evaluate the operation and functioning of the unit processes of the Wastewater Treatment Plant of the Zona Libre community, which serves approximately 295 people; The purpose of the study is to determine whether it actually complies with the parameters required by current environmental regulations (TULSMA). In the research, gauges were first developed for 7 consecutive days to determine the current flow into and out of the plant; consecutively, wastewater samples were sent to the laboratory to analyze its physical and chemical characteristics.

The evaluation of the plant consisted in the dimensioning of the treatment units until the present year (2021), for this the data obtained in the field and laboratory were used, concluding that the current geometry in each treatment unit is similar to that obtained theoretically. With the exception of the FAFA, which does not have the adequate volume for the filter medium to reduce the pollutant load of the wastewater. In addition, the WWTP in general achieves low removal efficiency percentages: BOD with 1.93 percent and COD with 0.47 percent

Once all the aforementioned information has been processed, it is proposed to incorporate a new treatment process and an operation and maintenance manual, which aims to contribute to the improvement of the operation of the units.

Keywords: Treatment plant, BOD, COD, wastewater, Quero, TULSMA.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

Las comunidades se enfrentan a varios problemas relacionados con el tratamiento de aguas residuales, debido a la falta de planificación, inadecuada gestión de los municipios y la falta de personal técnico especializado, como consecuencia se tiene la contaminación de las fuentes hídricas donde se descarga el efluente. Entonces para evitar que esto suceda es necesario que las aguas residuales sean vertidas de manera adecuada, cumpliendo con los parámetros ambientales y asegurando que no se convertirá en un riesgo para la salud humana. [1]

Es necesario contar con un adecuado diseño de la PTAR con el objetivo de alcanzar los parámetros en la norma de calidad de agua de descarga residual a cuerpo de agua dulce. Es importante el planteamiento de la factibilidad económico – financiera y ambiental de una planta para ser construida y así contribuir a la reducción de la contaminación de las aguas, asimismo se debe considerar la elaboración de alternativas de la funcionalidad y eficiencia de los procesos físicos y biológicos; esto permitirá obtener diferentes criterios que puede aplicarse para solucionar el problema. [2]

En los últimos años en Ecuador se ha evaluado a diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales, entre las investigaciones realizadas se tiene la evaluación a una industria láctea en la ciudad de Quito, donde se concluyó que la falta de actividades de mantenimiento en las unidades de tratamiento, además del manejo y operación empírica por parte de los operadores, han llevado que las PTAR varíen las características de funcionamiento que suelen ser reflejadas en el incumplimiento de los límites de descarga de DBO₅, DQO, SST y ST establecidos en las normas. [3]

Mediante la investigación realizada a una PTAR de la ciudad de Nueva Loja se conoció que los parámetros de coliformes totales son muy altos y no cumplen con la norma, es decir las aguas en vez de purificarse con el filtro se están contaminando; por esta razón se exige la implementación de nuevos sistemas de depuración para las aguas residuales. [4]

En las plantas de tratamiento de la vía a la costa, se logró verificar que las dos urbanizaciones analizadas cuentan con PTAR por lodos activados tipo convencionales que trabajan adecuadamente al obtener una eficiencia del 98% con respecto a la DBO. Sin embargo, los aceites y grasas no cumplieron con los valores límites máximos de la normativa vigente, ya que la planta tan solo elimina el 44% de este parámetro. [5]

Una vez realizada la intervención a la PTAR de Puerto López, se conoció que el sistema de tratamiento no cumple con los criterios de calidad de agua, por lo que se propuso una nueva alternativa de tratamiento de aguas residuales con un sistema de reactor anaeróbico de flujo ascendente, junto a un sistema de desinfección, de tal manera que se cumplan los requerimientos ambientales del efluente. [6]

La planta de tratamiento de aguas residuales de una industria quesera fue analizada mediante 4 diferentes estudios, donde los procesos de remoción de grasa, clarificación y degradación de materia orgánica, se encontraron por encima de los límites permisibles, es decir, ninguno cumple con la norma; por lo tanto, se consideró adecuado la implementación de un sistema DAF. [7]

El agua residual proveniente de la industria láctea contiene altas concentraciones de materia orgánica, por lo que se realizó la valoración de los efluentes generados por la empresa Marlen, donde se observó una fosa séptica como tratamiento actual, asimismo mediante un muestreo técnico del agua se determinó que todos los parámetros se encuentran en niveles superiores a los permitidos, por lo tanto se realizó un rediseño de la planta utilizando agregados pétreos como medios filtrantes en la depuración. [8]

En la PTAR ubicada a orillas del río Santa Clara, que da servicio a las edificaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas, no se ha realizado un análisis completo del líquido efluente y tampoco de la eficiencia de este sistema; por tal motivo se realizó una evaluación a dicha planta, donde se monitorearon los parámetros físicos, químicos y biológicos, concluyendo que todos los parámetros, excepto el valor de los coliformes totales, se encuentran bajo los límites máximos permitidos por la normativa vigente, lo que demuestra que es totalmente viable su vertido al cuerpo de agua. [9]

Otra PTAR que no contaba con un análisis completo es la ubicada en la parroquia Poatug, la cual ha tenido un descuido considerable después de su construcción, lo que provocó que las estructuras hidráulicas se encuentren con presencia vegetal y que su proceso de tratamiento funcione parcialmente; por ello se realizó el estudio a esta planta donde se logró comprobar que el efluente tiene una remoción de alrededor del 27% de DBO y 43% de DQO, es decir que el agua tratada aún tiene concentraciones que no cumple con la norma, por lo que se planteó un nuevo proceso de tratamiento, además de un plan de operación y mantenimiento. [10]

La PTAR que opera la Empresa Pública Municipal de Saneamiento Ambiental de Babahoyo (EMSABA) es la única que se basa en la combinación de 2 sistemas de tratamiento de aguas residuales; el primero son los reactores anaeróbicos de flujo ascendente con manto de lodos (UASB) y el segundo las lagunas facultativas y de maduración. Opera desde el año 2003 y en el 2017 se realizó una evaluación a esta planta, porque la infraestructura se encontraba en pésimas condiciones, ya que sus partes metálicas presentaban corrosión y en el hormigón presentaba una capa de moho. En la valoración a la planta se concluyó que las lagunas tienen una eficiencia mayor para tratar el agua residual que los reactores, esto se debe a que los reactores UASB operan en forma intermitente, sin embargo, el efluente que se descarga al río está por debajo de los límites permitidos por la norma. Por otra parte, en la parte física se demostró la falta de limpieza y mantenimiento a cada componente de la planta, la estructura más crítica corresponde a las partes metálicas ya que presentan gran deterioro. [11]

La falta de análisis de la calidad del agua tratada por las PTAR está generando problemas ambientales y sociales a nivel mundial, así lo demuestra la investigación realizada en Colombia a una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en el municipio de Honda, donde se verificó que el último análisis se lo hizo en el 2012, además se descubrió que la planta se encontraba trabajando intermitentemente y cuando no opera las aguas residuales son vertidas directamente al Río Guali sin ningún tratamiento previo, lo que ha generado una afectación grave a la fuente hídrica. [12]

Luego de la evaluación a la PTAR de la Central de Sacrificio de Túquerres, se determinó que la principal falencia del sistema, es la falta de un pretratamiento, por esta razón se modificó el tratamiento primario instalando rejillas dentro de la planta para poder retener la mayor cantidad posible de sólidos, así se logró mejorar todo el sistema alcanzando remociones del 66% en DQO, 70.4% en DBO, 53.8% en sólidos suspendidos y 60.7% en grasas y aceites. [13]

Las 5 PTAR que se encuentran en operación al Sureste de México cumplen la calidad requerida a pesar que solo ocupan el 70% de su capacidad, según la investigación realizada, se sabe que en general todo el sistema se encuentra bien diseñado, sin embargo, presentan fallas por falta de equipamiento y operación, además de un problema de cloración. [14]

Se valoró la PTAR de una industria alimentaria, donde se logró verificar que el sistema de lodos activados que tiene la fábrica se encuentra insuficiente debido al incremento de la producción. Además, se determinó que el agua contenía un elevado contenido de materia orgánica suspendida y disuelta, por lo que se consideró utilizar un tratamiento químico previo, que permita neutralizar el pH y remover entre un 30% a 40% de la DBO₅ suspendida y disuelta. [15]

Se realizó la investigación a la PTAR ubicada en Massiapo, en el cual se concluyó que la planta está funcionando deficientemente, presentando filtraciones y el colapso del sistema de la laguna de estabilización. Además, al comparar los valores de DBO₅ y DQO con los límites máximos permisibles se logró comprobar que los resultados superan por más del doble. Por estas razones se consideró una propuesta técnica con

filtración biológica con todos sus componentes, de tal forma que se pueda contrarrestar los impactos negativos al ambiente. [16]

En el estudio realizado a la planta de tratamiento de aguas residuales de la urbanización Las Lomas, se tomó como base un caudal promedio diario de 40 m³/día y máximo diario de 50 m³/día, lo que dio como resultado que existe un problema en la tasa de aplicación superficial y el tiempo de retención, por ello se propuso tres alternativas, pero la más recomendable desde el punto de vista técnico, ambiental y económico, es la de cambiar la conformación actual de tratamiento por dos lagunas en serie, una facultativa y la segunda de maduración. [17]

1.1.2. Justificación

De acuerdo con las estimaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), aproximadamente el 85% de la población cuenta con los servicios de agua potable, ya sea a través de conexiones domiciliarias o a través de fácil acceso a una fuente pública. En cuanto a los servicios de saneamiento, solamente un 49% de la población está conectada a sistemas convencionales de alcantarillado, y otro 31% utiliza sistemas de saneamiento “in situ”, dando como resultado que los niveles de cobertura de alcantarillado son considerablemente menores que los de agua potable con conexión domiciliaria. [18]

Según los datos de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), demuestran que, en Ecuador en el año 2014, solo el 10% de las aguas residuales tienen algún nivel de tratamiento, también que más del 80% de las empresas industriales, agroindustriales, de comercio y servicios, que generan aguas residuales con alta carga orgánica y muchas veces son sustancias tóxicas, no las depuran y las descargan directamente a las redes de alcantarillado público o directamente a fuentes hídricas. [19]

En la Constitución del Ecuador, en el Título II, capítulo segundo, sección segunda, en su artículo 14 menciona que la población tiene el derecho a vivir en un ambiente sano, donde se garantice la sostenibilidad y el buen vivir; es así que el estado se compromete a “Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.”, esto se menciona en el Título VII, capítulo segundo, sección primera, artículo 397. [20]

Igualmente, la Ordenanza para el control de descargas líquidas a los cuerpos de agua dulce y sistema de alcantarillado del cantón Santiago de Quero, en su artículo 7 expresa que “Todas las aguas residuales domésticas deberán verterse al alcantarillado municipal. El Gobierno Autónomo Descentralizado será el encargado de la depuración de estas aguas residuales, para lo cual realizará la construcción de plantas de tratamiento”. Además, en el artículo 11 enuncia que “Las aguas industriales que sean depositadas en el sistema de alcantarillado municipal deben cumplir para su vertido con las características de las aguas residuales domésticas”, es decir que las industrias

deben tener su propia PTAR para poder eliminar los altos niveles de concentraciones de materia orgánica sus aguas antes de ser vertidas al sistema de alcantarillado. [21]

El cantón Quero en los últimos años, ha experimentado un incremento considerable en su población y en el número de viviendas, así como también, una variación considerable en la actividad económica de su gente que se basa principalmente en el cultivo y producción de la tierra, como actividades alternativas se encuentra la artesanía, el comercio y el engorde de ganado. [22]

En vista del acelerado crecimiento demográfico y al auge del desarrollo industrial, se ha incrementado el consumo de agua y la generación de efluentes domésticos e industriales, por lo que es imprescindible contar con una planta de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de reducir las cargas contaminantes presentes en el agua y llevarlas a concentraciones aceptables para su vertimiento en un cuerpo receptor [15]. Igualmente, es fundamental determinar si la planta está cumpliendo con los objetivos de diseño, para lo cual es necesario evaluar la eficiencia de la misma, mediante las mediciones de los parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan las aguas residuales y las aguas tratadas de acuerdo al Libro VI, Anexo 1 del TULSMA. [9]

Para poder realizar un adecuado tratamiento de aguas residuales se debe contar con una planta que tenga los procesos de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y de ser posible tratamiento terciario para garantizar una alta remoción de la carga contaminante que las aguas residuales poseen, con el fin de evitar la contaminación del cuerpo receptor. [12]

En nuestro país, la falta de PTAR es una realidad desde hace algunos años atrás tanto en el sector urbano como en el sector rural, debido a una falta de conciencia social y recursos económicos, trayendo como consecuencia el deterioro de los ecosistemas y con el pasar del tiempo esto se convertirá en un pasivo ambiental, que está directamente relacionado con el bienestar humano, sus formas y medios de vida conjuntamente con las técnicas que emplean para explotar sus recursos naturales para el bienestar de la vida humana. [23] [24]

Pocas ciudades del Ecuador cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, donde en la mayoría de los casos las plantas producen efluentes que se encuentran fuera de los límites que establece la normativa vigente, lo que ha generado el uso restringido del agua ya sea para riego o recreación. Asimismo, el diseño de las PTAR ha sido estandarizado, ya que por lo general se construyen procesos unitarios como los filtros biológicos, sin considerar las características propias de cada proyecto, por ejemplo: la topografía, la población y sobre todo las características del agua, obteniendo estructuras subdimensionadas y/o sobredimensionadas. [4]

Por esta razón, este proyecto comprende el desarrollo de una evaluación técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la comunidad Zona Libre del cantón Quero, que servirá para identificar la condición actual de todo el sistema de tratamiento y a la vez proponer posibles soluciones para que la planta funcione correctamente y cumpla con los parámetros de calidad de vertidos conforme a la norma TULSMA.

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. Planta de tratamiento de aguas residuales

Es un conjunto de instalaciones y procesos unitarios que reducen las características no deseables presentes en el agua, mediante procesos físicos, químicos y/o biológicos. El principal objetivo de la planta de tratamiento de aguas residuales no es el de producir un efluente sin especies microbianas (estéril), sino de reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de descarga, obteniendo un producto que se encuentre dentro del rango límite establecido por la norma. [25] [26]

1.1.3.2. Características de las aguas residuales

El agua residual se conforma por dos componentes, un efluente líquido y un constituyente sólido, afectando negativamente en la calidad del agua; además obtiene nuevas características en su composición física, química y biológica. En la Tabla 1 se muestra las principales propiedades del agua residual con su respectiva procedencia. [27]

Tabla 1. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y su procedencia

CARACTERÍSTICAS		PROCEDENCIA
Propiedades físicas	Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
	Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
	Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
	Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales
Constituyentes químicos	Orgánicos:	
	Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	Grasas animales, aceites y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	Pesticidas	Residuos agrícolas
	Fenoles	Vertidos industriales

Fuente: Metcalf & Eddy [27]

Tabla 1. (Continuación)

CARACTERÍSTICAS		PROCEDENCIA
Constituyentes químicos	Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	Otros	Degradación natural de materia orgánica
	Inorgánicos:	
	Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
	Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
	Metales pesados	Vertidos industriales
	Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
	pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía
	Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	Azufre	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
	Gases:	
	Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos
	Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxígeno	Agua de suministro; infiltración de agua superficial	
Constituyentes biológicos	Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento
	Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento
	Virus	Aguas residuales domésticas
	Protistas:	
	Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
	Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento

Fuente: Metcalf & Eddy [27]

1.1.3.3. Fuentes de aguas residuales

1.1.3.3.1. Agua residual doméstica o urbana

Estas aguas provienen de viviendas, restaurantes o a veces de centros comerciales, que son transportadas por una red de alcantarillado como se observa en la figura 1. Es considerada como el agua menos contaminada por no contener químicos, asimismo está conformada por aguas negras (provenientes de inodoros y uriniales) y aguas grises (derivadas de lavaplatos, lavabos y lavaderos). [28]

Figura 1. Agua residual doméstica



Fuente: http://1.bp.blogspot.com/-Gec_L9bYuao/UgVuKROUaII/s1600/sistema_septico_integrado.jpg

1.1.3.3.2. Agua residual industrial

Es aquella agua que se identifica por ser residuo líquido derivado de procesos productivos industriales como se ve en la figura 2. Su composición varía según el tipo de proceso industrial y presenta características químicas más complejas debido a los productos sintéticos que son usados en las fábricas. [28]

Figura 2. Agua residual industrial



Fuente: https://www.iciforestal.com.uy/multimedia/imagenes/contaminacion/fabrica_dibujo.JPG

1.1.3.3.3. Agua residual de la lluvia

Esta agua es generada por la precipitación, suele considerarse como limpia sin embargo las gotas de lluvia atrapan la contaminación suspendida en el aire y en el suelo donde cae. En la mayoría de los casos ingresa en el sistema de alcantarillado urbano mezclándose con las aguas residuales domésticas donde se dirigen para su posterior tratamiento como se muestra en la figura 3. [28]

Figura 3. Agua residual de la lluvia



Fuente: <https://www.nefusa.org/nature/consejos-para-reducir-el-impacto-de-la-escorrent-de-aguas-pluviales>

1.1.3.3.4. Agua residual agrícola

Es aquella agua que proviene de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas como se observa en la figura 4. Este tipo de agua presenta gran cantidad de contaminación debido a la presencia de pesticidas y fertilizantes usados por los agricultores para mejorar los cultivos que en ocasiones no son absorbidos en su totalidad por el suelo. [28]

Figura 4. Agua residual agrícola



Fuente: <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/uso-seguro-de-aguas-residuales-en-la-agricultura>

1.1.3.4. Etapas del tratamiento de aguas residuales

1.1.3.4.1. Tratamiento preliminar

Es el proceso mediante el cual se elimina constituyentes que pueden generar algún daño en el funcionamiento del sistema, ayuda a proteger las instalaciones y mejorar la apariencia estética de la planta. En la Tabla 2 se muestran los principales objetivos de algunas unidades de tratamiento preliminar. [29]

Tabla 2. Procesos del tratamiento preliminar

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Preaeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico

Fuente: R. Rojas [29]

1.1.3.4.2. Tratamiento primario

Este proceso es el encargado de eliminar una porción del material sedimentable o flotante y parte de la carga orgánica. Esta eliminación suele llevarse a cabo por medios físicos como la sedimentación, el cribado y la flotación. [29] [30]

1.1.3.4.3. Tratamiento secundario

Este proceso es el responsable de eliminar los sólidos sedimentables floculentos y los compuestos orgánicos, mediante procedimientos biológicos como los filtros percoladores, lodos activados, tratamiento biológico aeróbico y el tratamiento anaeróbico. [29]

1.1.3.4.4. Tratamiento avanzado o terciario

Es el proceso encargado de eliminar los compuestos que no fueron suprimidos en el tratamiento secundario. Este proceso se lo realiza cuando se requiere conseguir un efluente de mayor calidad y con niveles muy bajos de contaminación, de tal manera que pueda reutilizarlo para varias actividades humanas sin generar algún riesgo para la salud. [30]

1.1.3.5. Componentes empleados para el tratamiento de agua residual

1.1.3.5.1. Cribado

La primera operación es la implementación de rejillas que sirve para impedir el paso de sólidos de gran tamaño que puedan crear dificultades en las instalaciones de la planta. [31]

1.1.3.5.2. Fosa séptica

Es un procedimiento mediante el cual las sustancias orgánicas son reducidas a formas más simples, asimismo en este período se produce la sedimentación, digestión y almacenamiento de los sólidos presentes en el agua residual. [31]

1.1.3.5.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

Es un sistema de tratamiento formado por un filtro que cuenta con un medio sólido (piedras) como soporte para que los microorganismos anaeróbicos formen una capa delgada fija que remueva la materia orgánica presente en el agua residual. Su eficiencia dependerá de la forma, tamaño y/o tipo del material filtrante como del tiempo de retención hidráulica. También, produce una cantidad mínima de lodo, no utiliza recirculación y se logra tener un mayor rendimiento cuando se combina con otros procesos de tratamiento biológico. [32]

1.1.3.5.4. Lecho de secados de lodos

Son estructuras en las cuales se depositan los lodos obtenidos en los diferentes procesos de la PTAR, con el propósito de que el agua contenida en los lodos se evapore o se escurra por medio de un filtro. [31]

