

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“EVALUACIÓN INTEGRAL DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL
CANTÓN CALUMA”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención de Título de:

MÁSTER EN INGENIERÍA CIVIL

**CON MENCIÓN EN CONSTRUCCIÓN Y
SANEAMIENTO**

Presentada por:

LUIGGI MICHAEL NAVARRO CARVAJAL

GUAYAQUIL – ECUADOR

2022

AGRADECIMIENTO

A todos aquellos que colaboraron en la realización de este trabajo y en especial al MSc. Esther Vásquez, Tutora de Tesis, por su ayuda y paciencia en el desarrollo de este documento.

DEDICATORIA

A Dios, mi hija, mi familia, y demás personas que me han acompañado en esta travesía, motivándome y apoyándome desde el principio. Vamos por más!.

Luigi

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr.

DECANO (e)

MSc. Esther Vásquez

TUTOR DE TESIS

VOCAL PRINCIPAL

VOCAL SUPLENTE

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

Luigi Michael Navarro Carvajal

RESUMEN

El presente trabajo busca evaluar la metodología propuesta para dar solución a la problemática que tiene el Cantón Caluma, ubicado en la provincia de Bolívar, con respecto a la captación, conducción y tratamiento de sus aguas residuales, con el fin de analizar posibles problemas ambientales, y optimizar los sistemas para volverlos sostenibles, económicos y prácticos.

Se analizarán metodologías convencionales de tratamiento de aguas residuales, pero implementadas con sistemas innovadores, como lo es el caso de las excavaciones sin zanja, o perforación horizontal direccionada, para la instalación de colectores de aguas servidas.

Finalmente se realizará un estudio económico comparativo entre las alternativas planteadas por el Municipio de Caluma, y la desarrollada en el presente documento.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	
1	Introducción.....1
1.1	Generalidades.....1
1.2	Justificación3
1.3	Hipótesis4
1.4	Objetivos4
1.5	Alcance5
CAPÍTULO 27	
2	MARCO TEÓRICO7
2.1.	Lagunas de estabilización.....11
2.1.1	Lagunas anaeróbicas.....12
2.1.2	Lagunas aerobias14
2.1.3	Lagunas facultativas15
2.1.4	Lagunas de maduración17
2.2.	Lodos activados18
2.2.1	Tanque de aireación20
2.2.2	Tanque sedimentador20
2.3.	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).....21
2.2.1	Cribado21
2.2.2	Separador de grasas22
2.2.3	Ecualizador o Tanque Homogenizador.....23
2.2.4	Reactor biológico24
2.2.5	Tanque floculador25
2.2.6	Tanque de sedimentación.....26
2.2.7	Desinfección27
2.2.8	Lecho de secado28
2.4.	Excavación sin zanjas (microtunelaje).....30
CAPÍTULO 333	
3	DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO33
3.1	Planta de tratamiento de aguas residuales #136

3.2	Planta de tratamiento de aguas residuales #2.....	37
3.3	Planta de tratamiento de aguas residuales #3.....	39
3.4	Diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....	40
CAPÍTULO 4		41
4	METODOLOGÍA	41
4.1	Preparación de datos	41
4.1.1	Datos Topográficos.....	41
4.1.2	Población	42
4.1.3	Colector de descarga en PTAR #3	44
4.1.4	Datos de Aguas Servidas	46
4.2	Colector de conexión de sistemas PTAR #3 a PTAR #2	47
4.3	Dimensionamiento de Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Convencional	51
4.3.1	Cribado	53
4.3.2	Separador de grasas, aceites y detergentes	54
4.3.3	Tanque homogenizador	55
4.3.4	Reactor Biológico.....	56
4.3.5	Tanque Floculador – Sedimentador.....	57
4.3.6	Lecho de secado de lodos	59
4.3.7	Desinfección	60
4.3.8	Equipos eléctricos y electrónicos.....	61
4.3.9	Esquema de PTAR	61
4.4	Análisis Presupuestario.....	62
4.4.1	Análisis Presupuestario Alternativa 1	62
4.4.2	Análisis Presupuestario Alternativa 2	65
CAPÍTULO 5		69
5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	69
5.1	Conexión de sistemas de conducción.....	69
5.2	Resultados de dimensionamiento de PTAR	71
5.3	Resultados de análisis presupuestario	73
CAPÍTULO 6		76
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76

6.1	Conclusiones	76
6.2	Recomendaciones generales.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1-1 Implantación general de las plantas de tratamiento propuestas (Fuente: Municipio de Caluma).....	4
Fig. 2-1 Esquema de laguna Anaerobia (Fuente: Autor).....	14
Fig. 2-2 Esquema de laguna Facultativa (Fuente: Autor).....	16
Fig. 2-3 Esquema de laguna de Maduración (Fuente: Autor)	17
Fig. 2-4 Proceso de lodos activados (Fuente: Autor).....	20
Fig. 2-5 Esquema de laguna de Maduración (Fuente: Autor)	21
Fig. 2-6 Esquema de laguna de Maduración (Fuente: Autor)	23
Fig. 2-7 Esquema de laguna de Maduración (Fuente: Autor)	27
Fig. 2-7 Equipo de perforación horizontal (Fuente: Pfiffer)	32
Fig. 3-1 Implantación general de las Plantas de Tratamiento proyectadas para el cantón Caluma (Fuente: Google Earth)	34
Fig. 3-2 Implantación general de la Planta de Tratamiento de aguas residuales #1.....	36
Fig. 3-3 Implantación general de la Planta de Tratamiento de aguas residuales #2.....	38
Fig. 3-4 Implantación general de la Planta de Tratamiento de aguas residuales #3.....	39
Fig. 4-1 Información geométrica disponible de los diseños propuestos (Fuente: Municipio de Caluma).....	42