1.1.3.6. Parámetros de las aguas residuales

El diseño y manejo de las plantas de tratamiento de aguas residuales requieren de una evaluación de la calidad del efluente. Los principales parámetros que se evalúan son los siguientes:

1.1.3.6.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Es la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos mediante un proceso de oxidación de la materia orgánica, el periodo de incubación normalmente es de 5 días (DBO5); además la determinación de este parámetro sirve para dimensionar las instalaciones del sistema de tratamiento, para evaluar la eficiencia de los procesos y para controlar el cumplimiento de los límites permisibles de descarga a un cuerpo receptor. [27]

1.1.3.6.2. Demanda Química de Oxígeno

Este parámetro se utiliza para medir el contenido de materia orgánica presente en el agua residual mediante una reacción química a elevadas temperaturas, este valor se usa para determinar el oxígeno equivalente de la materia orgánica que logra oxidarse. [27]

1.1.3.6.3. pH

Es un parámetro de gran importancia que permite determinar la concentración de hidrógeno que tiene el agua, sin embargo, en concentraciones inadecuadas presenta dificultades en los procesos biológicos. [27]

1.1.3.6.4. Nitrógeno

Es un nutriente que sirve para el crecimiento de plantas, utilizado para la formación de proteínas. El valor de este parámetro es muy útil para saber si las aguas residuales pueden ser tratadas mediante procesos biológicos, además las diferentes formas que se puede obtener el nitrógeno son orgánico, amoniacal, nitrito y nitrato. [33]

1.1.3.6.5. Fósforo

Es un elemento esencial para el crecimiento de protistas y plantas, de modo que es necesario determinar las cantidades presentes en el agua residual para controlar el crecimiento indeseable de algas en el cuerpo hídrico receptor. [33]

1.1.3.6.6. Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos suspendidos totales están conformados por partículas orgánicas o inorgánicas que se pueden separar fácilmente del líquido mediante un proceso de sedimentación. [29]

1.1.3.7. Muestreo de aguas residuales

Es el proceso de seleccionar una muestra representativa, es decir, debe contener la mayoría de características propias del agua residual para su respectivo análisis. Dependiendo de la investigación que se quiera realizar se puede recolectar muestras simples o muestras compuestas. [34]

1.1.3.7.1. Muestras Simples

Es la muestra que se toma en un determinado tiempo y es analizada individualmente, donde se identifica exclusivamente las características del agua residual para el momento del muestreo. Las muestras simples son utilizadas para determinar el valor del pH, coliformes fecales, oxígeno disuelto, entre otros. [34]

1.1.3.7.2. Muestras Compuestas

Es el conjunto de varias muestras simples, tomadas en un período más extenso para lograr identificar las variaciones de la contaminación que existe en el agua y lograr controlar el correcto funcionamiento de la PTAR. Asimismo, las muestras compuestas son muy útiles para determinar el DBO5, DQO y el nitrógeno. [34]

1.1.3.7.3. Volumen de la muestra

El volumen adecuado en la mayoría de los casos es impuesto según los requerimientos del laboratorio y según el tipo de parámetro (físico, químico o biológico) que se desee determinar. [9]

1.1.3.7.4. Lugar de muestreo

Para la extracción de muestras es fundamental que el lugar designado sea donde se produzca turbulencia o tenga caída, de este modo se obtienen muestras representativas evitando la separación de sólidos. [9]

1.1.3.7.5. Preservación de las muestras

Lo más factible es un análisis inmediato, sin embargo, si no se logra esto, la norma NTE INEN 2169 recomienda que las muestras deben conservarse en cajas térmicas con un ambiente frío (entre 2°C y 5°C) y evitando el efecto de la luz solar para asegurar la concentración de todos los parámetros del agua residual. [35]

1.1.3.8. Agua residual tratada

El agua residual luego de ser tratada por todo el sistema de tratamiento debe ser vertida en algún cuerpo receptor cumpliendo con los límites de descarga establecido por la normativa del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. En esta norma se encuentran varios parámetros que las PTAR deben cumplir para la descarga de efluentes, para este trabajo usaremos los límites para la descarga a cuerpos de agua dulce, que se muestran en la Tabla 3. [36]

Tabla 3. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresada como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30
Alki mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro Total	Ba	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0.1
Cinc	Zn	mg/l	5
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1

Fuente: TULSMA [36]

Tabla 3. (continuación)

Parámetros	Expresada como	Unidad	Límite máximo permisible
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo hexavalente	Cr +6	mg/l	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	DBO5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	F	mg/l	5
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO4 -2	mg/l	1000
Sulfuros	S	mg/l	0.5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1

Fuente: TULSMA [36]

1.1.4. Hipótesis

Hipótesis de trabajo

La planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Zona Libre, cantón Quero, provincia de Tungurahua actualmente no se encuentra trabajando de manera correcta.

Hipótesis nula

La planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Zona Libre, cantón Quero, provincia de Tungurahua actualmente se encuentra trabajando de manera correcta.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Zona Libre, cantón Quero, provincia de Tungurahua.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de información de la planta de tratamiento.
- Analizar el afluente y efluente de la planta de tratamiento.
- Evaluar los procesos de tratamiento de la planta según la normativa vigente TULSMA 2015.
- Realizar un rediseño para el mejoramiento de la planta de tratamiento evaluada en el caso de ser necesario.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales y Equipos

En la Tabla 4 se presenta los materiales utilizados para medir caudales y para la toma de muestras de agua residual, asimismo, en la Tabla 5 se observa los equipos de seguridad implementados en la ejecución de las actividades.

Tabla 4. Materiales

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Botella plástica	6	unidad
Frasco Ámbar	2	unidad
Cámara	1	unidad
Computadora	1	unidad
Cronometro	1	unidad
Cuaderno	1	unidad
Flexómetro	1	unidad
Hojas de papel bond	3	unidad
Impresora	1	unidad
Recipiente plástico 3lt	1	unidad

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Tabla 5. Equipos de seguridad

EQUIPOS	CANTIDAD	UNIDAD
Guantes de látex	10	unidad
Mandil	1	unidad
Mascarilla	8	unidad

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

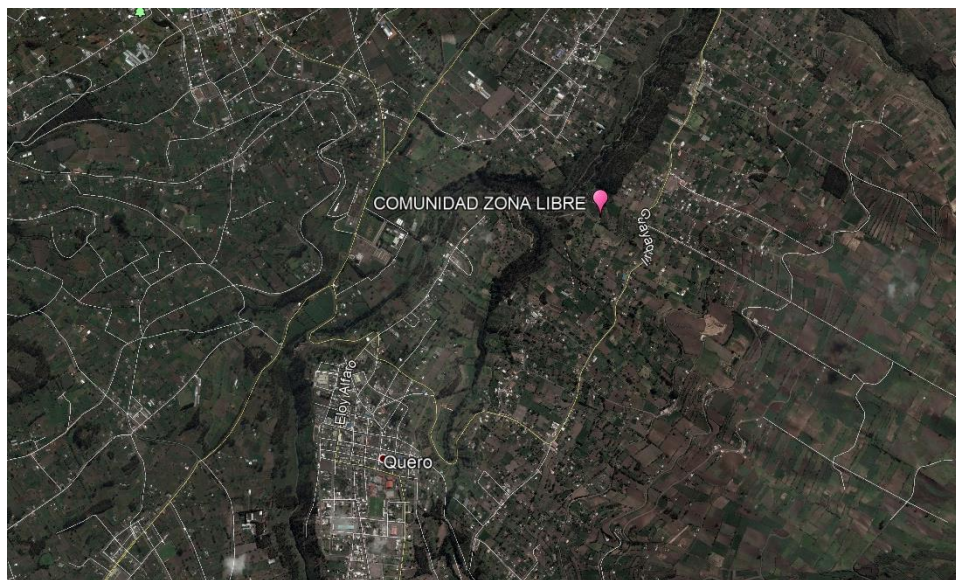
2.2. Metodología

En el presente trabajo experimental se realiza la evaluación del funcionamiento de la planta de aguas residuales ubicada en la comunidad Zona Libre, perteneciente al cantón Quero en la provincia de Tungurahua; para ello se recopila toda la información existente sobre la planta (dimensiones, tiempo de operación), además se realiza una investigación de campo donde se observa el estado actual de la planta, se miden los caudales (entrada y salida) y se toman muestras de agua residual para determinar sus características, posteriormente se comparará los resultados obtenidos en el laboratorio con la norma TULSMA para descargas a un cuerpo de agua dulce.

2.2.1. Descripción de la zona de estudio

La comunidad Zona Libre se encuentra ubicada en la provincia de Tungurahua, en el cantón Quero, aproximadamente al norte de la parroquia Matriz, alrededor de unos 10 minutos de la cabecera cantonal como se puede observar en la figura 5.

Figura 5. Ubicación del proyecto



Fuente: Google Earth Pro

La comunidad se encuentra sobre la cota de los 2800 m.s.n.m., es decir pertenece a la zona climática fría con temperaturas entre 8°C a 14°C. Las principales actividades económicas de los pobladores son: la ganadería y la agricultura, con cultivos de ciclo corto como es el maíz, papa, zanahoria, arveja, entre otros. [37]

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada en la zona baja de la comunidad, la misma que actualmente se encuentra en funcionamiento. La PTAR fue construida por el GAD Municipal de Quero en el año 2006 para proveer el tratamiento a los caudales sanitarios de la comunidad, sin embargo, dicha planta ahora no se encuentra cumpliendo la función para la cual fue construida inicialmente.

La PTAR de la comunidad Zona Libre se encuentra localizada en un área de 310 metros cuadrados aproximadamente y como se identifica en la figura 6 la planta cuenta con diferentes procesos unitarios para la depuración del agua residual que son los siguientes: un tanque repartidor de caudales, una fosa séptica, un filtro anaerobio de flujo ascendente y un lecho de secado de lodos.

Figura 6. PTAR Comunidad Zona Libre



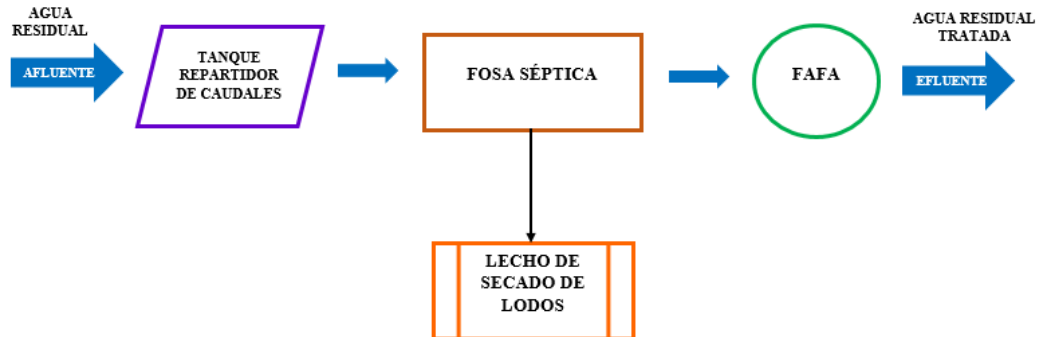
Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

2.2.2. Análisis del funcionamiento PTAR

Actualmente la planta de tratamiento recibe el agua residual de la red de alcantarillado de la comunidad Zona Libre, la que se encuentra compuesta por un tanque repartidor, fosa séptica, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) y un lecho de secado de lodos

que posteriormente se detallará el estado actual de cada estructura. En la figura 7 se puede distinguir el funcionamiento actual de la PTAR mediante un esquema gráfico.

Figura 7. Proceso de tratamiento actual PTAR



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

2.2.2.1. Tanque repartidor de caudales

Como se logra observar en la figura 8 es un tanque donde ingresa el caudal de las aguas residuales que mediante vertederos y tuberías encausa el afluente hacia la fosa séptica o directamente hacia la quebrada por un By Pass. La limpieza se la hace cada 3 meses puesto que el tanque se llena de lodo y obstruye el paso del agua, asimismo la tapa de la estructura se encuentra rota por lo que logra ingresar un caudal proveniente de la lluvia.

Figura 8. Tanque repartidor PTAR



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

2.2.2.2. Fosa Séptica

Esta estructura consta de dos cajas de revisión, dos compartimentos en serie y tres ductos de ventilación como se puede notar en la figura 9. En la actualidad no se realiza un adecuado mantenimiento lo que provoca una obstrucción en la fosa séptica causada por los lodos y sedimentos.

Figura 9. Fosa séptica PTAR



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

2.2.2.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

El filtro anaerobio es de forma cilíndrica donde se receipta el agua residual proveniente de la fosa séptica a través de tuberías PVC; asimismo, como se puede apreciar en la figura 10, dentro de la estructura existe grava que sirve como medio filtrante. Hoy en día se encuentra funcionando ineficientemente ya que existe obstrucción en el ingreso del filtro y no se le ha dado el debido mantenimiento.

Figura 10. Filtro anaerobio de flujo ascendente PTAR



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

2.2.2.4. Lecho de secado de lodos

Es una estructura de forma rectangular en donde se descarga los lodos que se obtienen de la fosa séptica en periodos anuales. Se encuentra en funcionamiento como se puede observar en la figura 11, sin embargo, el poco mantenimiento que recibe ha provocado el crecimiento de plantas en la parte externa.

Figura 11. Lecho de secado de lodos PTAR



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

2.2.3. Medición de caudales

Para la medición de caudales en la PTAR de la comunidad Zona Libre se utilizó el método volumétrico que consiste en el uso de un recipiente con medida y un cronómetro. Los aforos se hicieron durante una semana completa, es decir 7 días seguidos, del 22 al 28 de febrero de 2021, durante el período de tiempo más representativo de acuerdo al tipo de actividad de la comunidad.

Asimismo, se realizaron 3 mediciones a cada hora para obtener un valor promedio más confiable del caudal del ingreso y salida de la planta. Los resultados se presentan en la Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6. Resultados de la medición de caudales de ingreso en lt/s

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio
6:00 A 7:00	0.408	0.384	0.428	0.407	0.427	0.478	0.501	0.433
7:00 A 8:00	0.364	0.324	0.371	0.383	0.337	0.351	0.384	0.359
8:00 A 9:00	0.398	0.413	0.392	0.348	0.355	0.309	0.363	0.368
9:00 A 10:00	0.299	0.311	0.341	0.406	0.316	0.293	0.317	0.326
10:00 A 11:00	0.340	0.441	0.356	0.384	0.342	0.332	0.400	0.371
11:00 A 12:00	0.349	0.560	0.528	0.453	0.359	0.430	0.373	0.436
12:00 A 13:00	0.572	0.757	0.550	0.616	0.630	0.699	0.557	0.626
13:00 A 14:00	0.511	0.701	0.510	0.465	0.552	0.615	0.523	0.554
14:00 A 15:00	0.447	0.577	0.411	0.407	0.534	0.388	0.406	0.453
15:00 A 16:00	0.360	0.645	0.523	0.490	0.594	0.446	0.351	0.487
16:00 A 17:00	0.412	0.528	0.482	0.413	0.407	0.384	0.325	0.422
17:00 A 18:00	0.360	0.450	0.404	0.480	0.331	0.316	0.308	0.378

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Tabla 7. Resultados de la medición de caudales de salida en lt/s

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio
6:00 A 7:00	0.480	0.414	0.481	0.496	0.503	0.530	0.447	0.479
7:00 A 8:00	0.397	0.399	0.436	0.432	0.406	0.452	0.413	0.419
8:00 A 9:00	0.492	0.360	0.415	0.406	0.431	0.493	0.365	0.423
9:00 A 10:00	0.353	0.397	0.373	0.361	0.412	0.405	0.308	0.373
10:00 A 11:00	0.333	0.344	0.411	0.434	0.338	0.354	0.273	0.355
11:00 A 12:00	0.378	0.626	0.428	0.566	0.411	0.590	0.341	0.477
12:00 A 13:00	0.454	0.587	0.482	0.606	0.454	0.577	0.459	0.517
13:00 A 14:00	0.500	0.676	0.569	0.639	0.516	0.636	0.498	0.576
14:00 A 15:00	0.409	0.507	0.372	0.455	0.466	0.422	0.370	0.429
15:00 A 16:00	0.368	0.517	0.461	0.519	0.477	0.527	0.433	0.472
16:00 A 17:00	0.427	0.450	0.517	0.462	0.489	0.417	0.371	0.447
17:00 A 18:00	0.392	0.384	0.451	0.508	0.387	0.365	0.312	0.400

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Como se observa en la Tabla 6 y 7, los caudales no varían mucho a lo largo de toda la semana. Entonces, se puede considerar que el caudal máximo horario de entrada es en el horario de 12:00 a 13:00; esto corresponde al tiempo de almuerzo de los pobladores del sector. Por el contrario, los caudales mínimos horarios se presentan en las horas de la mañana (9:00) debido a que la mayoría de la población dedica este tiempo a actividades agrícolas y ganaderas.

2.2.4. Ubicación de los sitios de muestreo

Se eligió dos puntos de muestreos, los mismos que se encuentran ubicados en el ingreso a la PTAR (tanque repartidor) y en el pozo de salida antes de la descarga a la quebrada, como se evidencia en la figura 12.

Figura 12. Ubicación puntos de muestreo



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

El muestreo se realizó en el día y horas promedio de mayor uso, es decir donde se tiene un caudal máximo; se utilizó un recipiente de boca ancha para recoger el agua residual en el punto 1 (entrada PTAR) como se puede observar en la figura 13. Además, según la norma NTE INEN 2176:2013 el agua residual recolectada debe ser almacenada en botellas de plástico o de vidrio como se puede apreciar en la figura 14; el tipo de material del recipiente para las muestras depende del parámetro que se quiera analizar. [38]

Figura 13. Muestreo del agua residual al ingreso de la PTAR



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Figura 14. Muestreo del agua residual a la salida de la PTAR



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Posteriormente se rotularon las botellas llenas como se puede notar en la figura 15, de este modo las muestras fueron conservadas en un envase térmico para poder refrigerarlas y transportarlas al laboratorio como lo establece la norma NTE INEN 2169:2013. [39]

Figura 15. Rotulado y conservación de muestras



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Análisis de las muestras de agua residual

El caudal de aguas residuales que ingresa a la PTAR de la comunidad Zona Libre proviene netamente de uso doméstico y con el fin de caracterizar la calidad del agua se realizó un muestreo de la siguiente manera:

- Se tomó una muestra puntual de agua residual al ingreso de la PTAR a las 12:00 del día miércoles 7 de abril de 2021, ya que en este horario existe el mayor ingreso de caudal a la planta.
- Se tomó una muestra puntual de agua residual a la salida de la PTAR a las 13:00 del día miércoles 7 de abril de 2021, ya que a esta hora se obtiene un caudal de salida mayor.

Todas las muestras tomadas se realizaron de acuerdo a la norma NTE INEN 2176, además fueron conservadas y transportadas según la norma NTE INEN 2169, posteriormente fueron llevadas al Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo para realizar los diferentes análisis físicos, químicos del agua residual cruda y tratada. Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 3.

3.1.2. Comparación de los resultados obtenidos con el TULSMA 2015

En la Tabla 8 se presenta la comparación realizada entre los resultados obtenidos en el laboratorio y los valores límites para la descarga a un cuerpo de agua dulce que se encuentra en la norma “TULSMA, Libro VI, Anexo 1 – Tabla 9”.

Tabla 8. Resultado comparativo de las muestras analizadas con el TULSMA

Parámetro	U	Método	Entrada (Afluente)	Salida (Efluente)	TULSMA Límite Máx.	Cumple
pH	-	PE-LSA-01	7.02	7.22	6 - 9	SI
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D	423	421	200	NO
DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	207	203	100	NO
Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	55.71	66	30	NO
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH3 B&C	7.82	5.76	30	SI
Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B	12.10	8.92	50	SI
Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	4.70	5.40	10	SI
Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 25040 - D	186	181	130	NO

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

El método para determinar la eficiencia de la PTAR en general (afluente y efluente), se realizó en función del cálculo del porcentaje de la eficiencia de remoción de los diferentes parámetros físicos y químicos analizados, para ello se usó la ecuación 1.

$$E = \frac{Co - Cf}{Co} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

E: Eficiencia con respecto a cada parámetro

Co: Valor inicial del parámetro (mg/l)

Cf: Valor final del parámetro (mg/l)

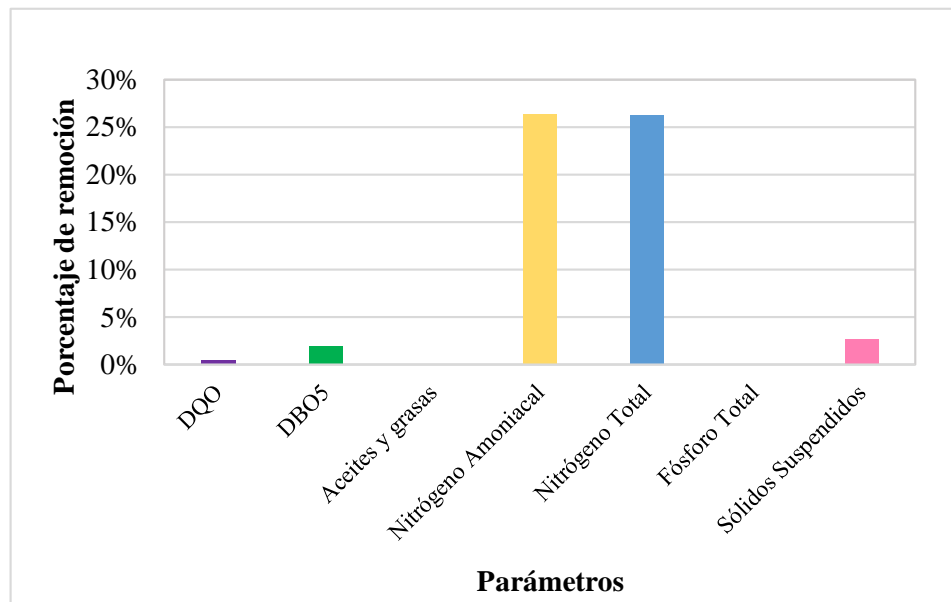
En la Tabla 9 se muestran los diferentes porcentajes de eficiencia de remoción de los parámetros físicos y químicos de la PTAR ubicada en la comunidad Zona Libre; de la misma forma se elaboró un diagrama de barras con los resultados obtenidos que se puede apreciar en la Figura 16.

Tabla 9. Porcentaje de eficiencia de remoción de los parámetros físicos y químicos de la PTAR

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida	% Eficiencia de remoción
pH	-	7.02	7.22	-
DQO	mg/l	423	421	0.47
DBO5	mg O2/l	207	203	1.93
Aceites y grasas	mg/l	55.71	66	0.00
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	7.82	5.76	26.34
Nitrógeno Total	mg/l	12.10	8.92	26.28
Fósforo Total	mg/l	4.70	5.40	0.00
Sólidos Suspendidos	mg/l	186	181	2.69

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Figura 16. Porcentaje de remoción de la PTAR Zona Libre



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

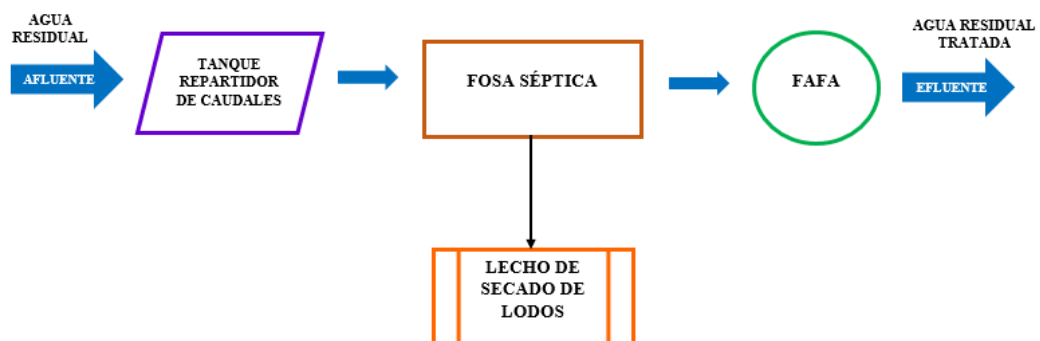
El análisis de los resultados muestra que los valores de DBO5, DQO, sólidos suspendidos, aceites y grasas se encuentran fuera del rango límite de descarga establecido en la norma TULSMA. De la misma forma se logra observar en la Figura 16 que existen dos parámetros que no se están removiendo de las aguas residuales, lo que indica que el funcionamiento de la PTAR de la comunidad Zona Libre es deficiente, por lo que es necesario una evaluación completa de todas las estructuras hidráulicas que se encuentran funcionando actualmente.

3.2. Evaluación de la PTAR de la comunidad Zona Libre

3.2.1. Diagnostico Técnico

Una vez recopilada toda la información, planos, características del afluente y efluente, se procede a evaluar el estado actual de las obras hidráulicas que forman parte del tren de tratamiento de la planta como: un tanque repartidor de caudales, fosa séptica, filtro anaerobio de flujo ascendente y lecho de secado de lodos. En la figura 17 se logra apreciar cada una de las estructuras del sistema.

Figura 17. Diagrama de Flujo de la PTAR



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

3.2.2. Dimensiones de la planta de tratamiento de aguas residuales

3.2.2.1. Tanque repartidor de caudales

Es una estructura de hormigón armado, donde ingresa el caudal de aguas residuales provenientes de la red de alcantarillado de la comunidad Zona Libre por medio de una

tubería PVC corrugada de 200 mm de diámetro. En la parte interior se encuentran dos tuberías PVC de 160 mm de diámetro, una que sirven para el desagüe hacia la fosa séptica y la otra se dirige a una caja de revisión (By Pass). Las medidas del tanque se presentan en la Tabla 10.

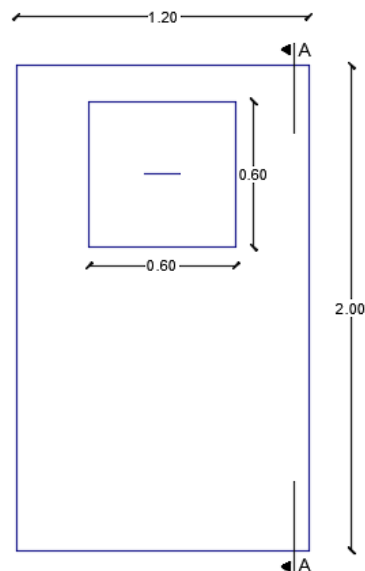
Tabla 10. Dimensiones del tanque repartidor de caudales

Parámetro	Valor	Unidad
Largo	2.00	m
Ancho	1.20	m
Altura 1	1.20	m
Altura 2	1.50	m
Espesor de pared	0.15	m

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

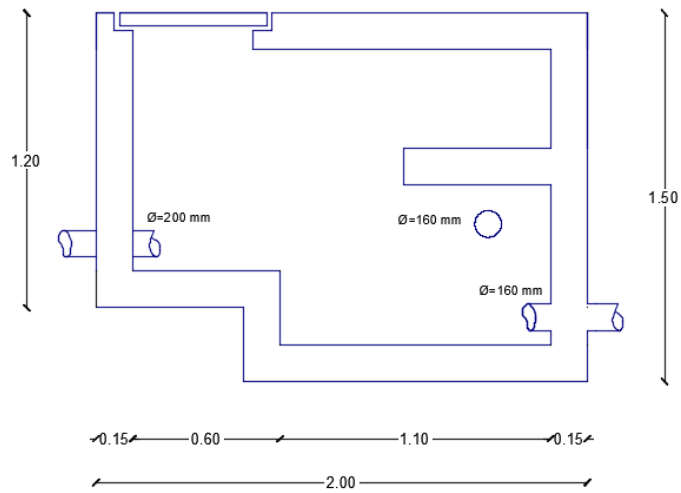
De la misma forma, como se puede observar a continuación se realizó el diseño, detallando las dimensiones en una vista en planta y la sección longitudinal del tanque repartidor correspondiente a la figura 18 y figura 19 respectivamente.

Figura 18. Vista en planta del tanque repartidor



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Figura 19. Vista del corte longitudinal del tanque repartidor



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

3.2.2.2. Fosa séptica

Es una estructura de hormigón armado, consta de dos cajas de revisión, dos compartimentos y tres ductos de ventilación. Recibe el agua del tanque repartidor a través de una tubería PVC de 160 mm de diámetro y se conecta al filtro anaerobio de flujo ascendente por medio de una tubería de la misma dimensión. Además, para desechar los lodos generados en el interior de la fosa séptica existen dos tuberías PVC de 160 mm de diámetro que conectan con las válvulas de compuerta que permiten el paso hacia el lecho de secado de lodos.

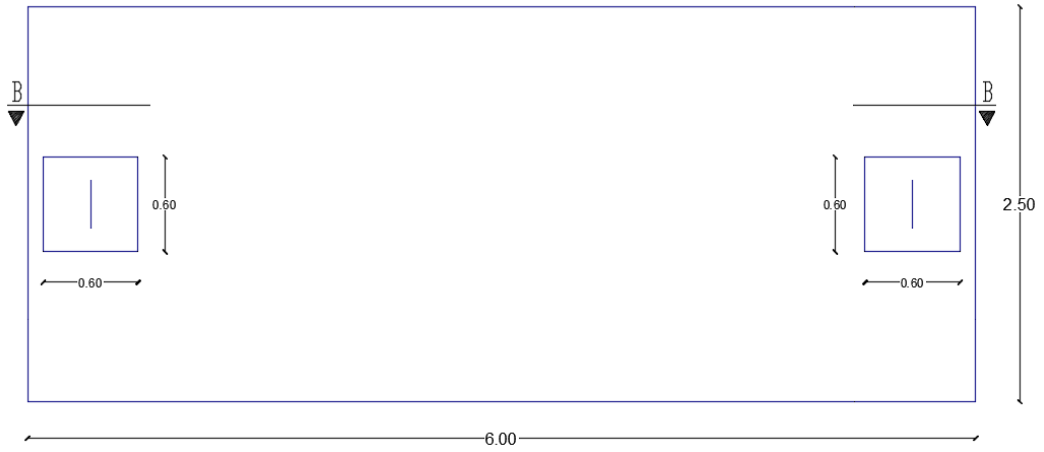
En la Tabla 11 se muestran las dimensiones generales de la fosa séptica mientras que en la figura 20 y 21, se puede observar un diseño más detallado.

Tabla 11. Dimensiones de la fosa séptica

Parámetro	Valor	Unidad
Largo	6.00	m
Ancho	2.50	m
Altura	2.20	m
Espesor de pared	0.20	m

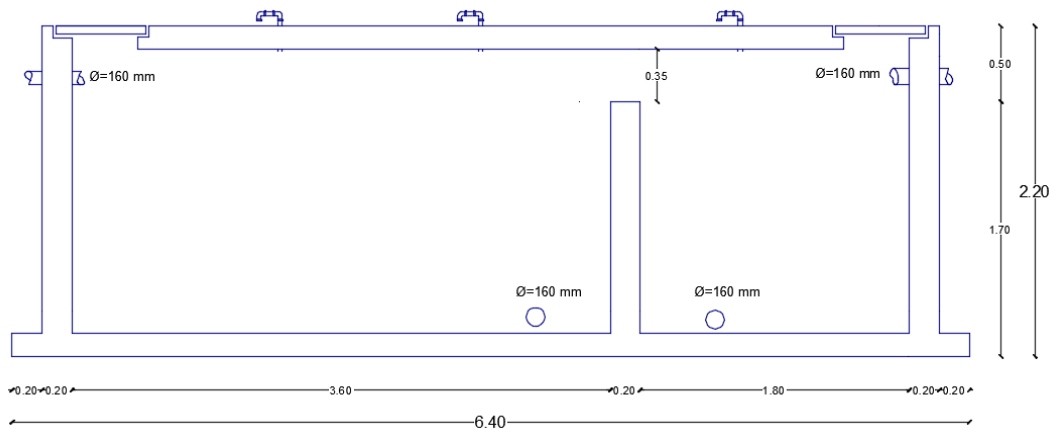
Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Figura 20. Vista en planta de la fosa séptica



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Figura 21. Vista del corte longitudinal de la fosa séptica



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

3.2.2.3. Lecho de secado de lodos

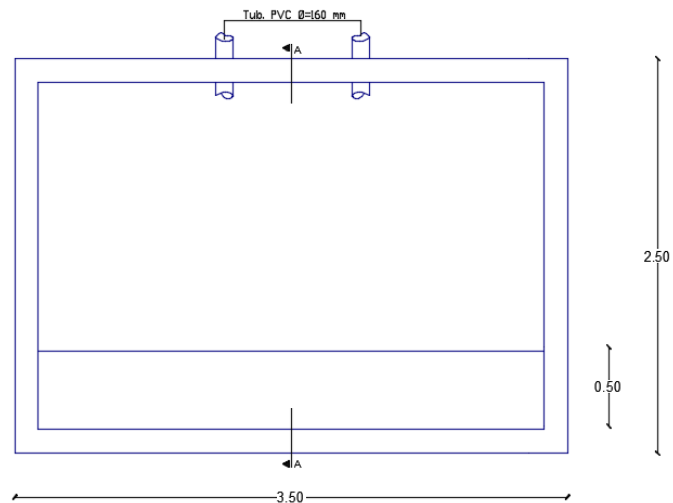
Es una estructura de hormigón armado con una pendiente en su piso de aproximadamente 10%, en la parte interna existen dos tuberías que provienen de la fosa séptica y una tubería de desagüe PVC de 160 mm de diámetro como se observa en la figura 22 y 23, de igual forma las dimensiones del lecho se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Dimensiones del lecho de secado de lodos

Parámetro	Valor	Unidad
Largo	3.50	m
Ancho	2.50	m
Altura 1	1.50	m
Altura 2	2.00	m
Espesor de pared	0.15	m

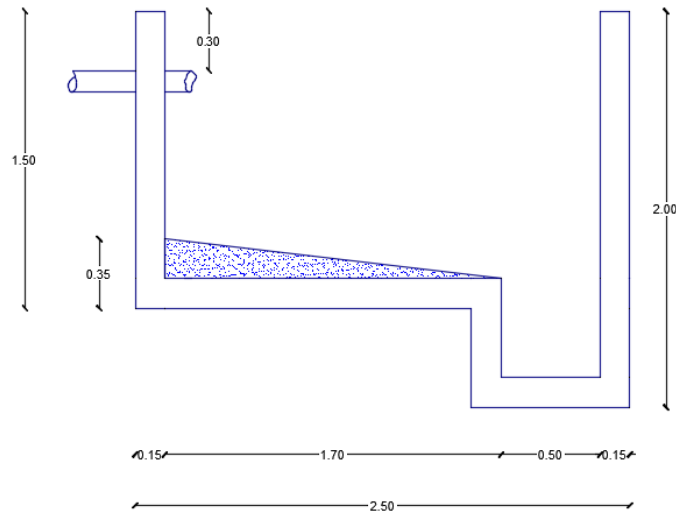
Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Figura 22. Vista en planta del lecho de secado de lodos



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Figura 23. Vista del corte transversal del lecho de secado de lodos



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

3.2.2.4. Filtro anaerobio de flujo ascendente

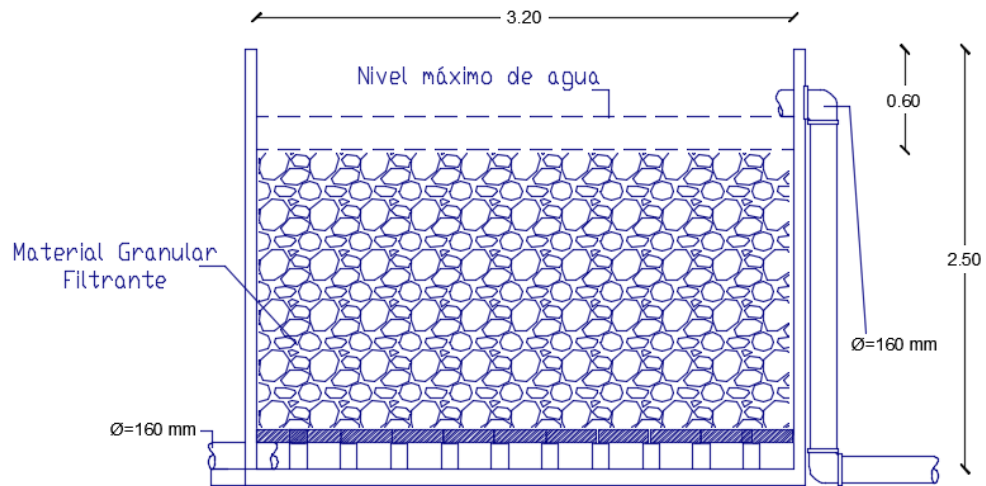
Es una estructura de hormigón armado de forma cilíndrica, donde se receipta el agua proveniente de la fosa séptica. En su interior existe piedras que cumplen la función de material granular filtrante, también las tuberías de entrada y salida son de PVC con un diámetro 160 mm cada una. En la Tabla 13 se pueden encontrar las principales dimensiones del filtro y para un mejor detalle se presenta la figura 24.

Tabla 13. Dimensiones del filtro anaerobio de flujo ascendente

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro	3.20	m
Altura	2.50	m
Espesor de pared	0.10	m
Altura material filtrante	1.65	m

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Figura 24. Vista del corte transversal del FAFA



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

3.2.3. Verificación del funcionamiento de la PTAR

3.2.3.1. Diagnóstico del tanque repartidor de caudales

En el diseño inicial del tanque repartidor se encontraba una rejilla ubicada en la parte inferior interna que evitaba el pasó de sólidos grandes, pero con el paso de los años fue retirada. Actualmente esta estructura no cumple con ninguna función para el tratamiento del agua residual, por tal motivo en este proyecto es considerado únicamente como un pozo de entrada que permite el paso del afluente hacia la fosa séptica.

3.2.3.2. Diagnóstico de la fosa séptica

La valoración del funcionamiento de la fosa séptica se lo realizó de acuerdo al manual de la Organización Panamericana de la Salud [40], asimismo, todos los datos necesarios para el cálculo se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Datos del análisis de la fosa séptica

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Población	P	295	hab
Caudal de aguas residuales	Q	222	l/hab*día
Volumen de lodos producidos por hab/año	G	50	l/hab*año
Intervalo de operación de remoción de lodos	N	1	año

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

- Periodo de retención hidráulica

$$PR = 1.5 - 0.3\text{Log}(P * Q)$$

$$PR = 1.5 - 0.3\text{Log}\left(295 \text{ hab} * 222 \frac{\text{l}}{\text{hab} * \text{día}}\right)$$

$$PR = 0.06 \text{ días}$$

El tiempo de retención hidráulica no deberá ser menor a 6 horas, por lo tanto, se adoptará el valor mínimo

$$PR = 6 \text{ horas} = 0.25 \text{ días}$$

- Volumen requerido para la sedimentación

$$V_s = \frac{P * Q * PR}{1000}$$

$$V_s = \frac{295 \text{ hab} * 222 \frac{\text{l}}{\text{hab} * \text{día}} * 0.25 \text{ días}}{1000}$$

$$V_s = 16.35 \text{ m}^3$$

- Volumen de digestión y almacenamiento

$$V_d = \frac{G * P * N}{1000}$$

$$V_d = \frac{50 \frac{\text{l}}{\text{hab} * \text{año}} * 295 \text{ hab} * 1 \text{ año}}{1000}$$

$$V_d = 14.75 \text{ m}^3$$

- Volumen de natas

El volumen mínimo es de 0.70 m³

$$V_n = 0.70 \text{ m}^3$$

- Volumen total de la fosa séptica

$$V_t = V_s + V_d + V_n$$

$$V_t = 16.35 \text{ m}^3 + 14.75 \text{ m}^3 + 0.70 \text{ m}^3$$

$$V_t = 31.80 \text{ m}^3$$

El volumen actual de 33 m³ es mayor que el volumen calculado de 31.80 m³, es decir que las dimensiones de la fosa séptica son adecuadas para la remoción de contaminantes del agua residual. Sin embargo, la estructura en la actualidad se encuentra en mal estado por la falta de mantenimiento dentro y fuera de la misma.