Fig. 4-2 Implantación de Colector de PTAR #3 (Fuente: Municipio de Caluma)	45
Fig. 4-3 Implantación de plantas de tratamiento de aguas residuales propuestas (Fuente: Municipio de Caluma)	46
Fig. 4-4 Última cámara del sistema de conducción #3, previo al ingreso a la PTAR #3 (MH-18) - (Fuente: Municipio de Caluma)	48
Fig. 4-5 Primera cámara del sistema de conducción #2 (MH-20) - (Fuente: Municipio de Caluma)	48
Fig. 4-6 Esquema de conexión de nueva tubería entre las cámaras MH-18 y MH-233 - (Fuente: Autor)	49
Fig. 4-7 Perfil longitudinal en zona de conexión de sistemas- (Fuente: Autor)	50
Fig. 4-8 Zanjas de trabajo para microtunelaje y esquema de perforación horizontal direccionada - (Fuente: Autor)	51
Fig. 4-9 Esquema de PTAR propuesta (Fuente: Autor)	62
Fig. 5-1 Desplazamiento de la cámara MH-233 hacia el suroeste (Fuente: Autor)	70
Fig. 5-2 Implantación de trazado de colector de conexión de sistemas (Fuente: Autor)	71
Fig. 5-3 Esquema de PTAR propuesta (Fuente: Autor)	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Coordenadas de ubicación de PTARs a Estudiar	34
Tabla 3.2 Datos y parámetros hidráulicos de la PTAR #1	37
Tabla 3.3 Datos y parámetros hidráulicos de la PTAR #2	38
Tabla 3.4 Datos y parámetros hidráulicos de la PTAR #3	40
Tabla 4.1 Cálculo de Población Futura, Cantón Caluma	43
Tabla 4.2 Cálculo de geometría de lecho de secado	59
Tabla 4.3 Características geométricas y de equipos de PTARs #1 y #3	63
Tabla 4.4 Presupuesto referencial de construcción de las PTARs #1 y #3...	63
Tabla 4.5 Características geométricas y de equipos de la PTAR única.....	66
Tabla 4.6 Presupuesto referencial de construcción de las PTAR única.....	67
Tabla 5.1 Características geométricas y de equipos de PTARs #1 y #3	73
Tabla 5.2 Características geométricas y de equipos de la PTAR única.....	75

CAPÍTULO 1

1 Introducción

1.1 *Generalidades*

La Ingeniería Civil constituye un conjunto de herramientas y metodologías que han permitido al ser humano desenvolverse y progresar a lo largo de la historia de la humanidad.

Con el pasar de los años se han ido perfeccionando las metodologías de cálculo, estimaciones, mediciones y métodos de comprobación, que han permitido a este conjunto de disciplinas ajustar a las demandas de progreso de la humanidad.

En los últimos años el ser humano ha centrado su atención al daño ambiental que ciertos procesos, sobre todos los industriales causaban, tratando de mitigar o remediar los males causados en décadas y siglos

anteriores, sobre todos los causados en contra del subsuelo, el agua y el aire, evidencia de esto, son todos los tratados y congresos de naciones unidas, proponiendo metodologías y procedimientos para reducir y mitigar el impacto ambiental proveniente principalmente de los procesos de fabricación de productos de consumo masivo.

Esta visión de protección ambiental no solo se ha visto reflejada en la ingeniería civil, sino en otro tipo de ingenierías y carreras, sobre todo con la optimización de los procesos de extracción de las materias primas, la utilización de estas y la implementación de los procesos de reciclaje previo a la disposición final de los residuos finales.

En la ingeniería civil, sobre todo en la rama hidrosanitaria se ha visto reflejada en la inclusión de normativas que regulen emisiones de gases, concentraciones de contaminantes en efluentes que son descargados a cuerpos de agua, y lo mismo con los contaminantes que están en contacto con la superficie terrestre, subsuelo y cuerpos de agua subterráneos.

En el Ecuador existen normativas ambientales que regulan lo anteriormente mencionado, además de una concientización de los ingenieros del presente y los actuales estudiantes de ingeniería, que permitirán reducir los niveles de contaminación al grado que permita a la

naturaleza tener el debido tiempo de recuperación y regeneración de recursos.

1.2 Justificación

El presente tema ha sido propuesto con la intención de evaluar las metodologías y procesos utilizados en la propuesta planteada por el Ilustre Municipio de Caluma para la implementación de un sistema de alcantarillado sanitario y sus respectivas plantas de tratamiento de aguas servidas, que tendrían la descarga de sus efluentes los ríos Pita y Cacauyacu.

Sin embargo, existe una preocupación generalizada de los pobladores de la zona, tanto del cantón Caluma, como de las zonas aledañas, ya que los ríos en discusión son fuente de agua de consumo humano, de riego y otros diferentes usos para poblaciones aguas debajo de los lugares de descarga propuesto.

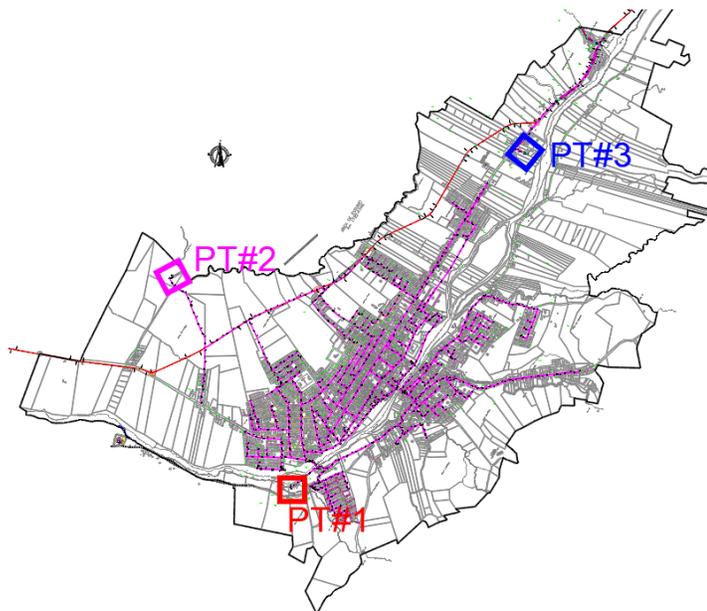


Fig. 1-1 Implantación general de las plantas de tratamiento propuestas (Fuente: Municipio de Caluma)

1.3 *Hipótesis*

¿Se puede optimizar el trazado de los colectores que conducen las aguas residuales hasta las PTARs planteadas?

En caso de que aplique, ¿se podría proponer una alternativa más económica, más eficiente y/o sustentable, para el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto?

1.4 *Objetivos*

1. Evaluar las metodologías y alternativas propuestas para el sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Caluma.

2. Optimizar el sistema propuesto mediante modificaciones de trazado de colectores del sistema de tratamiento de aguas residuales propuestos para el cantón Caluma.
3. Realizar un análisis económico comparativo entre la alternativa propuesta por el Municipio de Caluma, y la desarrollada en el presente documento.

1.5 Alcance

En el Capítulo 1 se describen los lineamientos y las hipótesis que se tratarán a lo largo de este documento, así como los objetivos que serán desarrollados en los siguientes capítulos.

En el Capítulo 2 se muestran los fundamentos teóricos requeridos para un correcto entendimiento de las metodologías utilizadas para cálculos y dimensionamientos en los capítulos de desarrollo.

En el Capítulo 3 se amplía el caso de estudio, para una mayor comprensión del estado actual, mismo que está ubicado en el cantón Caluma provincia de Bolívar.

En el Capítulo 4 se detalla y amplía la metodología seleccionada para el cálculo del sistema de tratamiento, y su posterior descarga a los ríos Pita y Cacauyacu.

Se ha evaluado el sistema propuesto por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Caluma, para la conducción, tratamiento y

descarga de las aguas residuales residenciales del cantón, mediante la metodología aerobia de lodos activados.

Sin embargo, el presente documento solo no se puede tratar como un diseño definitivo sin desarrollar las consultorías complementarias correspondientes no cubiertas.

En el Capítulo 5 se discuten los resultados obtenidos de los cálculos del Capítulo 4 con el fin de realizar una evaluación comparativa entre la metodología propuesta por el Gad Municipal de Caluma y las alternativas propuestas en el presente documento.

El Capítulo 6 contiene las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis de los resultados realizadas en el Capítulo 5 y finalmente los apéndices y demás documentos de información utilizados para la elaboración del presente documento.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

Todas las comunidades y procesos industriales producen desechos sólidos y líquidos además de emisiones contaminantes al aire. Los desechos líquidos son esencialmente el agua de dotación provista a la comunidad luego de haber cumplido su propósito como agua potable y haber sido utilizada por el ser humano en sus diversas actividades cotidianas. (Tchobanoglous et al., n.d.)

En la ingeniería Sanitaria, concretamente la relacionada con el saneamiento Y el tratamiento de algunas residuales, los efluentes de los pueblos y ciudades, deben devolverse al medio ambiente, ya sea mediante cuerpos de agua o por absorción terrestre, en condiciones que no represente un riesgo para la naturaleza. Durante los últimos años existe una gran incertidumbre y

preocupación con respecto a cómo se disponen los desechos líquidos, sobre todo los industriales. (Por & Rojas, n.d.)

En la última década y sobre todo con la ayuda de la aparición de nuevas tecnologías, investigaciones y sobre todo con la optimización de uso de energía y de procesos, ha sido posible incursionar en nuevas formas de tratamiento de aguas residuales, que permiten abaratar costos de implementación, mantenimiento y operación. Además, los estados han empezado a intervenir en la regulación y control, tanto de procesos como de descargas, estableciendo normas y leyes que limiten las emisiones y concentraciones de las sustancias desechadas, producto de las actividades cotidianas de una población o de los procesos de manufactura industriales.

Previo a cualquier consideración para una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), es importante realizar una buena caracterización del tipo de aguas que se conducirán y tratarán, para determinar cuáles serían los mejores mecanismos mecánicos y químicos para que el efluente que sea descargado a un cuerpo de agua tenga concentraciones adecuadas y permitidas, de acuerdo con las normativas internacionales y locales.

Sin embargo, en el presente documento solo se analizará el tratamiento de aguas residuales domésticas, de las cuales no se han hecho ensayos físicos

o químicos, pero de los que se puede estimar composiciones y concentraciones de contaminantes, por lo que se considerarán aguas domésticas típicas para la región.