3.2.3.3. Diagnóstico del lecho de secado de lodos

De la misma forma esta estructura fue evaluada de acuerdo al manual de la OPS [40], para ello se necesitan los datos que se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Datos del análisis del lecho de secado de lodos

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal de diseño	Q	0.757	l/seg
Sólidos suspendidos en el agua residual cruda	SS	186	mg/l
Densidad de lodos	ρ_{lodo}	1.04	kg/l
Porcentaje de sólidos	% sólidos	10	%
Tiempo de digestión	Td	55	días
Profundidad de aplicación	Ha	0.4	m

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

- Carga de sólidos que ingresa al sedimentador

$$C = Q * SS * 0.0864$$

$$C = 0.757 \frac{l}{seg} * 186 \frac{mg}{l} * 0.0864$$

$$C = 12.17 \text{ kg de SS/día}$$

- Masa de sólidos que conforman los lodos

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * 12.17 \text{ kg SS/día}) + (0.5 * 0.3 * 12.17 \text{ kg SS/día})$$

$$Msd = 3.95 \text{ kg SS/día}$$

- Volumen diario de lodos digeridos

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * (\% \text{ de sólidos}/100)}$$

$$Vld = \frac{3.95 \text{ kg SS/día}}{1.04 \text{ kg/l} * (10/100)}$$

$$Vld = 38.02 \text{ l/día}$$

- Volumen de lodos a extraerse del tanque

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

$$Vel = \frac{38.02 \text{ l/día} * 55 \text{ días}}{1000}$$

$$Vel = 2.09 \text{ m}^3$$

- Área del lecho de secado de lodos

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

$$Als = \frac{2.09 \text{ m}^3}{0.4 \text{ m}}$$

$$Als = 5.23 \text{ m}^2$$

El área actual del lecho de secado de lodos de 8.75 m² es mayor al área calculada de 5.23 m², lo que indica que las dimensiones son las adecuadas. Sin embargo, la estructura no cuenta con los componentes necesarios para un correcto tratamiento, ya que en la parte inferior no existe material filtrante o alguna tubería perforada que drene el agua contenida en los lodos.

3.2.3.4. Diagnóstico del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Para el análisis del FAFA se utilizó el manual de la Comisión Nacional del Agua [41]. Primero se calcula los valores teóricos adecuados para el filtro, para ello es necesario los datos expuestos en la Tabla 16.

Tabla 16. Datos del análisis del FAFA

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal promedio	Q	65.40	m ³ /día
Carga Hidráulica Superficial	CHS	10	m ³ /m ² día
Carga Orgánica Volumétrica	COV	0.75	kg DBO/m ³ día
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	So	207	mg/l
Longitud del borde libre	b	0.5	m
Longitud del bajo dren	d	0.5	m

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Cálculos de las dimensiones teóricas del FAFA

- Área teórica del FAFA

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

$$A = \frac{65.40 \text{ m}^3/\text{día}}{10 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}}$$

$$A = 6.54 \text{ m}^2$$

- Volumen del medio filtrante

$$V_{mf} = \frac{Q * S_o}{COV}$$

$$V_{mf} = \frac{65.40 \frac{m^3}{día} * 0.207 \frac{kg \text{ DBO}}{m^3}}{0.75 \frac{kg \text{ DBO}}{m^3 * día}}$$

$$V_{mf} = 18.05 m^3$$

- Altura del medio filtrante

$$h_m = \frac{V_{mf}}{A}$$

$$h_m = \frac{18.05 m^3}{6.54 m^2}$$

$$h_m = 2.76 m$$

- Altura total del filtro

$$H = h_m + b + d$$

$$H = 2.76 m + 0.50 m + 0.50 m$$

$$H = 3.76 m$$

- Volumen total del filtro

$$V_t = A * H$$

$$V_t = 6.54 m^2 * 3.76 m$$

$$V_t = 24.59 m^3$$

- Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{V_{mf}}{Q}$$

$$TRH = \frac{18.05 m^3}{65.40 m^3/día}$$

$$TRH = 0.28 día$$

$$TRH = 6.72 h$$

- Revisión de la Carga Orgánica Volumétrica (COV)

$$\text{COVt} = \frac{Q * S_o}{V_t}$$

$$\text{COVt} = \frac{65.40 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0.207 \frac{\text{kg DBO}}{\text{m}^3}}{24.59 \text{ m}^3}$$

$$\text{COVt} = 0.55 \frac{\text{kg DBO}}{\text{m}^3 * \text{día}}$$

- Eficiencia esperada

$$E = 100[1 - 0.87(\text{TRH})^{-0.5}]$$

$$E = 100[1 - 0.87(6.72 \text{ h})^{-0.5}]$$

$$E = 66.44 \%$$

- Concentración de DBO esperada en el efluente

$$\text{DBO}_{\text{ef}} = S_o - \frac{E(S_o)}{100}$$

$$\text{DBO}_{\text{ef}} = 207 \text{ mg/l} - \frac{66.44 (207)}{100}$$

$$\text{DBO}_{\text{ef}} = 69.47 \text{ mg/l}$$

A continuación, se calcula las medidas y datos reales del filtro anaerobio de flujo ascendente de la actual PTAR de la comunidad Zona Libre; los datos necesarios se observan en la Tabla 17.

Tabla 17. Datos reales del FAFA

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro del filtro	D	3.20	m
Altura del filtro	H	2.50	m
Longitud del borde libre	B	0.60	m
Longitud del bajo dren	D	0.25	m
Caudal promedio	Q	65.40	m ³ /día
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	S _o	207	mg/l

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Cálculos de las dimensiones reales del FAFA

- Área real del filtro

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$
$$A = \frac{\pi * (3.20 \text{ m})^2}{4}$$
$$A = 8.04 \text{ m}^2$$

- Altura del medio filtrante

$$hm = H - b - d$$
$$hm = 2.50\text{m} - 0.60\text{m} - 0.25\text{m}$$
$$hm = 1.65 \text{ m}$$

- Volumen del medio filtrante

$$V_{mf} = hm * A$$
$$V_{mf} = 1.75 \text{ m} * 8.04 \text{ m}^2$$
$$V_{mf} = 13.27 \text{ m}^3$$

- Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{V_{mf}}{Q}$$
$$TRH = \frac{13.27 \text{ m}^3}{65.40 \text{ m}^3/\text{día}}$$
$$TRH = 0.20 \text{ día}$$
$$TRH = 4.80 \text{ h}$$

- Eficiencia esperada

$$E = 100[1 - 0.87(TRH)^{-0.5}]$$
$$E = 100[1 - 0.87(4.80 \text{ h})^{-0.5}]$$
$$E = 60.29 \%$$

- Concentración de DBO esperada en el efluente

$$DBO_{ef} = S_o - \frac{E(S_o)}{100}$$

$$DBO_{ef} = 207 \text{ mg/l} - \frac{60.29 (207)}{100}$$

$$DBO_{ef} = 82.20 \text{ mg/l}$$

Por último, en la Tabla 18 se muestra un cuadro resumen de todos los valores calculados teóricos y reales para un mejor análisis del filtro anaerobio de flujo ascendente.

Tabla 18. Cuadro resumen valores calculados FAFA

Parámetros	Unidad	Valor calculado	Valor real
Área del filtro	m ²	6.54	8.04
Altura total del filtro	m ²	3.76	2.50
Volumen total del filtro	m ³	24.59	20.11
Altura del medio filtrante	m	2.76	1.65
Volumen del medio filtrante	m ³	18.05	13.27
Tiempo de retención hidráulica	h	6.72	4.80

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

Se puede concluir que el filtro no cumple con el diseño (dimensiones) del manual mexicano ya que los valores del área y volumen reales son menores a los calculados, también se tiene un valor menor en el tiempo de retención hidráulica, lo que genera que el agua residual no sea depurada apropiadamente. Por estos motivos y por la falta de mantenimiento, hoy en día el filtro no realiza una correcta desinfección del agua residual.

3.3. Verificación de hipótesis

Actualmente la PTAR de la comunidad Zona Libre se encuentra funcionando y recibe únicamente aguas domésticas, sin embargo, no se logra eliminar o disminuir los contaminantes presentes en el agua residual, esto se puede corroborar con los datos expuestos en la Tabla 8 donde se observa que DBO, DQO, Sólidos suspendidos, Aceites y grasas no cumplen con el valor límite permisible por la norma TULSMA para descargas a cuerpos de agua dulce.

Además, se realizó una evaluación a todas las estructuras que forman parte del tren de tratamiento, donde se verificó que el FAFA no cuenta con el volumen suficiente para un adecuado tratamiento del agua residual, los resultados de cada unidad se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Cuadro comparativo entre medidas tomadas in situ y las medidas calculadas

UNIDAD	MEDIDAS TOMADAS IN SITU	MEDIDAS CALCULADAS	OBSERVACIÓN
Fosa Séptica	Largo: 6.00 m Ancho: 2.50 m Altura: 2.20 m Volumen: 33.00 m ³	Largo: 5.80 m Ancho: 2.50 m Altura: 2.20 m Volumen: 31.90 m ³	Las dimensiones actuales cumplen con la guía para diseños de tanques sépticos de la OPS.
Lecho de secado de lodos	Largo: 3.50 m Ancho: 2.50 m Profundidad útil: 0.40 m Volumen: 3.50 m ³	Largo: 2.60 m Ancho: 2.00 m Profundidad útil: 0.40 m Volumen: 2.10 m ³	Las dimensiones actuales cumplen con la guía de la OPS.
Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	Diámetro: 3.20 m Altura: 2.50 m Volumen: 20.11 m ³	Diámetro: 2.90 m Altura: 3.75 m Volumen: 24.77 m ³	Las dimensiones actuales NO cumplen con las especificaciones del manual de la CONAGUA.

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

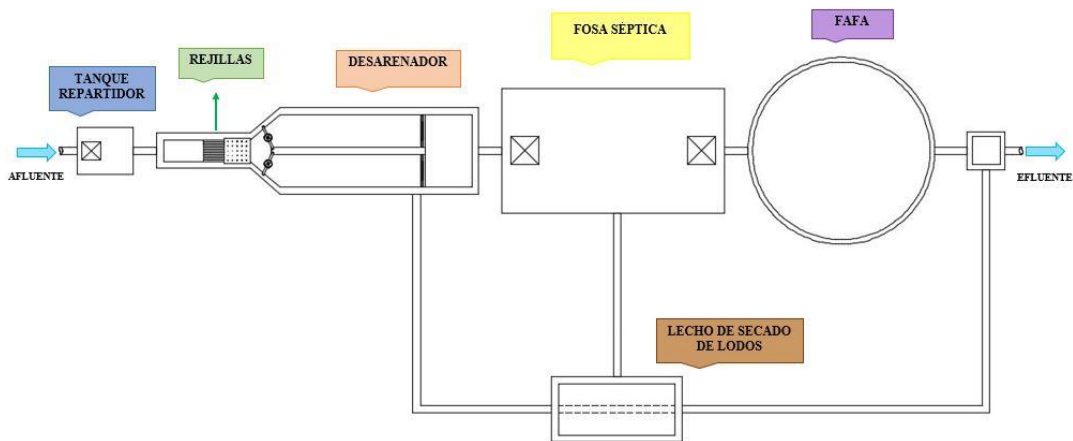
Una vez analizado el efluente y valorado el estado actual del tren de tratamiento se comprueba la hipótesis de trabajo, la cual señala que la PTAR de la comunidad Zona Libre no se encuentra trabajando de manera correcta.

3.4. Propuesta de mejora

Una vez evaluada cada una de las unidades de la PTAR y en base al análisis de las características del afluente, se procede a elegir el tren de tratamiento más idóneo para la correcta remoción de los contaminantes presentes en el agua residual, en especial de aquellos parámetros que no cumplen con la normativa vigente.

El proceso de tratamiento propuesto para un mejor funcionamiento de la planta consta de un canal de entrada, rejillas, un desarenador, una fosa séptica de doble cámara, un lecho de secado de lodos y un filtro anaerobio de flujo ascendente. En la figura 25 se presenta el esquema del nuevo diseño propuesto.

Figura 25. Propuesta de diseño para la planta de tratamiento de aguas residuales



Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

3.4.1. Parámetros de Diseño

3.4.1.1. Población de Diseño

Para determinar la población de diseño es necesario realizar una proyección de la población actual, para ello se calcula la tasa de crecimiento según los últimos censos registrados en el INEC del cantón Quero, parroquia La Matriz, datos que se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Población INEC

Año Censal	Población (habitantes)
1990	11956
2001	13611
2010	14254

Fuente: INEC [42]

3.4.1.1.1. Tasa de crecimiento poblacional

La tasa de crecimiento poblacional se puede establecer mediante los siguientes tres métodos:

➤ Método Aritmético o Lineal

Para emplear este método se utiliza los datos de la Tabla 20 y la siguiente ecuación:

$$r = \left(\frac{\frac{P_f}{P_i} - 1}{t} \right) * 100$$

Donde:

r: Tasa de crecimiento poblacional (%)

Pf: Población final (años)

Pi: Población inicial (años)

t: Período poblacional (años)

Entonces:

$$r_1 = \left(\frac{\frac{13611}{11956} - 1}{11} \right) * 100$$
$$r_1 = 1.26 \%$$

$$r_2 = \left(\frac{\frac{14254}{13611} - 1}{9} \right) * 100$$

$$r_2 = 0.52 \%$$

Promedio de la tasa de crecimiento:

$$r = \frac{1.26\% + 0.52\%}{2}$$

$$r = \mathbf{0.89 \%$$

➤ **Método Geométrico**

$$r = \left[\left(\frac{Pf}{Pi} \right)^{1/t} - 1 \right] * 100$$

Reemplazando valores:

$$r_1 = \left[\left(\frac{13611}{11956} \right)^{1/11} - 1 \right] * 100$$

$$r_1 = 1.19 \%$$

$$r_2 = \left[\left(\frac{14254}{13611} \right)^{1/9} - 1 \right] * 100$$

$$r_2 = 0.51 \%$$

Promedio de la tasa de crecimiento:

$$r = \frac{1.19\% + 0.51\%}{2}$$

$$\mathbf{r = 0.85 \%}$$

➤ **Método Exponencial**

$$r = \left(\frac{\ln \frac{Pf}{Pi}}{t} \right) * 100$$

Reemplazando valores:

$$r_1 = \left(\frac{\ln \frac{13611}{11956}}{11} \right) * 100$$

$$r_1 = 1.18 \%$$

$$r_2 = \left(\frac{\ln \frac{14254}{13611}}{9} \right) * 100$$

$$r_2 = 0.51 \%$$

Promedio de la tasa de crecimiento:

$$r = \frac{1.18\% + 0.51\%}{2}$$

$$\mathbf{r = 0.85 \%}$$

Luego del análisis de la tasa de crecimiento poblacional por los diferentes métodos se obtuvieron valores menores al 1%, por lo tanto, se considera un valor de 1% según la Norma CO 10.7 – 602. [43]

$$r = 1\%$$

3.4.1.1.2. Población actual

La población actual es de 295 habitantes, información que fue proporcionada por la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado de la comunidad Zona Libre.

3.4.1.1.3. Población futura

Con el dato de la población actual $P_a=295$ habitantes y la tasa de crecimiento $r=1\%$, se realizará el cálculo de la población futura para un periodo de diseño de 20 años, mediante los siguientes métodos:

- **Método Aritmético**

$$P_f = P_a (1 + r * n)$$

Donde:

Pf: Población futura (hab)

Pa: Población actual (hab)

r: Tasa de crecimiento poblacional

n: Periodo de diseño (años)

Entonces:

$$P_f = 295 (1 + 0.01 * 20)$$

$$P_f = 354 \text{ hab}$$

- **Método Geométrico**

$$Pf = Pa (1 + r)^n$$

$$Pf = 295 (1 + 0.01)^{20}$$

$$\mathbf{Pf = 360 \text{ hab}}$$

- **Método Exponencial**

$$Pf = Pa * e^{r*n}$$

$$Pf = 295 * e^{0.01*20}$$

$$\mathbf{Pf = 360 \text{ hab}}$$

Población futura: 360 habitantes

3.4.1.2. Dotación de Agua Potable

3.4.1.2.1. Dotación actual

De acuerdo a la Norma CO 10.7 – 602 se puede establecer que para un nivel de servicio IIb y a si mismo considerando el clima de la zona que es frío; la dotación actual será de 75 (l/hab*día).

$$Da = 75 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}}$$

3.4.1.2.2. Dotación futura

Al igual que la población aumenta con el paso de los años, se considera que el consumo de agua potable también aumenta, por esta razón se asumirá un incremento de 1 (l/hab*día) por cada año. Por lo que:

$$Df = Da + 1 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}} * n$$

Donde:

Df: Dotación futura (l/hab*día)

Da: Dotación actual (l/hab*día)

n: Período de diseño (años)

$$Df = 75 + 1 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}} * 20$$

$$Df = 95 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}}$$

3.4.1.3. Caudales de diseño

Los diferentes caudales necesarios para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales serán determinados en base al RAS – 200, en el capítulo D.3 y la Norma Boliviana NB 688. [44] [45]

3.4.1.3.1. Caudal medio diario sanitario

Es el agua utilizada en las actividades domésticas, que es desechada y conducida a la red de alcantarillado; se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Qmd = \frac{Pf * Df}{86400} * C$$

Donde:

Qmd: Caudal medio diario (l/seg)

Pf: Población futura (hab)

Df: Dotación futura (l/hab*día)

C: Coeficiente de retorno (0.7 – 0.8)

Entonces:

$$Q_{md} = \frac{360 \text{ hab} * 95 \frac{\text{l}}{\text{hab} * \text{día}}}{86400} * 0.8$$

$$Q_{md} = 0.32 \text{ l/seg}$$

3.4.1.3.2. Caudal máximo horario

Es el caudal máximo de agua residual que se produce únicamente en las horas pico y se estima a partir del caudal medio diario afectado por un factor de mayoración, como se indica en la siguiente ecuación:

$$Q_{mh} = Q_{md} * M$$

Donde:

Q_{mh}: Caudal máximo horario (l/seg)

Q_{md}: Caudal medio diario (l/seg)

M: Factor de mayoración

Para este proyecto el factor de mayoración se determinará mediante la fórmula de Flores:

$$M = \frac{3.5}{P^{0.1}}$$

Donde:

M: Factor de mayoración

P: Población en miles

$$M = \frac{3.5}{0.36^{0.1}}$$

$$M = 3.8$$

Entonces:

$$Q_{mh} = 0.32 \text{ l/seg} * 3.8$$

$$Q_{mh} = 1.22 \text{ l/seg}$$

3.4.1.3.3. Caudal por infiltración

Este caudal como su nombre lo dice está dado por la infiltración de aguas subterráneas a la red de alcantarillado a través de alguna fisura en la tubería.

$$Q_{inf} = I * L$$

Donde:

Q_{inf}: Caudal por infiltración

I: Valor de infiltración referencial (l/seg*m)

L: Longitud de la tubería (m)

$$Q_{inf} = 0.0001 \frac{l}{\text{seg} * m} * 1942 \text{ m}$$

$$Q_{inf} = 0.19 \text{ l/seg}$$

3.4.1.3.4. Caudal por conexiones erradas

De la misma manera la norma indica que se debe considerar los aportes de aguas lluvias domiciliarias a la red de alcantarillado, provenientes de malas conexiones.

$$Q_{ce} = (5\% - 10\%) * Q_{mh}$$

Donde:

Q_{ce}: Caudal por conexiones erradas

Q_{mh}: Caudal máximo horario

$$Q_{ce} = 0.10 * 1.22 \text{ l/seg}$$

$$Q_{ce} = 0.12 \text{ l/seg}$$

3.4.1.3.5. Caudal de diseño

$$Q_d = Q_{mh} + Q_{inf} + Q_{ce}$$

$$Q_d = (1.22 + 0.19 + 0.12) \text{ l/seg}$$

$$Q_d = 1.53 \text{ l/seg}$$

3.4.2. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales

3.4.2.1. Canal de Entrada

Para el diseño de esta estructura se tomó como referencia el estudio realizado en el cantón Guaranda. [46]

El canal de entrada será de hormigón simple con una sección rectangular, y se lo calculará de acuerdo a los datos presentados en la Tabla 21.