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es un conjunto de mecanismos mecánicos, físicos y químicos por los que pasa el agua residual, con el fin de separarla de los sólidos, y eliminar de ella las sustancias contaminantes, o al menos reducirlas a concentraciones permitidas, con el fin de reducir la agresividad de estos efluentes, al ser descargados principalmente en cuerpos de agua.

Se debe estudiar el sitio de descarga de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, también es necesario estudiar el comportamiento de los cuerpos de agua donde se descarga, además de la utilización que le den poblaciones ubicadas aguas abajo.

Los principales métodos utilizados para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias en poblaciones pequeñas son:

- Lagunas de Estabilización
 - Lagunas Anaeróbicas
 - Lagunas Aerobias
 - Lagunas Facultativas
 - Lagunas de Maduración

- Lodos Activados
 - Tanques de Aireación
 - Tanques sedimentadores

Sin embargo, en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, no solo existen los tratamientos per se, sino que además existen estancias previas o intermedias, que siguen una secuencia lógica, con el fin de volver más eficientes los procesos de tratamiento, y desinfección.

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales típica está compuesta por etapas de Pre-Tratamiento, Tratamiento y Desinfección.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales propuesta para el cantón Caluma, tiene la siguiente distribución:

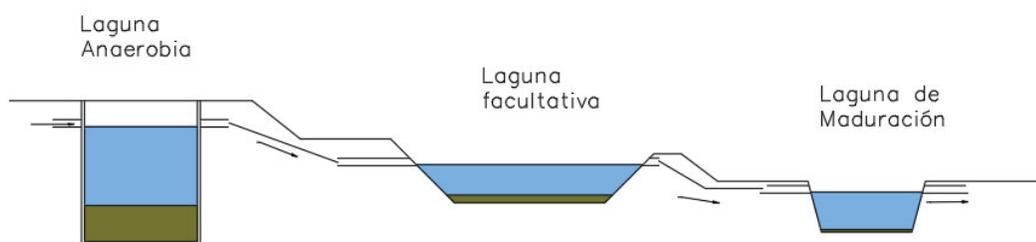
- Fase de Pre-Tratamiento
 - Cribado
 - Separador de Grasas
 - Ecuilizador
- Fase de Tratamiento
 - Reactor Biológico
 - Tanque Floculador
 - Tanque Sedimentador

- Fase de Desinfección
 - Desinfección por Clorinación
- Desechos Sólidos
 - Lecho de secado para lodos

2.1. Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son los métodos naturales más simples utilizados para el tratamiento de aguas residuales, consisten en excavaciones de forma rectangular que almacenan el agua para descomponer biológicamente el material orgánico disuelto en el agua.

Las lagunas deben poseer área superficial y volumen suficientes para proveer los tiempos de tratamiento requeridos para la degradación de la materia orgánica presente mediante mecanismos de autodepuración.



Ejemplo de esquema de tratamiento de lagunas (Fuente: Autor)

Una laguna de baja profundidad tendrá más área de contacto con el aire ambiental, mientras que una más profunda solo tendrá contacto con el oxígeno introducido de manera mecánica a la misma, mediante el uso de aireadores.

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización se realizan procesos del tipo físico, químico, bioquímico y biológico. Este proceso se lleva a cabo en casi todas las aguas estancadas con alto contenido de materia orgánica putrescible o biodegradable. De acuerdo con el contenido de oxígeno presente en las lagunas se pueden clasificar en anaerobias, aerobias, facultativas y de maduración.

2.1.1 ***Lagunas anaeróbicas***

Este tipo de tratamiento se realiza mediante la descomposición u oxidación de materia orgánica en ausencia de oxígeno libre, para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios (Romero, 1999).

Durante el proceso de digestión anaeróbica, la materia orgánica es degradada biológicamente y se producen procesos como desnitrificación de nitratos (etapa 1), hidrólisis y fermentación acetogénica o formación de

ácidos (etapa 2) y metanogénica o formación de metano (etapa 3). (Romero, 1999).

1. Etapa 1: La transformación se efectúa vía enzimática (hidrólisis). Un grupo de microorganismos se ocupa de la descomposición biológica de polímeros orgánicos en moléculas más pequeñas (hidrolización) para formar elementos estructurales básicos como azúcares mono sacáridos, aminoácidos y compuestos relacionados.
2. Etapa 2: Las bacterias anaeróbicas no metanogénicas como *Bifidobacterium* spp, *Lactobacillus*, entre otras, fermentan los productos de la materia orgánica para producir ácidos orgánicos simples (ácido acético).
3. Etapa 3: Los microorganismos convierten el hidrógeno y el ácido acético en gas metano.

Debido a la formación de gases como el sulfuro de hidrógeno durante el proceso de descomposición anaerobio se producen olores característicos de aguas residuales sépticas por lo cual se necesitan áreas extensas para realizar este tipo de tratamiento.

Según (Metcalf&Eddys, 1995) las lagunas anaerobias se utilizan para tratar aguas residuales con alta concentración de sólidos.

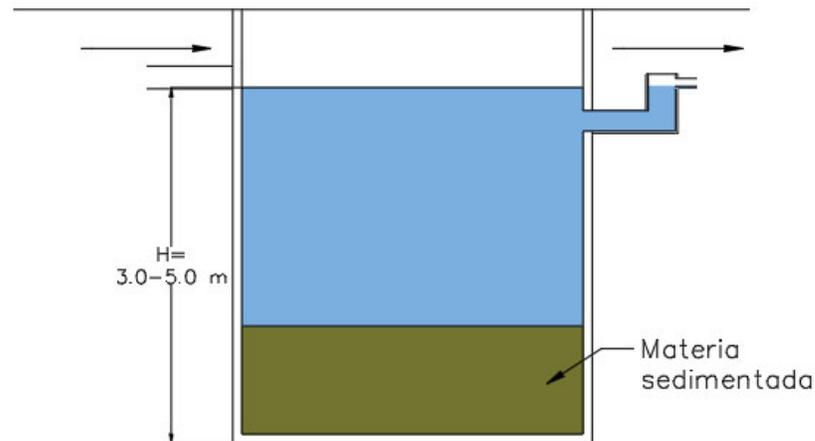


Fig. 2-1 Esquema de laguna Anaerobia (Fuente: Autor)

2.1.2 **Lagunas aerobias**

Son lagunas poco profundas de 1 a 1.5m de profundidad y suelen tener tiempo de residencia elevada, 20-30 días (Romero, 1999).

Las lagunas aerobias pueden usar oxígeno proveniente del intercambio aire – agua o mediante aireación mecánica. Según (Ramalho) “Las lagunas aireadas son balsas con profundidades de 1 a 4 m en las que la oxigenación de las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación bien sean superficiales, turbinas o difusores”.

Las lagunas aeróbicas permiten obtener efluentes de baja DBO soluble, pero de alto contenido de algas, las mismas que deberían ser retiradas con la finalidad de controlar su proliferación en los cuerpos receptores. La profundidad de las lagunas aerobias debe ser suficiente para evitar que se produzcan regiones sin oxígeno, teniendo en cuenta que la turbiedad impide el paso de la luz solar.

Las profundidades usuales se encuentran de 30 a 45 centímetros. Los tiempos de retención hidráulicos teóricos (volumen de la laguna / caudal medio tratado) están entre 10 a 40 días de modo que el terreno requerido para esta tecnología puede ser excesivamente grande. La tasa de carga de este tipo de lagunas se encuentra en el rango de 85 a 170 Kg. de D805 por hectárea / día. (Metcalf&Eddys, 1995).

Las bacterias son los organismos más utilizados en el tratamiento aerobio de aguas residuales.

2.1.3 ***Lagunas facultativas***

Las lagunas facultativas tienen una zona aerobia en la parte superficial que estabiliza la materia orgánica mediante el oxígeno que proviene principalmente de las algas principalmente y una zona anaerobia en el fondo. Este tipo de tratamiento utiliza microorganismos aerobios y anaerobios

además de algas que son las principales productoras de oxígeno. Las bacterias proveen de nutrientes solubles como nitratos, fosfatos y dióxido de carbono que se genera al metabolizar de manera aeróbica los compuestos orgánicos. (Romero, 1999).

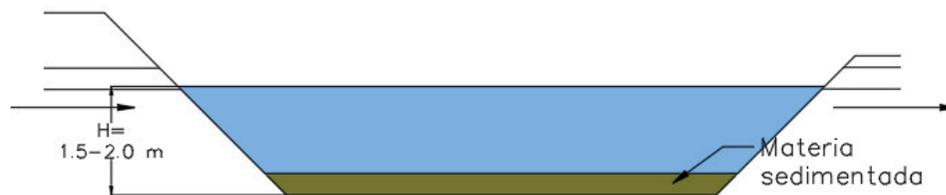


Fig. 2-2 Esquema de laguna Facultativa (Fuente: Autor)

Para lograr un buen funcionamiento de las lagunas facultativas se debe respetar tiempo de residencia, mantener un flujo constante, evitar el exceso de profundidad, otros).

La carga probable para estas lagunas cae entre 20 y 60 Kg. D805 por hectárea/día. El tiempo de residencia hidráulico teórico varía entre 25 a 180 días y para eliminar coliformes fecales se diseña para un periodo 180 días y para que el proceso de descomposición tenga mayor eficiencia la profundidad de las lagunas suele ser de 1 a 2 metros.

Para evitar que se produzcan regiones sin actividad bacteriana (zonas muertas) hay que garantizar un flujo constante y que utilice todo el volumen de la laguna.

2.1.4 **Lagunas de maduración**

Una vez que se ha realizado un tratamiento primario ya sea mediante una planta de tratamiento convencional o una laguna facultativa el agua residual debe pasar a un tratamiento final donde se eliminen los organismos patógenos presentes. Las lagunas de maduración constituyen la última etapa del tratamiento y tienen un tiempo de retención entre 5 y 10 días por lo que su profundidad varía de 1.00 a 1.50 metros aproximadamente. (Romero, 1999).

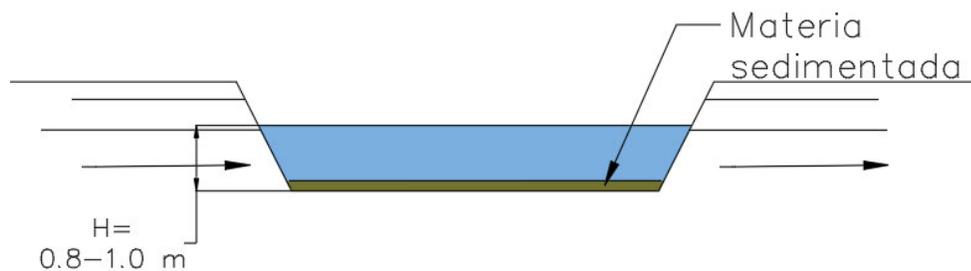


Fig. 2-3 Esquema de laguna de Maduración (Fuente: Autor)

Los principales objetivos de las lagunas de maduración es la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del

efluente y consecución de un efluente bien oxigenado. Además de ayudar en el proceso de desinfección.