Tabla 21. Datos para el diseño del canal de entrada

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal de diseño	Q	0.00153	m ³ /seg
Coefficiente de rugosidad	N	0.014	
Base del canal	B	0.40	m
Pendiente del canal	S	0.005	

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

- Cálculo del tirante de agua

Para el cálculo del tirante del agua se usa la ecuación de Manning.

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

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

Área:

$$A = b * h$$

Radio hidráulico:

$$R_h = \frac{b * h}{2(b + h)}$$

Sustituyendo el área y el radio hidráulico en la ecuación de Manning:

$$\frac{Q * n}{S^{1/2}} = (b * h) * \left[\frac{b * h}{2(b + h)} \right]^{2/3}$$

$$\frac{0.00153 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.014}{(0.005)^{1/2}} = (0.4 \text{ m} * h) * \left[\frac{0.4 \text{ m} * h}{2(0.4 \text{ m} + h)} \right]^{2/3}$$

$$h = 0.02 \text{ m}$$

Se recomienda utilizar una altura de seguridad $\geq 0.4 \text{ m}$ [47], por lo tanto se asume un valor de **h = 0.45 m**.

3.4.2.2. Diseño de Rejillas

La limpieza será manual, por lo que la rejilla contará con barras de 14 mm y una separación entre ellas de 25 mm, dato tomado de la Norma CO 10.07 – 601. [47]

- Número de barras

$$N = \frac{b + e}{\emptyset + e}$$

Donde:

N: Número de barras

b: Ancho del canal de entrada (mm)

∅: Diámetro de barras (mm)

e: Espaciamiento asumido entre barras (mm)

Entonces:

$$N = \frac{400 \text{ mm} + 25 \text{ mm}}{14 \text{ mm} + 25 \text{ mm}}$$

$$N = 11 \text{ barrotes}$$

3.4.2.3. Diseño del Desarenador

Para el diseño de esta estructura se lo realizó en base al manual de la OPS [48].

También, como referencia el estudio realizado en el cantón Guaranda. [46]

En la Tabla 22 se muestran los datos necesarios para los cálculos.

Tabla 22. Datos para el diseño del desarenador

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Aceleración de la gravedad	g	981	cm/seg ²
Densidad de la arena	ρ _s	2.65	g/cm ³
Temperatura del agua	T	15	°C
Viscosidad cinemática del agua	η	0.011457	cm ² /seg
Diámetro de las partículas	d	0.02	cm
Caudal de diseño	Q _d	1.53	l/seg

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino

- Velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_s - 1}{\eta} \right) d^2$$

$$V_s = \frac{1}{18} * 981 \text{ cm/seg}^2 * \left(\frac{2.65 - 1}{0.011457 \text{ cm}^2/\text{seg}} \right) * (0.02 \text{ cm})^2$$

$$V_s = 3.14 \text{ cm/seg}$$

- Comprobar el número de Reynolds

$$Re = \frac{V_s * d}{\eta}$$

$$Re = \frac{3.14 \frac{\text{cm}}{\text{seg}} * 0.02 \text{ cm}}{0.011457 \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}}}$$

$$Re = 5.48$$

Como el número de Reynolds es mayor a 0.5, no cumple para la aplicación de la Ley de Stokes; por lo tanto, se realiza un reajuste al valor de la velocidad de sedimentación (V_s).

- Término del diámetro:

$$\left[\frac{g(\rho_s - 1)}{\eta^2} \right]^{1/3} d$$

$$\left[\frac{981 \text{ cm/seg}^2 (2.65 - 1)}{(0.011457 \text{ cm}^2/\text{seg})^2} \right]^{1/3} * (0.02 \text{ cm}) = \mathbf{4.62}$$

- Término de la velocidad de sedimentación:

$$\frac{V_s}{[g(\rho_s - 1)\eta]^{1/3}} = 1$$

$$V_s = 1 * [g(\rho_s - 1)]^{1/3}$$

$$V_s = 1 * [981 \text{ cm/seg}^2 * (2.65 - 1) * 0.011457 \text{ cm}^2/\text{seg}]^{1/3}$$

$$V_s = 2.65 \text{ cm/seg}$$

- Comprobación nuevamente del número de Reynolds

$$Re = \frac{V_s * d}{\eta}$$

$$Re = \frac{2.65 \frac{\text{cm}}{\text{seg}} * 0.02 \text{ cm}}{0.011457 \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}}}$$

$$\mathbf{Re = 4.62}$$

Entonces se encuentra en la zona de transición (Ley de Allen).

- Coeficiente de arrastre

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

$$C_D = \frac{24}{4.63} + \frac{3}{\sqrt{4.63}} + 0.34$$

$$\mathbf{C_D = 6.93}$$

Entonces se determina la velocidad de sedimentación en base al coeficiente de arrastre.

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} (\rho_s - 1) * d}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{981 \text{ cm/seg}^2}{6.93} (2.65 - 1) * 0.02 \text{ cm}}$$

$$V_s = 2.50 \text{ cm/seg}$$

$$V_s = 0.025 \text{ m/seg}$$

- Velocidad crítica de arrastre

$$V_d = a * \sqrt{d}$$

El valor del coeficiente “a” se lo realiza en función del diámetro de la partícula, según la Tabla 23.

Tabla 23. Valores del coeficiente “a”

a	Diámetro
36	d > 1 mm
44	1 mm > d > 0.1 mm
51	d < 0.1 mm

Fuente: Texto guía de Obras Hidráulicas Menores, 2004

Reemplazando valores:

$$V_d = 44 * \sqrt{0.2}$$

$$V_d = 19.68 \text{ cm/seg}$$

$$V_d = 0.1968 \text{ m/seg}$$

- Área transversal del desarenador

$$A_{\text{trans}} = \frac{Q_d}{V_d}$$

$$A_{\text{trans}} = \frac{0.00153 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.1968 \text{ m}/\text{seg}}$$

$$A_{\text{trans}} = 0.01 \text{ m}^2$$

- Dimensiones del desarenador

Se adopta una relación ancho – profundidad de 1.5 : 1. [27]

$$B = 1.5 * h$$

Profundidad de la cámara de sedimentación

$$A_{\text{trans}} = B * h$$

$$A_{\text{trans}} = 1.5 * h * h$$

$$h = \sqrt{\frac{A_{\text{trans}}}{1.5}}$$

$$h = \sqrt{\frac{0.01 \text{ m}^2}{1.5}}$$

$$h = 0.08 \text{ m}$$

Se adopta **h = 0.45 m**.

Entonces:

$$B = 1.5 * 0.45 \text{ m}$$

$$\mathbf{B = 0.70 \text{ m}}$$

- Longitud del desarenador

$$L = \frac{Vd * h}{Vs - 0.04 * Vd}$$

$$L = \frac{0.1968 \text{ m/seg} * 0.45 \text{ m}}{0.025 \text{ m/seg} - 0.04 * 0.1968 \text{ m/seg}}$$

$$L = 5.17 \text{ m}$$

$$\mathbf{L = 5.20 \text{ m}}$$

- Longitud de transición

El ángulo de transición recomendado es de $\alpha = 12^\circ 30'$

$$Lt = \frac{B - b}{2 * \tan \alpha}$$

$$Lt = \frac{0.70 \text{ m} - 0.40 \text{ m}}{2 * \tan 12^\circ 30'}$$

$$Lt = 0.68 \text{ m}$$

$$\mathbf{Lt = 0.70 \text{ m}}$$

Condición:

$$Lt < \frac{L}{3}$$

$$0.70 \text{ m} < \frac{5.20 \text{ m}}{3}$$

$$0.70 \text{ m} < 1.73 \text{ m}$$

Si cumple

- Tiempo de retención hidráulica

$$Ts = \frac{h}{Vs}$$

$$Ts = \frac{0.45 \text{ m}}{0.025 \text{ m/seg}}$$

$$Ts = 18 \text{ seg}$$

- Periodo de desplazamiento

$$T_d = \frac{L}{V_d}$$

$$T_d = \frac{5.20 \text{ m}}{0.1968 \text{ m/seg}}$$

$$T_d = 26.42 \text{ seg}$$

Condición:

$$T_d > T_s$$

$$26.42 \text{ seg} > 18 \text{ seg}$$

Si cumple

3.4.2.4. Diseño de la Fosa Séptica

Para el diseño de la fosa séptica se usarán los datos presentados en la Tabla 24 y de acuerdo al manual de la OPS [40].

Tabla 24. Datos para el diseño de la fosa séptica

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Población	P	360	hab
Caudal de aguas residuales	Q	367	l/hab*día
Volumen de lodos producidos por hab/año	G	50	l/hab*año
Intervalo de operación de remoción de lodos	N	1	año

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

- Periodo de retención hidráulica

$$PR = 1.5 - 0.3\text{Log}(P * Q)$$

$$PR = 1.5 - 0.3\text{Log}\left(360 \text{ hab} * 367 \frac{\text{l}}{\text{hab} * \text{día}}\right)$$

$$PR = 0.04 \text{ días}$$

El tiempo de retención hidráulica no deberá ser menor a 6 horas, por lo tanto, se adoptará el valor mínimo

$$PR = 6 \text{ horas} = 0.25 \text{ días}$$

- Volumen requerido para la sedimentación

$$V_s = \frac{P * Q * PR}{1000}$$

$$V_s = \frac{360 \text{ hab} * 367 \frac{\text{l}}{\text{hab} * \text{día}} * 0.25 \text{ días}}{1000}$$

$$V_s = 33.03 \text{ m}^3$$

- Volumen de digestión y almacenamiento

$$V_d = \frac{G * P * N}{1000}$$

$$V_d = \frac{50 \frac{\text{l}}{\text{hab} * \text{año}} * 360 \text{ hab} * 1 \text{ año}}{1000}$$

$$V_d = 18 \text{ m}^3$$

- Volumen de natas

El volumen mínimo es de 0.70 m^3

$$V_n = 0.70 \text{ m}^3$$

- Volumen total de la fosa séptica

$$V_t = V_s + V_d + V_n$$

$$V_t = 33.03 \text{ m}^3 + 18 \text{ m}^3 + 0.70 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{V_t = 51.73 \text{ m}^3}$$

- Dimensiones de la fosa séptica

Área

$$A_t = L * B$$

Donde:

A_t: Área

L: Longitud de la fosa séptica

B: Ancho de la fosa séptica

$$A_t = 3B * B$$

$$A_t = 3B^2$$

Volumen

$$V_t = A_t * h$$

Donde:

h: Altura de la fosa (valor asumido = 2.50 m)

$$V = 3B^2 * h$$

$$B = \sqrt{\frac{V}{3 * h}}$$

$$B = \sqrt{\frac{51.73 \text{ m}^3}{3 * 2.50 \text{ m}}}$$

$$B = 2.63 \text{ m}$$

$$\mathbf{B = 2.65 \text{ m}}$$

Por lo tanto:

$$L = 3 * B$$

$$L = 3 * 2.65 \text{ m}$$

$$\mathbf{L = 7.95 \text{ m}}$$

- Dimensiones de las cámaras

Primera cámara

$$L_1 = \frac{2}{3} * L$$

$$L_1 = \frac{2}{3} * 7.95 \text{ m}$$

$$L_1 = 5.30 \text{ m}$$

Segunda cámara

$$L_2 = \frac{1}{3} * L$$

$$L_2 = \frac{1}{3} * 7.95 \text{ m}$$

$$L_2 = 2.65 \text{ m}$$

- Volumen real de la fosa

$$V_{\text{real}} = L * B * h$$

$$V_{\text{real}} = 7.95 \text{ m} * 2.65 \text{ m} * 2.50 \text{ m}$$

$$V_{\text{real}} = 52.67 \text{ m}^3$$

3.4.2.5. Diseño del Lecho de secado de lodos

Del mismo modo el lecho de secado fue diseñado de acuerdo al manual de la OPS[40].

En la Tabla 25 se presentan los datos necesarios.

Tabla 25. Datos para el diseño del lecho de secado de lodos

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal de diseño	Q	1.53	l/seg
Sólidos suspendidos en el agua residual cruda	SS	186	mg/l
Densidad de lodos	ρ_{lodo}	1.04	kg/l
Porcentaje de sólidos	% sólidos	12	%
Tiempo de digestión	Td	55	días
Profundidad de aplicación	Ha	0.40	m

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

- Carga de sólidos que ingresa al sedimentador

$$C = Q * SS * 0.0864$$

$$C = 1.53 \frac{l}{seg} * 186 \frac{mg}{l} * 0.0864$$

$$C = 24.60 \text{ kg de SS/día}$$

- Masa de sólidos que conforman los lodos

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * 24.60 \text{ kg SS/día}) + (0.5 * 0.3 * 24.60 \text{ kg SS/día})$$

$$Msd = 8 \text{ kg SS/día}$$

- Volumen diario de lodos digeridos

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * (\% \text{ de sólidos}/100)}$$

$$Vld = \frac{8 \text{ kg SS/día}}{1.04 \text{ kg/l} * (12/100)}$$

$$Vld = 64.10 \text{ l/día}$$

- Volumen de lodos a extraerse del tanque

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

$$Vel = \frac{64.10 \text{ l/día} * 55 \text{ días}}{1000}$$

$$Vel = 3.52 \text{ m}^3$$

- Área del lecho de secado de lodos

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

$$Als = \frac{3.52 \text{ m}^3}{0.4 \text{ m}}$$

$$Als = 8.80 \text{ m}^2$$

- Dimensiones del lecho de secado de lodos

Área

$$A_{ls} = L * B$$

Donde:

L: Longitud del lecho

B: Ancho del lecho

Entonces:

$$A_{ls} = 2B * B$$

$$A_{ls} = 2B^2$$

$$B = \sqrt{\frac{A_{ls}}{2}}$$

$$B = \sqrt{\frac{8.80 \text{ m}^2}{2}}$$

$$\mathbf{B = 2.10 \text{ m}}$$

Por lo tanto:

$$L = 2 * B$$

$$L = 2 * 2.10 \text{ m}$$

$$\mathbf{L = 4.20 \text{ m}}$$

Para el medio de drenaje del lecho de secado se toma en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La arena debe tener un tamaño efectivo de 0.3 a 1.3 mm y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5.
- Debajo de la arena se deberá colocar una capa de grava graduada entre 1.6 y 51 mm de 0.20 m de espesor. [40]

3.4.2.6. Diseño del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Para el diseño del Filtro Biológico se utilizó el manual de la CONAGUA [32]. Además, será de forma circular y los datos necesarios para el cálculo se observan en la Tabla 26.

Tabla 26. Datos para el diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal promedio	Q	5.51	m ³ /hora
Altura del medio filtrante	Hmf	2	m
Tiempo de residencia hidráulica	TRH	6	horas
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	So	207	mg/l
Longitud del borde libre	B	0.50	m
Longitud del bajo dren	D	0.50	m

Elaborado por: Joseline Valeria Zambonino Quisanga

- Volumen del filtro

$$V = Q * TRH$$
$$V = 5.51 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * 6 \text{ horas}$$
$$V = 33.06 \text{ m}^3$$

- Altura del filtro

$$H = b + d + hmf$$
$$H = 0.5 \text{ m} + 0.50 \text{ m} + 2 \text{ m}$$
$$\mathbf{H = 3 m}$$

- Área del filtro

$$A = \frac{V}{H}$$
$$A = \frac{33.06 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$$
$$A = 11.02 \text{ m}^2$$

- Diámetro del filtro

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 11.02 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 3.75 \text{ m}$$

$$\mathbf{D = 3.80 \text{ m}}$$

- Volumen del medio filtrante

$$V_{mf} = A * h_{mf}$$

$$V_{mf} = 11.02 \text{ m}^2 * 2.00 \text{ m}$$

$$V_{mf} = 22.04 \text{ m}^3$$

- Verificación de la carga hidráulica superficial

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

$$CHS = \frac{132.19 \text{ m}^3/\text{día}}{11.02 \text{ m}^2}$$

$$CHS = 12 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

$$10 < CHS < 15$$

$$10 < 12 < 15$$

Si cumple

- Revisión de la Carga Orgánica Volumétrica (COV)

$$COV = \frac{Q * S_o}{V}$$

$$COV = \frac{132.19 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0.207 \frac{\text{kg DBO}}{\text{m}^3}}{33.06 \text{ m}^3}$$

$$COV = 0.83 \frac{\text{kg DBO}}{\text{m}^3 * \text{día}}$$

$$\text{COV}_{\text{mf}} = \frac{Q * S_o}{V_{\text{mf}}}$$

$$\text{COV}_{\text{mf}} = \frac{132.19 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0.207 \frac{\text{kg DBO}}{\text{m}^3}}{22.04 \text{ m}^3}$$

$$\text{COV}_{\text{mf}} = 1.24 \frac{\text{kg DBO}}{\text{m}^3 * \text{día}}$$

- Eficiencia esperada

$$E = 100[1 - 0.87(\text{TRH})^{-0.5}]$$

$$E = 100[1 - 0.87(6 \text{ h})^{-0.5}]$$

$$E = 64.48 \%$$

- Concentración de DBO esperada en el efluente

$$\text{DBO}_{\text{ef}} = S_o - \frac{E(S_o)}{100}$$

$$\text{DBO}_{\text{ef}} = 207 \text{ mg/l} - \frac{64.48 (207)}{100}$$

$$\text{DBO}_{\text{ef}} = 73.53 \text{ mg/l}$$

- Volumen real del filtro

$$V_{\text{real}} = A * H$$

$$V_{\text{real}} = \frac{\pi * D^2}{4} * H$$

$$V_{\text{real}} = \frac{\pi * (3.80 \text{ m})^2}{4} * 3 \text{ m}$$

$$V_{\text{real}} = 34.02 \text{ m}^3$$

3.4.3. PTAR Zona Libre

El rediseño propuesto en este proyecto para la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Zona Libre, considera un período de vida útil de 20 años y abarca el crecimiento población del sector hasta el año 2041.

Además, con la implementación de nuevos procesos de tratamiento, se prevé obtener una eficiencia de remoción teórica de acuerdo a los datos expuestos en la Tabla 27, donde se logre remover los contaminantes del agua residual y conseguir un efluente que no genere daño al ambiente donde sea descargado.

Tabla 27. Remoción teórica del nuevo diseño PTAR

Unidades de tratamiento	Rendimiento de eliminación del constituyente, porcentaje					
	DBO	DQO	SS	P	N - Org	NH3 - N
Rejas de barras	0	0	0	0	0	0
Desarenadores	5	5	10	0	0	0
Sedimentación primaria	40	40	65	20	20	0
Filtro percolador de alta carga, medio pétreo	80	80	85	12	50	15

Fuente: Metcalf & Eddy [27]

Para lograr conservar el estado físico del tren de tratamiento propuesto, se elaboró un manual de operación y mantenimiento que se presenta en el Anexo 1. De la misma forma, los planos tanto actuales como los del nuevo diseño de la PTAR de la comunidad Zona Libre se encuentran en el Anexo 4.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Zona Libre se encuentra funcionando desde el año 2006 hasta la fecha y cuenta con un área de 310 m² aproximadamente. (Ver 2.2.1.)
- Mediante los aforos realizados, se determinó el caudal que ingresa a la planta, obteniendo como resultado un caudal máximo de 0.757 l/seg.

Luego del análisis realizado al afluente y efluente se logró determinar una remoción de 0% para los parámetros de Fosforo Total, Aceites y grasas, asimismo se tiene 1.93% y 0.47% para DBO y DQO respectivamente, estos valores se consideran demasiado bajos para realizar una correcta desinfección del agua. (Ver Figura 16)

- Con los resultados del análisis del efluente de la PTAR, se estableció que los parámetros que cumplen con la norma TULSMA son: pH, Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Total y Fósforo Total. En cambio, los parámetros: DBO (203 mg/l), DQO (421 mg/l), Sólidos Suspendidos (181 mg/l), Aceites y grasas (66 mg/l), se encuentran fuera del límite permisible para descargas a un cuerpo de agua dulce. (Ver Tabla 8)

Todas las estructuras hidráulicas de la actual PTAR fueron evaluadas en base a diferentes manuales de diseño, obteniendo valores que cumplen con los rangos establecidos, a excepción del filtro anaerobio de flujo ascendente que tiene una diferencia en el volumen del 19%, es decir que se encuentra sub dimensionado. (Ver Tabla 19)

- Debido a que la remoción del parámetro de Sólidos Suspendidos es apenas del 2.69%, se considera implementar un cribado y un desarenador, con lo que se planea reducir la cantidad de sólidos que ingresan a los demás procesos; así mismo se diseñó un nuevo tren de tratamiento que operará hasta el año 2041. (Ver 3.4.)