2.2. Lodos activados

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Arden Locket y su principal característica es que su funcionamiento proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo orgánico por vía aerobia.

El sistema de lodos activados se utiliza para tratar la materia orgánica coloidal fina que no fue eliminado en el tratamiento primario. La descomposición de la materia orgánica es realizada por microorganismos como bacterias, algas, protozoos, entre otros, que crecen se agrupan para crear partículas de mayor tamaño que pueden decantarse con mayor facilidad a esto se le conoce como "lodo activado". (Ramalho).

En el proceso de lodos activados se pueden realizar dos operaciones, oxidación biológica y la separación sólido-líquido. La oxidación biológica tiene lugar en el denominado reactor biológico, donde se mantiene el cultivo biológico en contacto con el agua residual y aireación mecánica. El cultivo biológico, denominado líquido de mezcla, está formado por gran número de microorganismos agrupados en flóculos conjuntamente con materia orgánica

y sustancias minerales. Dichos microorganismos transforman la materia orgánica mediante las reacciones de oxidación biológica anteriormente mencionadas (Metcalf&Eddys, 1995).

La combinación de microorganismos y la concentración de sólidos en suspensión en el sustrato de mezcla, debe conservarse a un determinado nivel para lograr un equilibrio entre la carga orgánica a eliminar y la cantidad de microorganismos necesarios. Una vez que la materia orgánica ha sido suficientemente oxidada el sustrato de mezcla pasa al decantador secundario.

El agua con lodos se deja reposar y por tanto, la materia de mayor tamaño (flóculos) se sedimentan consiguiendo así separar el agua clarificada de los fangos. El agua clarificada y desinfectada se vierte en el curso receptor y parte de los fangos floculados son recirculados de vuelta al reactor biológico para mantener una concentración suficiente de microorganismo. El excedente de fangos se extrae del sistema y se evacua hacia el tratamiento de fangos.

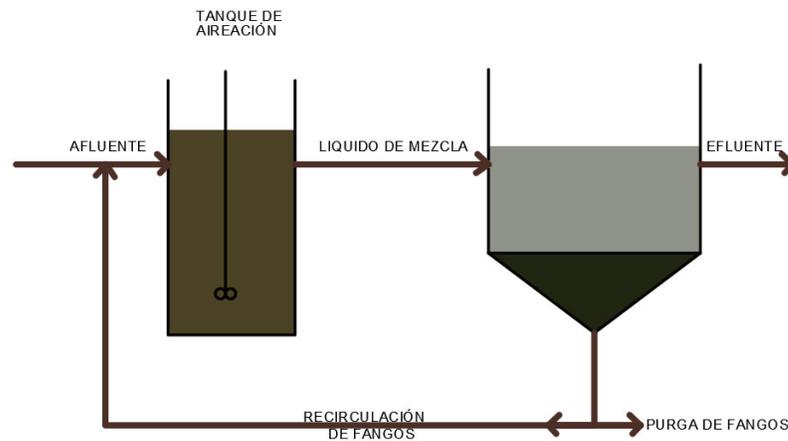


Fig. 2-4 Proceso de lodos activados (Fuente: Autor)

2.1.1 *Tanque de aireación*

El tanque de aireación también conocido como reactor biológico tiene como finalidad mantener a los microorganismos en suspensión y aireados por medio de la agitación y la inyección de oxígeno. (González, 2003)

2.1.2 *Tanque sedimentador*

El tanque sedimentador recibe el agua proveniente del tanque de aireación y ayuda a que los sólidos suspendidos se sedimenten quedando en la superficie el agua clarificada. Parte de los lodos que se decantan retornan al tanque de aireación para mantener la concentración de microorganismos, mientras que los residuos se distribuyen para su posterior tratamiento. (González, 2003)

2.3. *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)*

2.1.1 *Cribado*

La finalidad de esta etapa es la separación y reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos. Consta de un conjunto de rejillas de diversas separaciones o aberturas que son dependientes de los sólidos esperados en el ingreso a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, las mismas que son limpiadas periódicamente manual o mecánicamente. (R.S. Ramalho - *Tratamiento de Aguas Residuales*, n.d.)

Si bien la separación de las rejillas depende del tipo de sedimentos y sólidos esperados, se puede establecer que, para los finos, se tiene rejillas con aberturas de 5mm o menos, y generalmente, estas rejillas se fabrican en malla metálica de acero, o con el uso de planchas de acero perforado, su eficiencia está en el orden del 5% al 25% de reducción de sólidos de la mezcla del afluente de la PTAR.

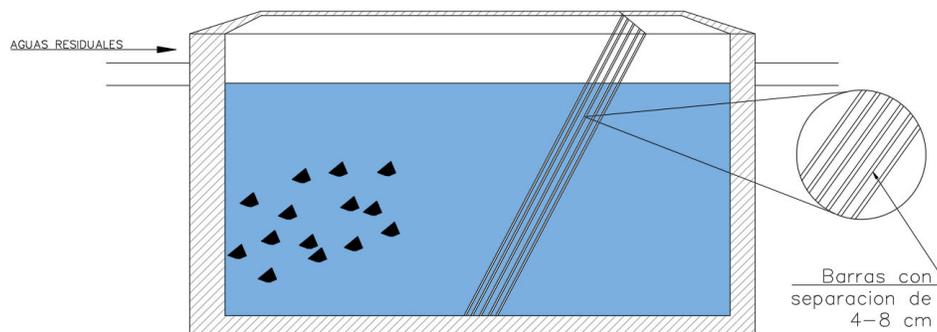


Fig. 2-5 Esquema de laguna de Maduración (Fuente: Autor)

Las cribas ubicadas para los sólidos gruesos tienen aberturas que van entre los 4 cm. y 8 cm., y son principalmente utilizados para separar basura los restos de que hayan podido ser arrastrados a la PTAR, evitando así el daño y contaminación de los equipos de tratamiento. (R.S. Ramalho - *Tratamiento de Aguas Residuales*, n.d.)

2.1.2 **Separador de grasas**

Las grasas son sustancias que no se diluyen en el agua, al contrario, flotan en ella, y son difícilmente eliminables, además, y dependiendo de su origen, podrían llegar a ser muy contaminantes y agresivas para el medio ambiente, o el ecosistema en donde sean vertidas como disposición final, teniendo la capacidad de contaminar gravemente el agua superficial, subterránea y superficie terrestre.

En el caso de las aguas domiciliarias, estas llevan disueltas grasas, aceites y detergentes, generalmente producto de las tareas de limpieza realizadas en el diario vivir de los pueblos y ciudades de donde se recolectan estas aguas servidas.

Por lo que existe la necesidad de incluir en el diseño de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domiciliarias un separador de grasas, que evite que se proliferen espumas sustancias y terminen en el efluente de

descarga, además que su naturaleza agresiva reduciría el tiempo de vida útil de los equipos mecánicos de la planta.

Generalmente el equipo desengrasado también sirve como desarenador, puesto que el tiempo de residencia hidráulico que permanece la mezcla, también permite que los sólidos suspendidos de diámetros mayores a 2 mm. se decanten, y puedan ser retirados de manera manual o mecánicamente.

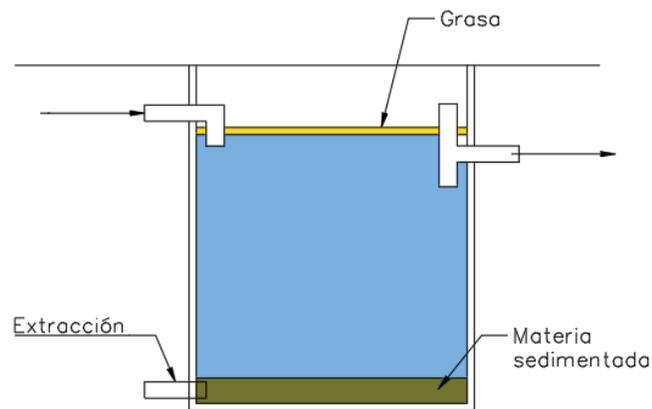


Fig. 2-6 Esquema de laguna de Maduración (Fuente: Autor)

2.1.3 ***Ecualizador o Tanque Homogenizador***

La función de un ecualizador puede ser mezclar, almacenar/derivar, o amortiguar los picos de caudales de ingreso para mantener un flujo constante dentro de la planta y la carga orgánica a niveles consistentes para un correcto tratamiento biológico.

2.1.4 **Reactor biológico**

El reactor biológico corresponde a un tratamiento secundario del agua residual en el cual se produce la degradación biológica de la materia orgánica y la separación del agua tratada y de los lodos por medio de la decantación. (Romero, 1999).

En esta etapa las bacterias crecen utilizando como sustrato los contaminantes presentes del agua residual como materia orgánica, nitratos y fósforo y forman compuestos de mayor tamaño que se pueden sedimentar. (González, 2003) .

El ciclo del reactor biológico consta de 3 etapas, iniciando con el ingreso del agua residual al reactor luego de ser pretrada, se producen períodos óxicos (aireación) y anóxicos (Agitadores en funcionamiento para mantener el fango suspendido) en función de las características de las aguas. Posteriormente la aireación se detiene para que los sólidos sedimenten en el fondo del reactor y el agua clarificada se quede en la parte superior.

El reactor está diseñado para permitir la decantación de los sedimentos una vez que concluye la etapa de agitación y a su vez recibir agua del afluente sin afectar el proceso anterior. Finalmente, el agua de la parte superior sale

del tanque mediante un decantador móvil y se retiran los fangos en exceso del fondo con una concentración próxima 0,85%. (Ramalho).

En la elección del reactor se deben considerar varias condiciones como: la naturaleza del agua a tratar, el proceso de tratamiento, condiciones medioambientales, costos constructivos y otros. Los reactores utilizados en el tratamiento de las aguas residuales son:

- a) Flujo continuo
- b) Flujo de pistón
- c) Reactores de mezcla completa (unitaria y en serie)

2.1.5 ***Tanque floculador***

Las partículas coloidales se agrupan gracias a la acción de los coagulantes y forman flóculos de mayor tamaño que pueden ser precipitados de manera más rápida. En el floculador se produce una agitación lenta que permite que el crecimiento y aglomeración de los flóculos con la finalidad de aumentar su tamaño para que puedan decantarse con mayor facilidad.

El objetivo del floculador es proporcionar a la masa de agua coagulada una agitación lenta aplicando velocidades decrecientes, para promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que la suspensión de

agua y flóculos salga de la unidad. La energía que produce la agitación del agua puede ser de origen hidráulico o mecánico.

2.1.6 ***Tanque de sedimentación***

De acuerdo con (Romero, 1999) los sedimentadores son diseñados para remover la materia orgánica soluble y coloidal que permanece después del tratamiento primario.