Con el diseño propuesto y el manual de operación se prevé que el efluente de la PTAR cumplirá con la norma TULSMA para ser vertido en la quebrada (río Quero).

4.2. Recomendaciones

- Es necesario una limpieza de la vegetación que se encuentra alrededor del cerramiento de la PTAR y de la entrada principal.
- Se sugiere realizar un revestimiento en las tuberías que se encuentran a la intemperie para evitar que se dañen o se rompan con el paso del tiempo.
- Es recomendable llevar un registro de las actividades ejecutadas en la PTAR para tener un mejor control de la limpieza y mantenimiento.
- Se debe realizar un análisis de la calidad del afluente y efluente de la PTAR por lo menos una vez al año, con el fin de tener un registro más exhaustivo.
- Limpiar y/o lavar el medio filtrante del filtro anaerobio de flujo ascendente para obtener una correcta desinfección del agua residual.
- Se sugiere analizar las características físicas, químicas y microbiológicas de los lodos generados por la PTAR de la Comunidad Zona Libre, para establecer un tratamiento adecuado que permita usarlos en fines agrícolas.
- Realizar capacitaciones al operador sobre el funcionamiento general de la planta, el uso de las herramientas y equipo de protección personal en las actividades de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Vilaña, «Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para los barrios Villaflora y el Rosario, parroquia Píntag, cantón Quito, provincia de Pichincha,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2016.
- [2] D. Bunces, «Planteamiento de alternativas para la selección de plantas de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Francisco de Orellana (Coca),» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2014.
- [3] M. Landi, «Evaluación Técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales de un industria láctea,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.
- [4] D. Mendoza, «Evaluación y rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales del barrio Cañaverl de la ciudad de Nueva Loja,» Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, 2011.
- [5] J. Dávila, «Evaluación de las plantas de tratamiento por lodos activados de las urbanizaciones de la vía a la costa y los efectos que causan al descargar en el estero salado,» Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2014.
- [6] M. Panchana, «Evaluación y diagnóstico de las aguas residuales dentro de un marco teórico de turismo consciente de la parroquia Puerto López,» Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2013.
- [7] G. Chamorro, «Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa de fabricación de quesos,» Universidad San Francisco de Quito, Quito, 2014.
- [8] G. Miranda, «Evaluación del tratamiento de aguas residuales para disminuir la contaminación de efluentes generados por la empresa de Lácteos "Marlen", ubicada en el cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua,» Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, 2017.
- [9] R. Urbina, «Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2018.

- [10] V. Izurieta, «Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Poatug, cantón Patate, provincia de Tungurahua,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2020.
- [11] M. Portero y V. Amat, «Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Babahoyo,» Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2017.
- [12] C. García y J. Fonseca, «Evaluación técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales "Quinta Brasilia" ubicada en el municipio de Honda-Tolima,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2015.
- [13] L. Benavides, «Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Central de Sacrificio de Túquerres (Nariño),» Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Manizales, 2006.
- [14] M. Ronces, «Evaluación de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de un Municipio del Sureste de México,» Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, 2018.
- [15] B. Murillo, «Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria alimentaria,» Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2018.
- [16] J. Arocutipa, «Evaluación y propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales en Massiapo del Distrito de Alto Inambari-Sandia,» Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Puno, 2013.
- [17] S. Jiménez, «Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del A y A en la urbanización Las Lomas de Buenos Aires, Puntarenas,» Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2014.
- [18] A. Jouravlev, «Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI,» 2004.
- [19] Cámara de Comercio Franco Ecuatoriana Ccifec, «20 Gestión de aguas residuales en Ecuador - SENAGUA,» 21 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/CCIFEC/20-gestin-de-aguas-residuales-en-ecuador-senagua>. [Último acceso: 21 Enero 2021].
- [20] Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, Constitución de la República del Ecuador, Montecristi, 2008.

- [21] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santiago de Quero, «La ordenanza para el control de descargas liquidas a los cuerpos de agua dulce y sistemas de alcantarillado del cantón Santiago de Quero,» 5 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://quero.gob.ec/index.php/municipalidades/ordenanzas>. [Último acceso: 21 Enero 2021].
- [22] GAD Municipal de Quero, «Actividad Económica,» GAD Municipal de Quero, 15 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.quero.gob.ec/index.php/municipalidades/actividad-economica#:~:text=La%20actividad%20econ%C3%B3mica%20del%20Cant%C3%B3n,%2020cebolla%20blanca%2020habas%2020zanahoria>. [Último acceso: 21 Enero 2021].
- [23] J. Velasco, «Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Ubillus,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [24] H. Vaca y S. Montalván, «Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, centro poblado Nono, ubicado en la zona Noroccidente de la ciudad de Quito, parroquia Nono,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2016.
- [25] J. Lizarazo y M. Orjuela, «Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia,» Universidad Nacional de Colombia., Bogotá, 2013.
- [26] K. Reynolds, «Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Identificación del Problema,» *De La Llave*, pp. 1-4, 2002.
- [27] Metcalf & Eddy, «Características de las aguas residuales,» de *Ingeniería de aguas residuales*, vol. I, España, McGraw-Hill, 1995, pp. 53-55.
- [28] Eco-Intellutions, «Tipos de Aguas Residuales, ¿cuántos existen y qué contienen?,» 13 Febrero 2019. [En línea]. Available: <http://www.ecointell.com.mx/plantas-de-tratamiento-de-agua/tipos-de-aguas-residuales-cuantos-existen-y-que-contienen>. [Último acceso: 25 Enero 2021].
- [29] R. Rojas, «Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales,» de *Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*, 2002.
- [30] R. Ramalho, *Tratamiento de Aguas Residuales*, España: Reverté, 2003.

- [31] V. Guamán y M. Molina, «Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades de Macas y San Pedro, cantón Cuenca, Azuay,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2015.
- [32] Comisión Nacional del Agua, «Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaeróbios de Flujo Ascendente,» de *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, México, 2015, pp. 1-4.
- [33] J. Romero, «Características de importancia en aguas residuales,» de *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño*, Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010, pp. 58-68.
- [34] SENASBA, Guía para la toma de muestras de agua residual, Primera ed., La Paz, 2015.
- [35] INEN, *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*, Primera ed., Quito, 2013.
- [36] Ministerio del Ambiente, «Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua,» de *Registro Oficial Suplemento 387 - ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TULSMA*, Quito, 2015, pp. 20-23.
- [37] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Quero, «Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Santiago de Quero, provincia de Tungurahua,» Quero, 2015.
- [38] INEN, *NTE INEN 2176 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo*, Primera ed., Quito, 2013.
- [39] INEN, *NTE INEN 2169 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*, Primera ed., Quito, 2013.
- [40] Organización Panamericana de la Salud, «Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización.,» Lima, 2005.
- [41] Comisión Nacional del Agua, «Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaeróbios de Flujo Ascendente,» de *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, México, 2015.
- [42] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «Información Censal,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>. [Último acceso: 17 Mayo 2021].

- [43] Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, «Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquido en el área rural,» Quito: Subsecretaría de Saneamiento Ambiental, 1992.
- [44] Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, «Sección II - Título D: Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales.,» de *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS - 2000*, Bogotá, 2000.
- [45] Intituto Boliviano de Normalización y Calidad, «NB 688 : Diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial,» La Paz, 2007.
- [46] E. Guaquipana, «Diseño de un sistema de depuración de aguas residuales con metodología ambientalista para el sector de Guanujo, Alpachaca, Primero de Mayo y Negro Yacu del cantón Guaranda provincia de Bolívar,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.
- [47] Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, «Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes,» Quito: Subsecretaría de Saneamiento Ambiental, 1992.
- [48] Organización Panamericana de la Salud, «Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores,» Lima, 2005.

ANEXO N° 1:

**MANUAL DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA COMUNIDAD ZONA LIBRE**

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El manual de operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la comunidad Zona Libre, describe actividades que deben ser ejecutados por el operador, para garantizar un apropiado funcionamiento y prolongar el buen estado de las diferentes estructuras.

1. Canal de Entrada

Se debe remover los sedimentos acumulados en el fondo del canal y limpiar las paredes para evitar que la materia orgánica se quede impregnada en las mismas.

Personal:	1 operador
Herramientas:	Pala, carretilla, herramienta menor
Tiempo:	1 hora
Frecuencia:	1 cada 2 meses

2. Rejilla

Es necesario la remoción de basura y sólidos que son retenidos en la rejilla, para evitar la obstrucción del paso del efluente. El retiro de los materiales se lo realiza de forma manual por parte de un operador.

Personal:	1 operador
Herramientas:	Rastrillo, pala, carretilla
Tiempo:	1 hora
Frecuencia:	2 veces a la semana

3. Desarenador

Se ha diseñado un desarenador de dos unidades en paralelo para que funcionen de manera alternada, es decir cuando una se encuentra en operación la otra se encuentra en mantenimiento.

Entre las actividades de mantenimiento se tiene las siguientes:

- Cerrar la compuerta de ingreso y salida de la unidad en mantenimiento
- Retirar el sedimento acumulado en el fondo de manera manual.
- Una vez limpio el desarenador, se deberá abrir la compuerta de ingreso y salida.

Personal: 1 operador + 1 ayudante

Herramientas: Pala, carretilla, baldes

Tiempo: 8 horas

Frecuencia: 1 vez a la semana

3.1. Compuertas

El principal objetivo de las compuertas del desarenador es el de cortar el flujo de agua en forma programada, por el hecho de siempre estar en contacto con aguas agresivas el material de fabricación puede sufrir un deterioro permanente, por lo que se requiere de un mantenimiento preventivo.

A continuación, se presentan algunas actividades de mantenimiento:

- Limpieza del mecanismo de elevación de la compuerta
- Engrasado del mecanismo de apertura y cierre (husillo)
- Limpieza y pintura de las partes metálicas

4. Fosa séptica

Se debe inspeccionar la fosa séptica para medir la profundidad de los lodos que posteriormente se van a extraer.

Personal: 1 operador

Herramientas: Barra, herramienta menor

Tiempo: 1 hora

Frecuencia: 1 vez al mes

Cuando se extraiga los lodos, se debe procurar que se quede una pequeña cantidad para continuar con el proceso de digestión.

La remoción de espuma o natas se lo debe hacer cada 4 meses, con la ayuda de un cernidero de malla fina. Además, la limpieza de la fosa séptica se debe hacer por lo menos una vez al año.

5. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

En el medio filtrante se adhiere una bio-película de microorganismos anaerobios, que cuando cumplen con su ciclo de vida sus residuos se convierten en lodo, el mismo que se dirige al fondo del filtro y que debe ser desalojado para evitar obstrucciones en las tuberías.

Para el mantenimiento se debe realizar lo siguiente:

- Apertura de las válvulas de desagüe de lodos digeridos
- Mantenimiento de las juntas mecánicas y válvulas

Personal:	1 operador
Herramientas:	herramienta menor
Tiempo:	4 horas
Frecuencia:	1 vez cada 3 meses

6. Lecho de secado de lodos

El lodo que se produce en el tren de tratamiento debe conducido al lecho de secado, donde será expuesto al ambiente para lograr deshidratarlo.

El mantenimiento del lecho es el siguiente:

- Retiro manual de lodos deshidratados
- Limpieza de paredes del lecho de secado

Personal:	1 operador
Herramientas:	Pala, carretilla, herramienta menor
Tiempo:	8 horas
Frecuencia:	1 vez al mes

Si se desea utilizar el lodo como abono, lo que se debe hacer es lo siguiente:

- Una vez que el lodo sea depositado en lecho de secado, se cubrirá toda la superficie con cal para controlar la presencia de microorganismos patógenos.
- Cuando el lodo se encuentre completamente deshidratado, se debe recogerlo y usarlo en la actividad agrícola.

7. Mantenimiento del área exterior

Básicamente entre las actividades de mantenimiento se tiene:

- Retirar la vegetación del área externa
- Limpieza de la entra y vía de acceso
- Control y poda de las especies nativas

Personal:	1 operador + 2 ayudantes
Herramientas:	Palas, barras, carretillas, herramienta menor
Tiempo:	1 semana
Frecuencia:	trimestral

8. Operador de la PTAR

El operador es el encargado de realizar todas las actividades de operación y mantenimiento, por lo que debe contar con medidas de protección como las siguientes.

- Usar equipo de protección como overol, mascarilla, guantes, botas y gafas.
- Siempre lavar las herramientas luego de usarlas.
- Cuidar su higiene antes y después de realizar actividades de mantenimiento en la planta.

ANEXO N° 2:

FOTOGRAFÍAS

Figura 26. Medición de caudales



Figura 27. Recolección de muestras de agua residual



Figura 28. Caja de revisión salida PTAR



Figura 29. Fosa séptica y FAFA



Figura 30. Lecho de secado de lodos



ANEXO N° 3:

RESULTADOS DE LABORATORIO



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 17-012



N° SE: 026 - 21

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Valeria Zambonino Quisanga **INFORME N°:** 026 - 21
EMPRESA: Proyecto de Tesis Universidad Técnica de Ambato **N° SE:** 026 - 21
DIRECCIÓN: Calle Río Guapante y Río Payamino - Ambato
TELÉFONO: 0998883817 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 07 - 04 - 21
FECHA DE INFORME: 14 - 04 - 21

NÚMERO DE MUESTRAS: 2, Agua residual, PTAR Cantón Quero **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN:
 MA - 038 -21 PTAR Zona Libre Entrada Agua
 MA - 039 -21 PTAR Zona Libre Salida Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 038-21

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7,02	+/- 0,08	07-04-21
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D	423	N/A	07-04-21
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	207	N/A	07-04-21
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1	55,71	N/A	07-04-21
* Nitrógeno Amoniaco	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH3 B&C	7,82	N/A	07-04-21
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 N - B	12,10	N/A	07-04-21
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 P - E	4,70	N/A	07-04-21
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	186	N/A	07-04-21

MA - 039-21

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7,22	+/- 0,08	07-04-21
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D	421	N/A	07-04-21
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	203	N/A	07-04-21
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1	66	N/A	07-04-21
* Nitrógeno Amoniaco	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH3 B&C	5,76	N/A	07-04-21
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 N - B	8,92	N/A	07-04-21
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 P - E	5,40	N/A	07-04-21
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	181	N/A	07-04-21

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 - Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.
 - LSA libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados.

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN.
REGLA DE DECISIÓN ACORDADA: No aplica

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.
 Benito Mendoza T., Ph.D.

Dr. Juan Carlos Lara R.
 TÉCNICO L.S.A.

ANEXO N° 4:

PLANOS

COMUNIDAD ZONA LIBRE - QUERO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

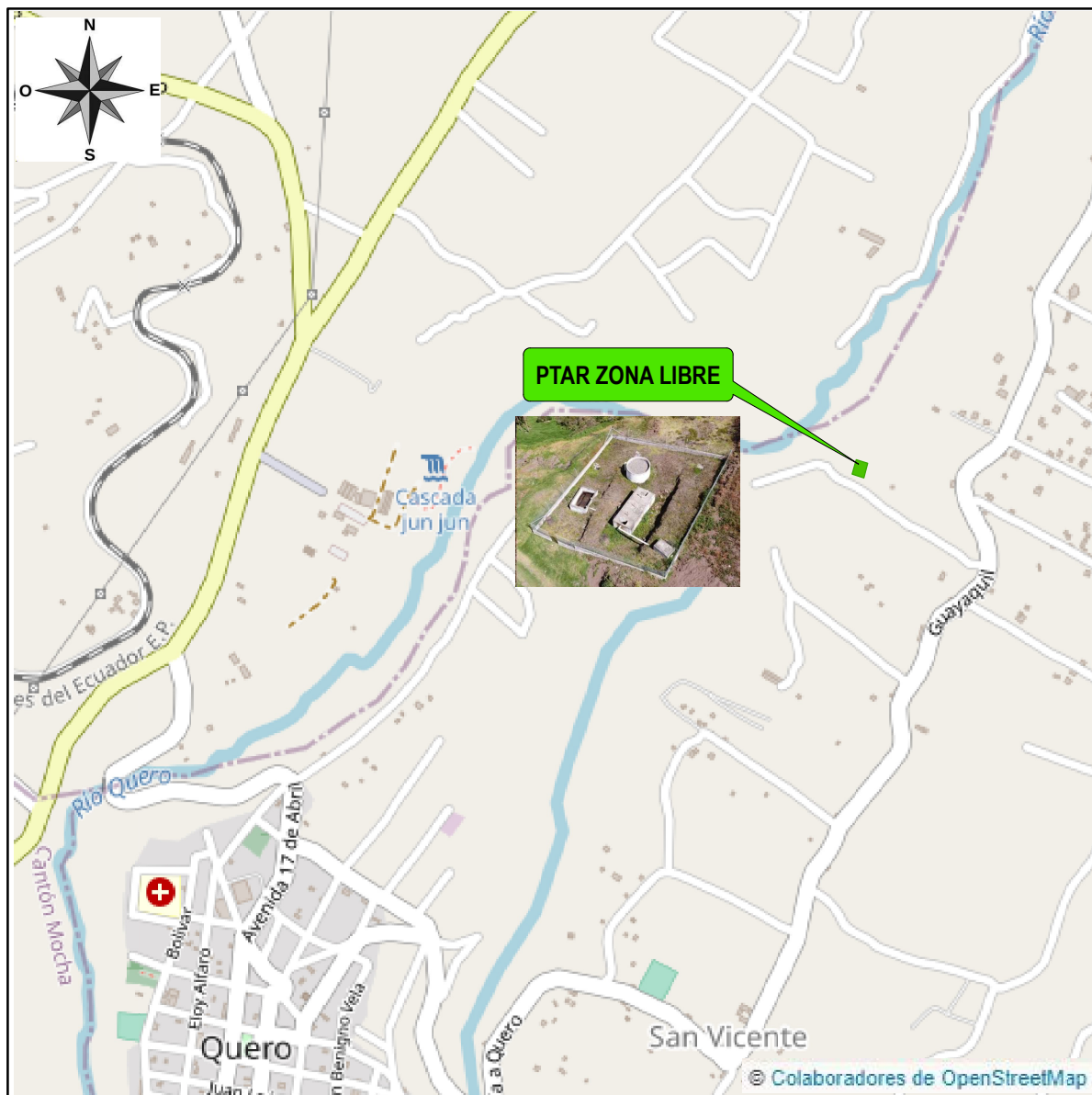
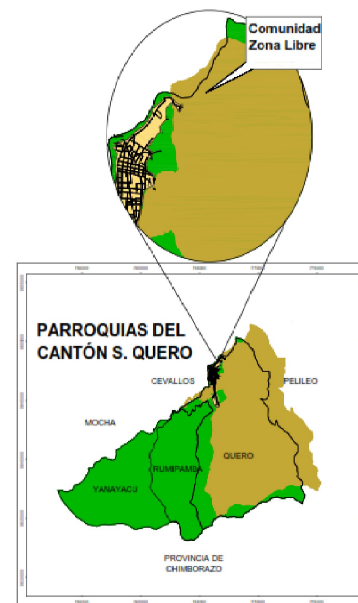


PROVINCIA :	CANTÓN:	PARROQUIA	SECTOR:
TUNGURAHUA	QUERO	LA MATRIZ	COMUNIDAD ZONA LIBRE

PROYECTO:

"EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD ZONA LIBRE, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

UBICACIÓN DE LA PTAR



PROYECCION CARTOGRAFICA UTM

DATUM WGS-84 ZONA 17 S

ESCALA: S/E

SUPERFICIE: 310.6 m²

REF. CARTA TOP. IGM: 1 : 50000

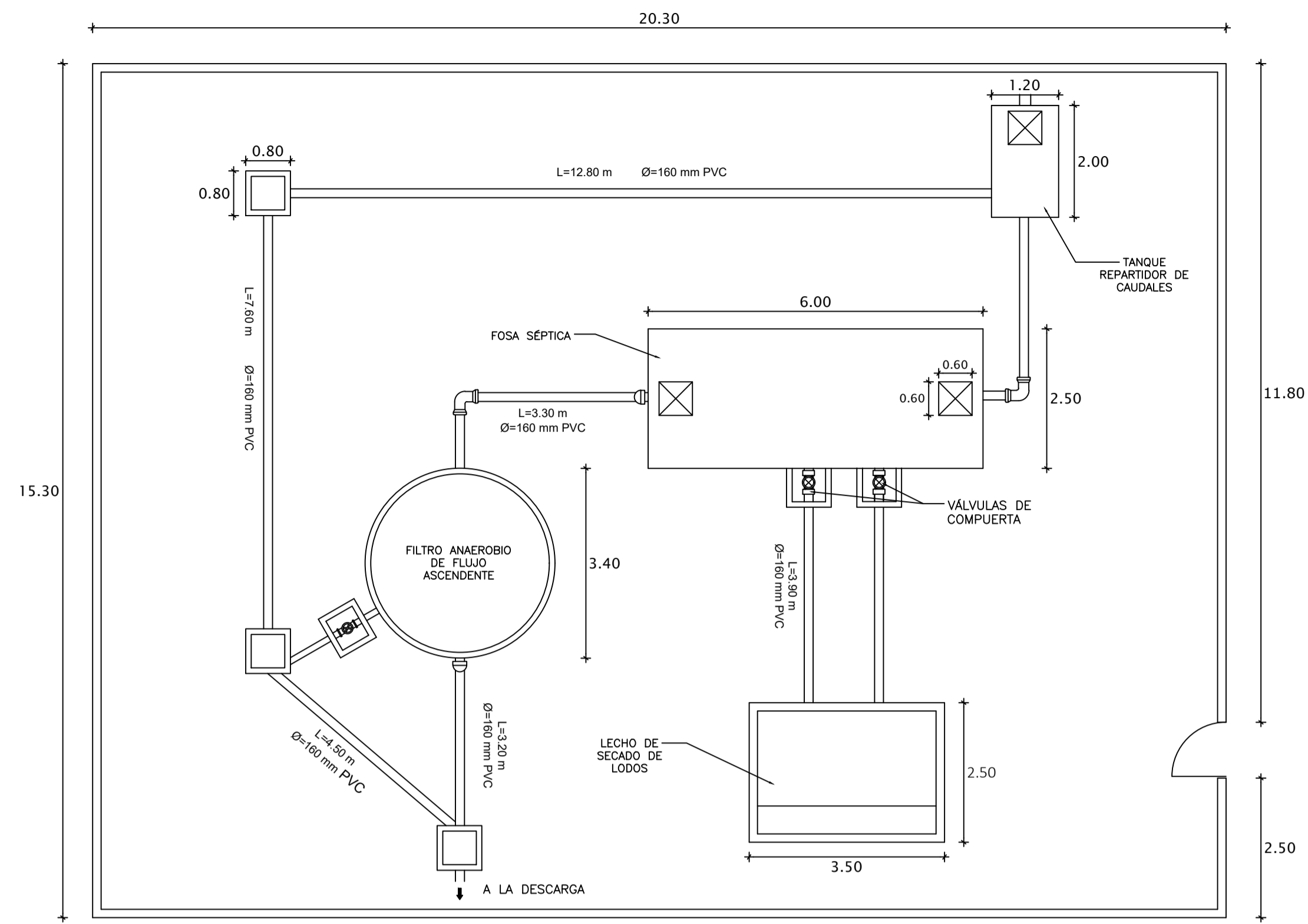
Ñ - IV - A4

FECHA:

JULIO - 2021

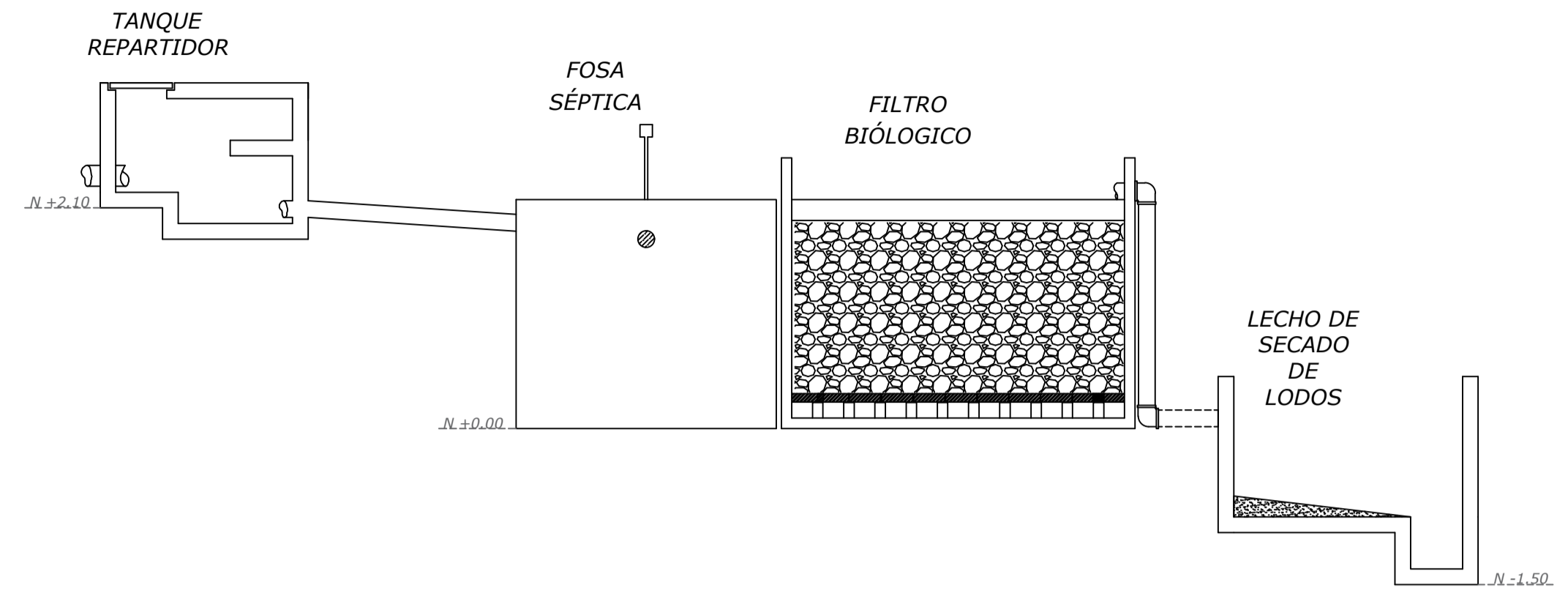
AUTOR:

JOSELINE VALERIA ZAMBONINO QUISANGA

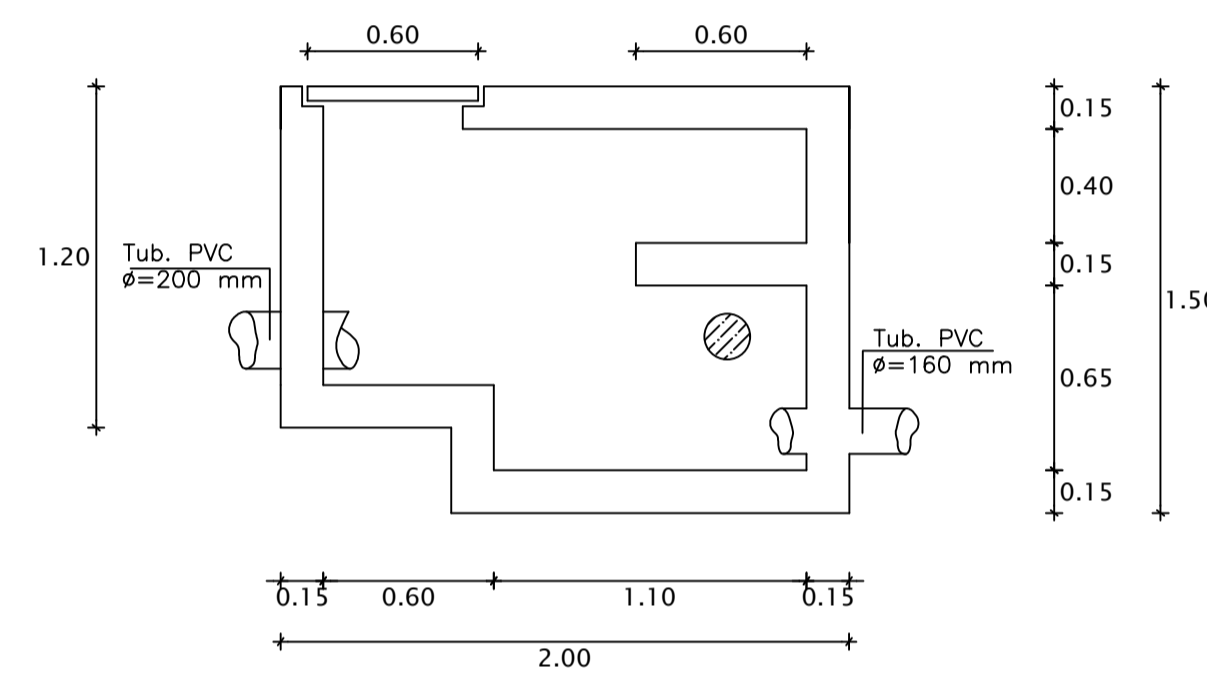


PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD ZONA LIBRE

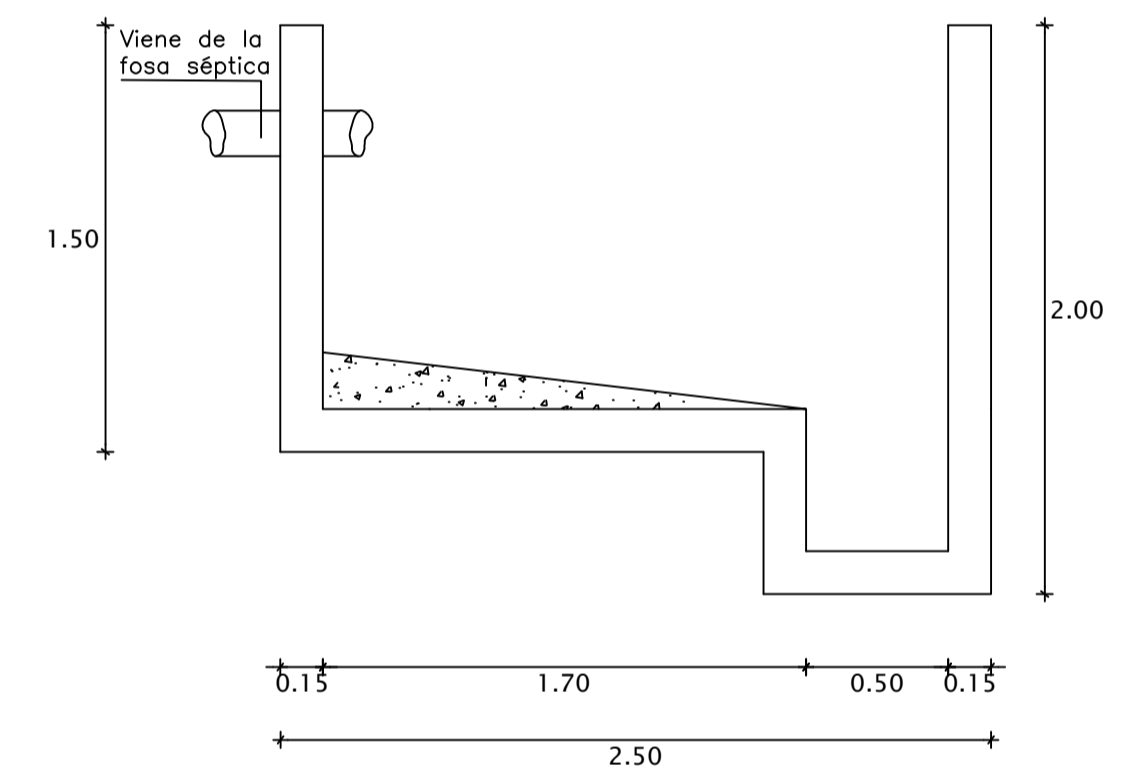
ESCALA-----1:75



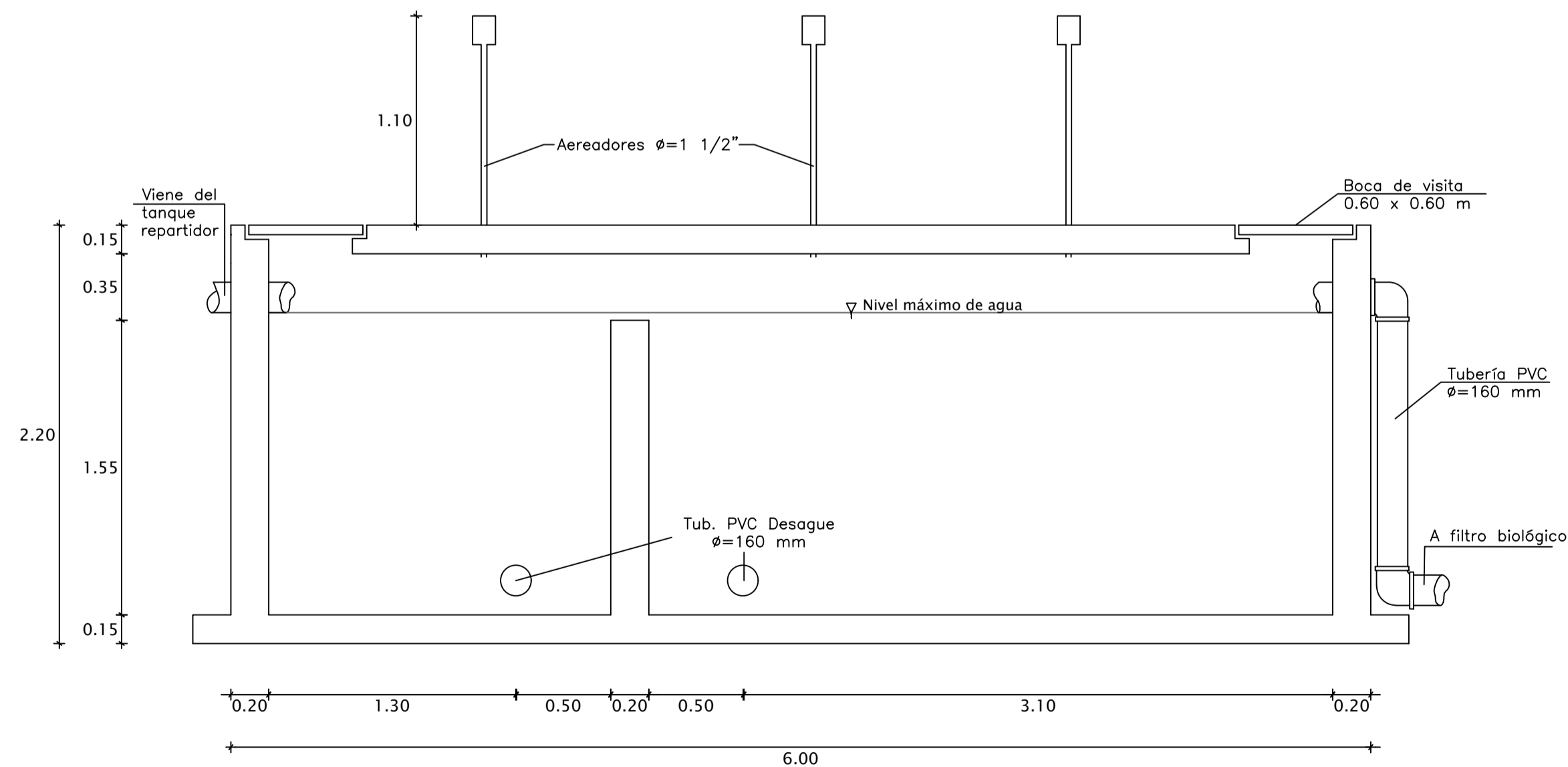
PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA-----1:50



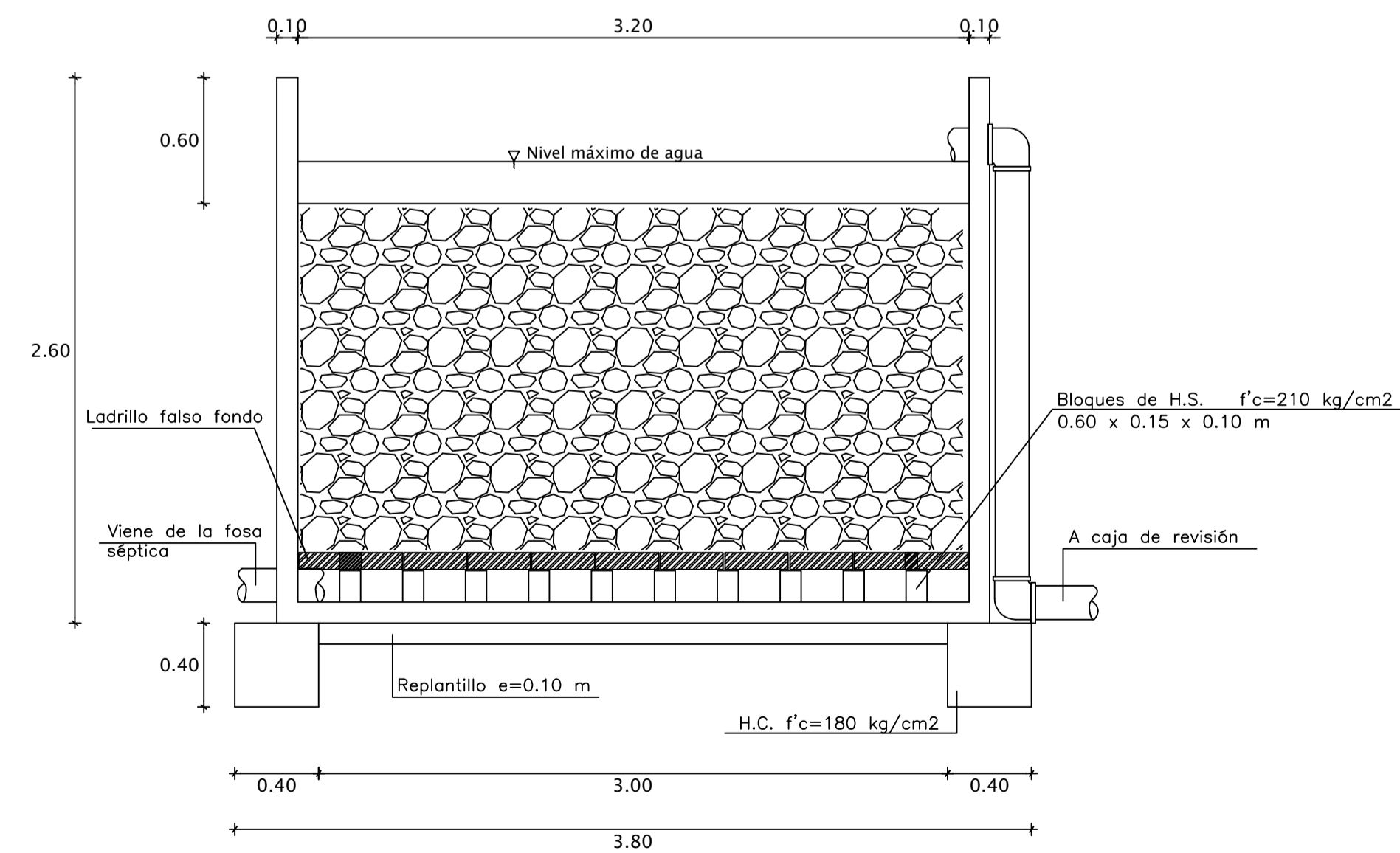
CORTE TANQUE REPARTIDOR
ESCALA-----1:25



CORTE LECHO DE SECADO DE LODOS
ESCALA-----1:25

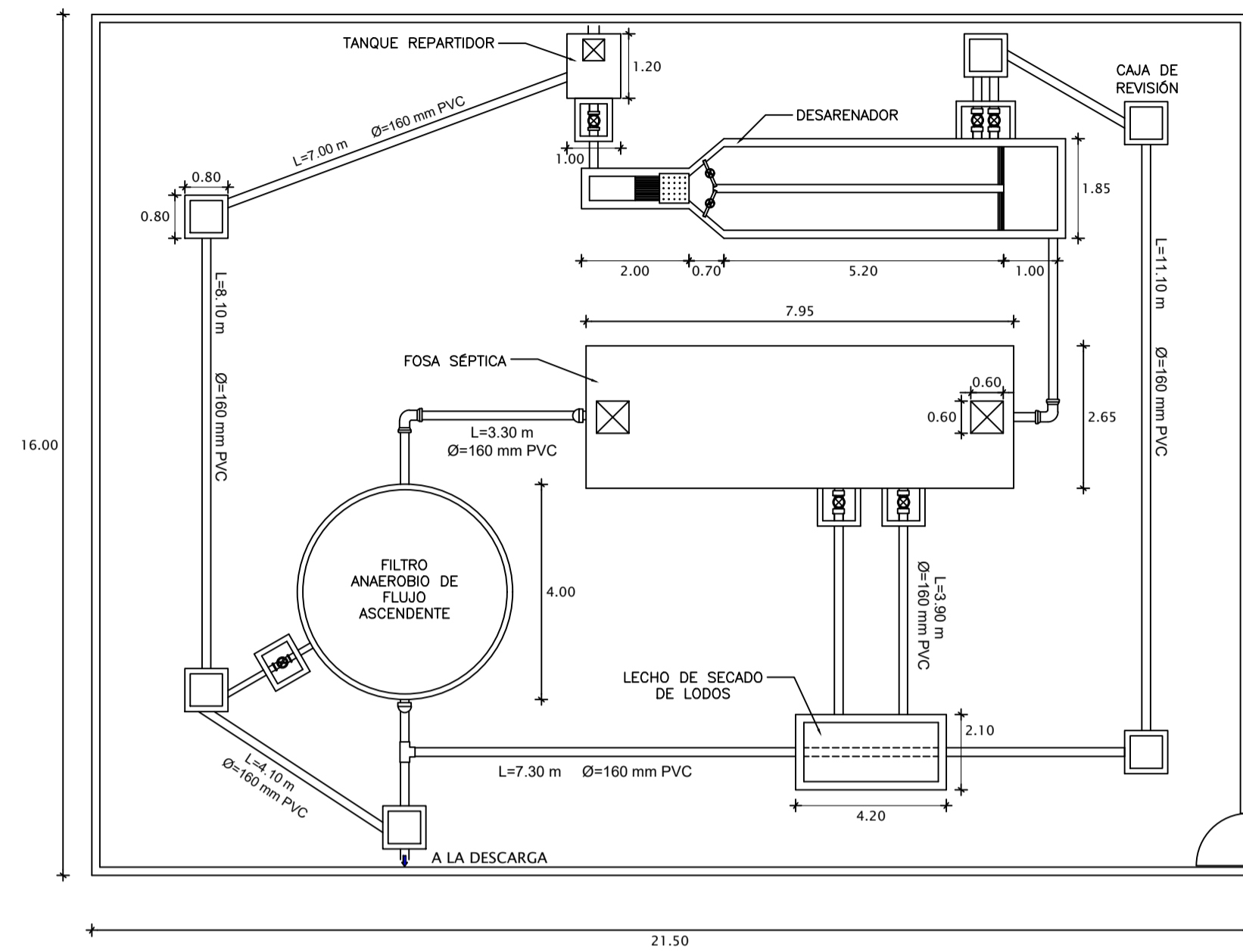


CORTE FOSA SÉPTICA
ESCALA-----1:25



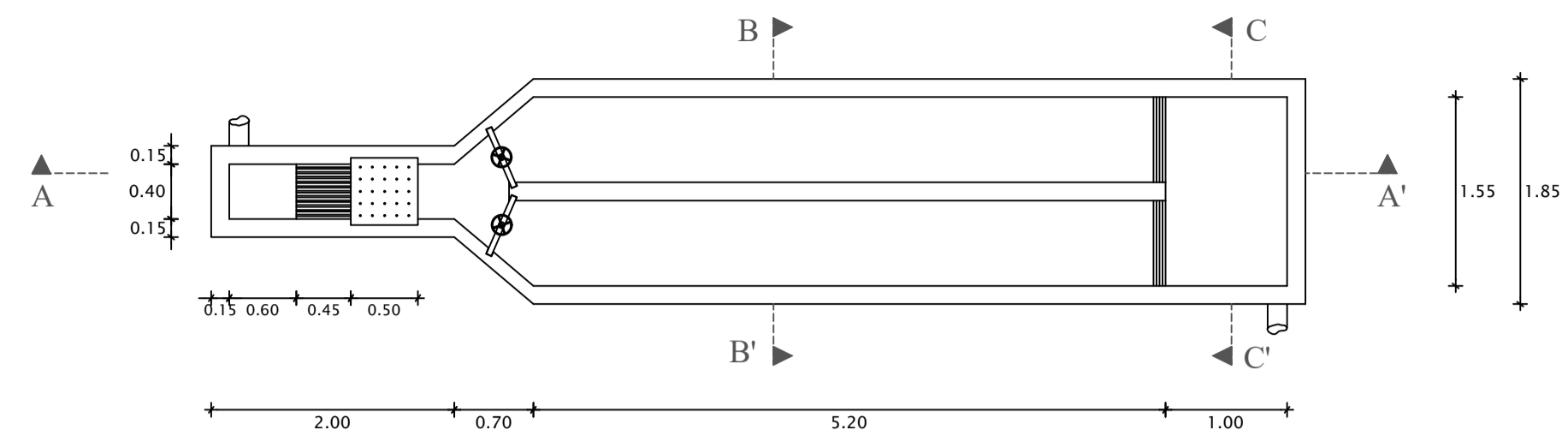
CORTE FABA
ESCALA-----1:25

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD ZONA LIBRE, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
UBICACIÓN: SECTOR: ZONA LIBRE PARROQUIA: LA MATRIZ		CANTÓN: QUERO PROVINCIA: TUNGURAHUA	
CONTIENE: VISTA EN PLANTA Y CORTES DEL TREN DE TRATAMIENTO DE LA PTAR ACTUAL		ELABORADO: VALERIA ZAMBONINO	
REVISADO: ING. FABIAN MORALES TUTOR		ESCALA: LAS INDICADAS	
FECHA: JULIO - 2021		LÁMINA: 1 DE 2	



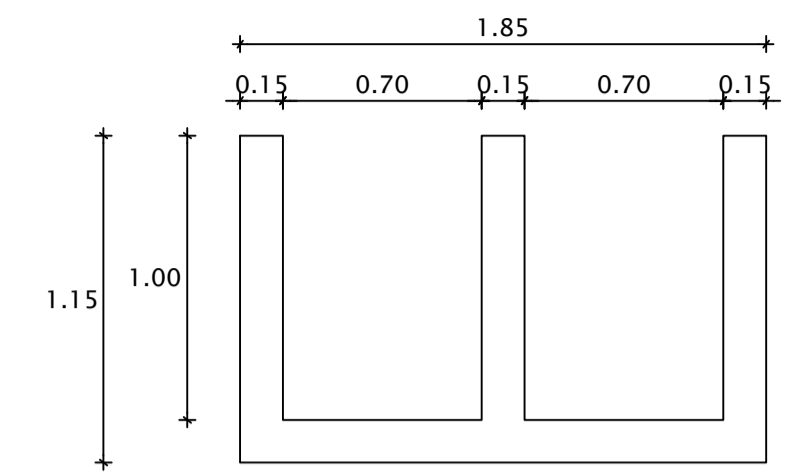
PROPUESTA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD ZONA LIBRE

ESCALA-----1:100



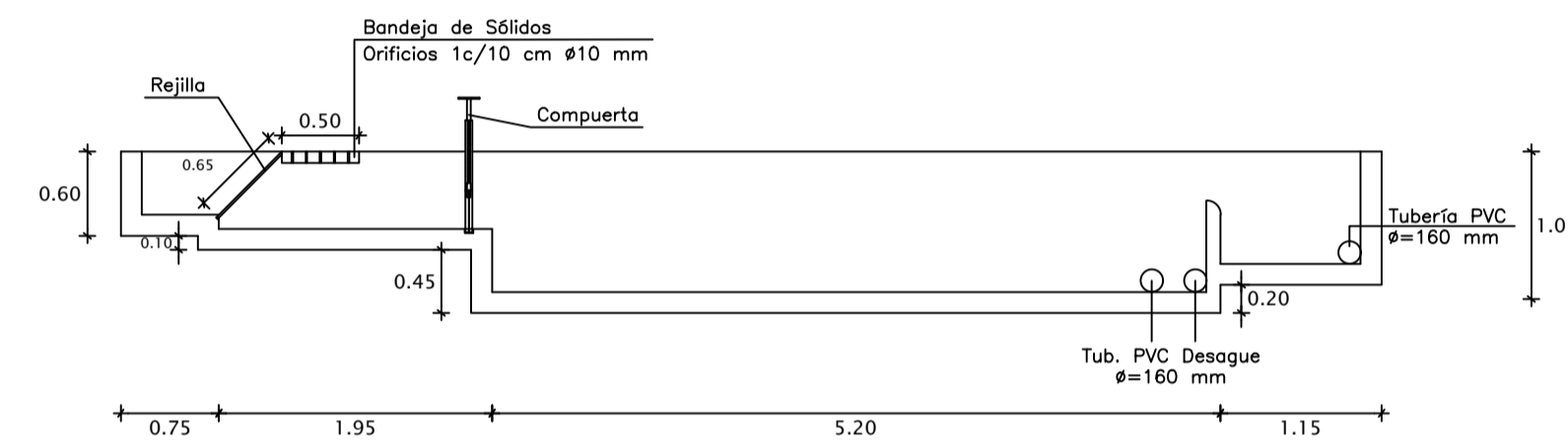
DESARENADOR PLANTA

ESCALA-----1:50



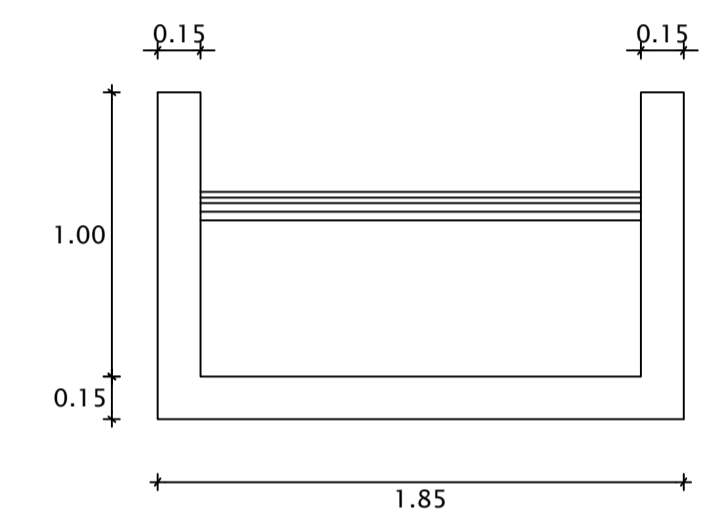
CORTE B-B'

ESCALA-----1:25



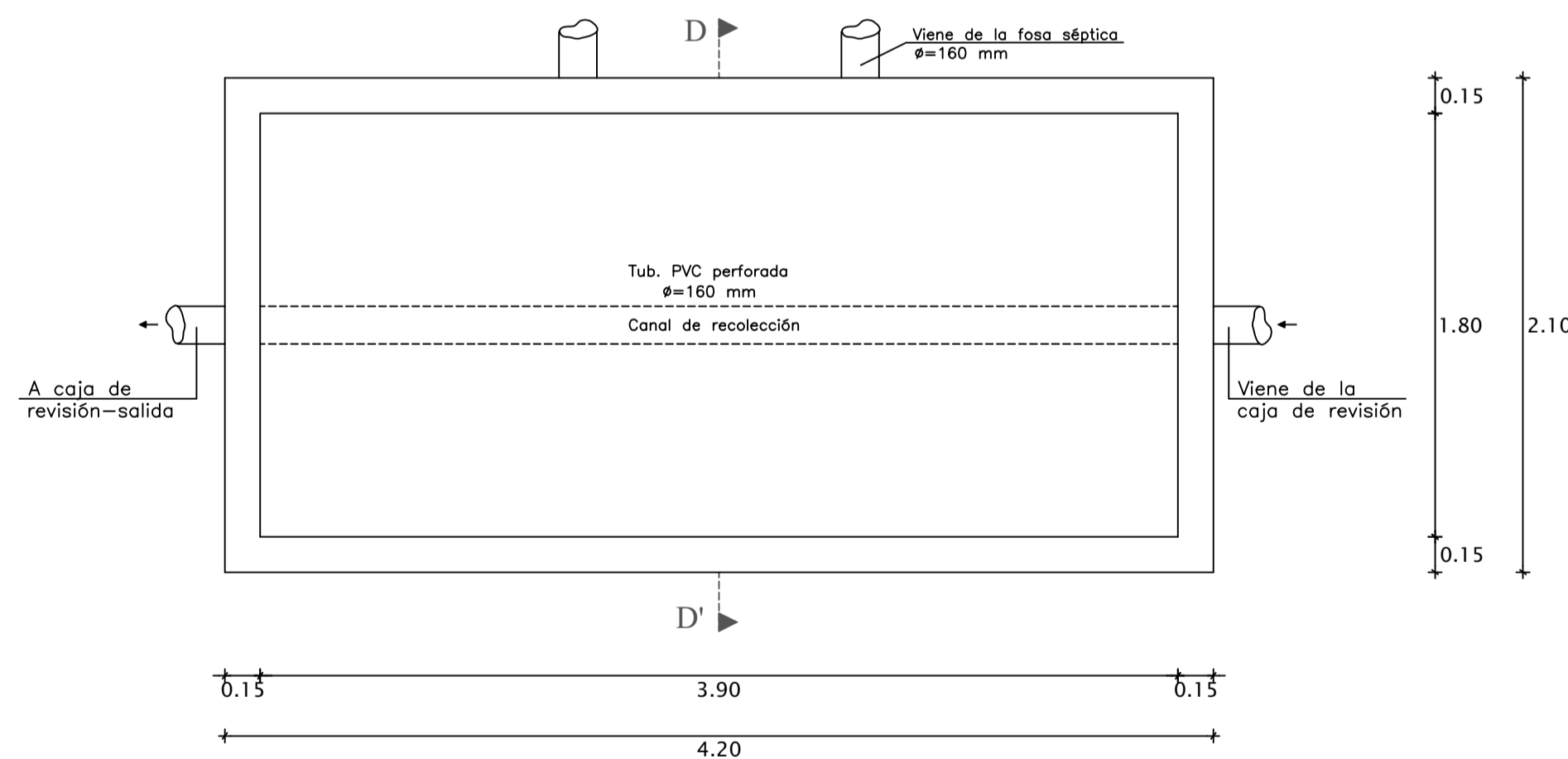
DESARENADOR CORTE A-A'

ESCALA-----1:50



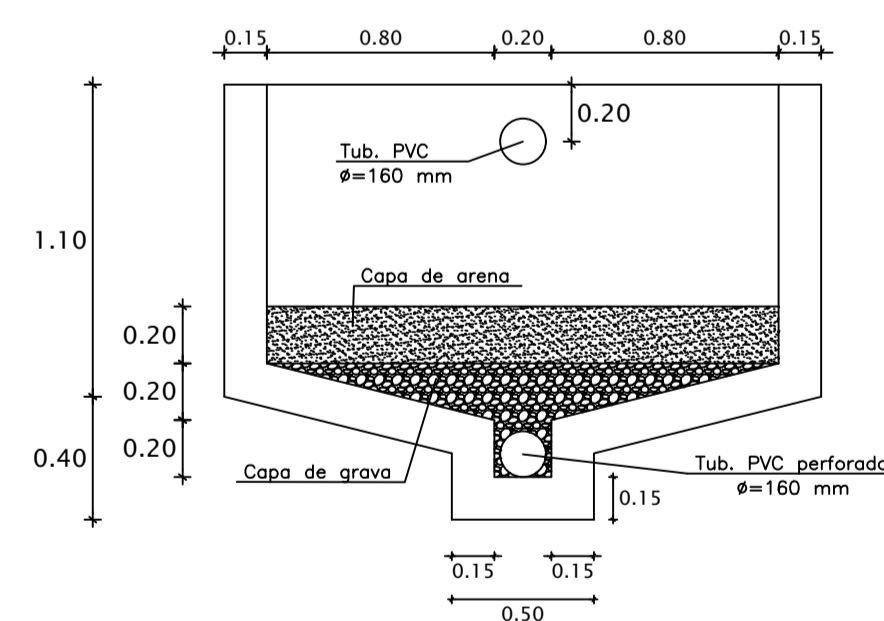
CORTE C-C'

ESCALA-----1:25



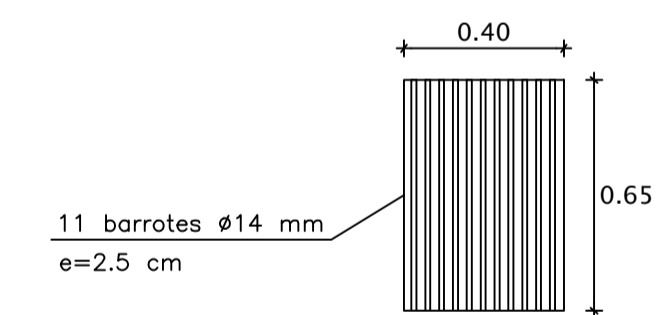
LECHO DE SECADO DE LODOS PLANTA

ESCALA-----1:25



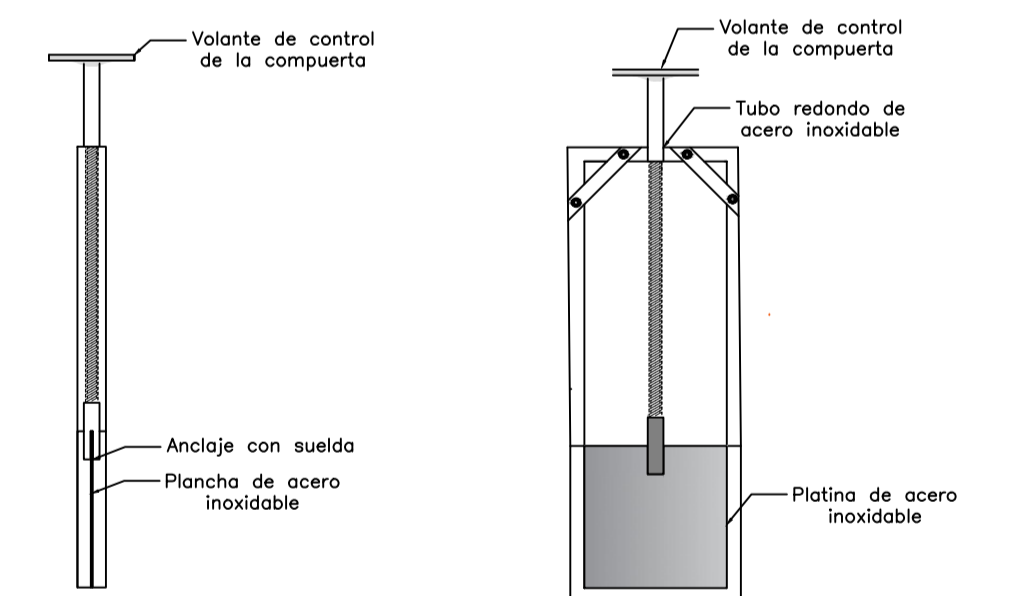
CORTE LECHO DE SECADO DE LODOS

ESCALA-----1:25



DETALLE REJILLA

ESCALA-----1:20



DETALLE COMPUERTA

SIN ESCALA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD ZONA LIBRE, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
UBICACIÓN: SECTOR: ZONA LIBRE PARROQUIA: LA MATRIZ		CANTÓN: QUERO PROVINCIA: TUNGURAHUA	
CONTIENE: PLANOS PROPUESTA PPAR DESARENADOR PLANTA Y CORTES LECHO DE SECADO PLANTA Y CORTE		ELABORADO: VALERIA ZAMBONINO	
REVISADO: ING. FABIAN MORALES		TUTOR	
FECHA: JULIO - 2021		LÁMINA: 2 DE 2	