La principal función del tanque de sedimentación es permitir que los flóculos que se forman en el tanque floculador se decanten gracias a la gravedad. El agua decantada sale por la parte superior y continúa el proceso de tratamiento mientras que las partículas de mayor tamaño se depositan en el fondo y posteriormente son eliminadas.

Para mayor eficiencia de un tanque sedimentador se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Proveer adecuada y rápida recolección del lodo sedimentado, así como de la espuma.
- Minimizar las corrientes de salida, limitando las cargas de rebose sobre el vertedero. El efluente debe salir sin alterar el contenido del tanque.

- Proveer profundidad suficiente para almacenar lodo y permitir su espaciamiento adecuado.
- Borde libre mayor de 30 cm.
- Reducir efectos del viento mediante pantallas y vertederos.

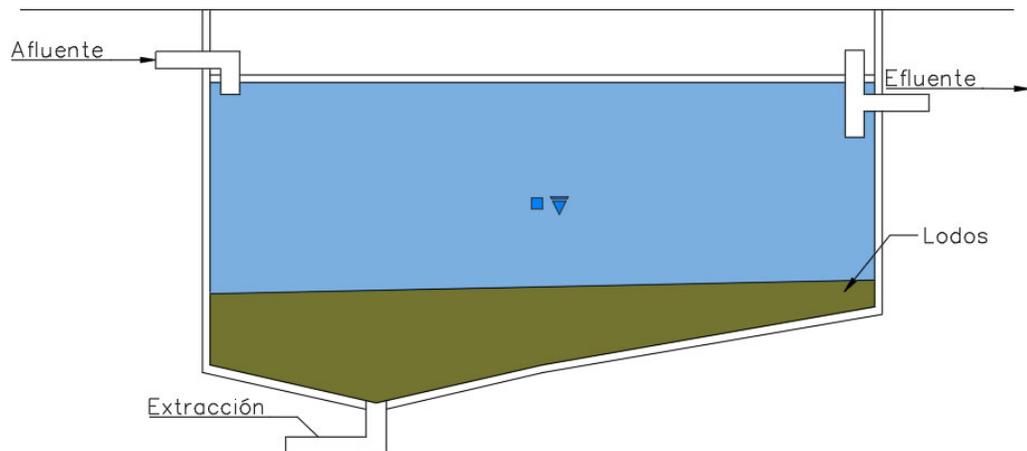


Fig. 2-7 Esquema de laguna de Maduración (Fuente: Autor)

2.1.7 **Desinfección**

Las aguas que han pasado el tratamiento primario y secundario tienen un alto contenido de bacterias las cuales deben ser eliminadas para poder enviar el agua al efluente.

La desinfección es el proceso mediante el cual se eliminan microorganismos patógenos presentes en el agua por medio de desinfectantes físicos o químicos con una correcta dosificación. La desinfección evita que las

bacterias presentes en el agua residual se multipliquen y contaminen el efluente donde será descargada. (Romero, 1999).

2.1.8 ***Lecho de secado***

Los lodos son los residuos orgánicos y biológicos producto de los tratamientos primarios y secundarios y deben ser tratados para evitar la contaminación. Los lechos de secado son estructuras de concreto de poca profundidad que sirven para disminuir la humedad de los lodos, consta de un lecho filtrante de arena y adoquín que permite la eliminación del agua y un techo para evitar el incremento de humedad de los lodos.

Los lechos de secado son sistemas sencillos y de bajo costo que permiten la deshidratación de los lodos digeridos disminuyendo su peso. La eliminación del agua de los fangos se realiza de manera natural mediante la evaporación, quedando un material sólido con un contenido de humedad menor al 70%. (Metcalf&Eddys, 1995).

Los lodos secos se retiran del lecho y se lo puede reutilizar como abono debido a su alto contenido de material orgánico. Los lechos de lodos más comunes son los de arena rectangular poco profundo, con fondos porosos colocados sobre un sistema de drenaje.

El lodo se coloca sobre el lecho en capas de 20 a 30 cm y se deja secar. El desagüe se realiza mediante drenaje de las capas inferiores y evaporación de la superficie por acción del sol y del viento. El agua percola a través del lodo y de la arena para ser removida por la tubería de drenaje en un periodo corto y una vez formada una capa de lodo sobrenadante, el agua es removida por decantación y por evaporación. Los fangos se agrietan a medida que se secan, permitiendo evaporación adicional y el escape de agua lluvia desde la superficie. (Romero, 1999).

El diseño de lechos de secado de lodos depende factores como el clima, características del lodo, costo del terreno y el pretratamiento de lodos.

Según (Romero, 1999) con el secado de lodos se logra lo siguiente:

- Reducir los costos de transporte del lodo a sitio de disposición.
- Facilitar el manejo del lodo puesto que el lodo seco se puede manejar por medio de carretillas.
- Aumentar el valor calórico del lodo para facilitar su incineración.
- Minimizar la producción de lixiviados al disponer del lodo en un relleno sanitario.
- Reducir la humedad para disminuir el volumen de lodo y facilitar su manejo y hacer más económico su tratamiento posterior y su disposición final.

Entre las principales ventajas de un lecho de secado tenemos que es un sistema de costo bajo si hay terreno disponible, no requiere operación especial, el consumo de energía es bajo, la alteración de las características del lodo es mínima, obtención de alto contenido de sólidos posterior al secado y la reutilización de lodos.

2.4. Excavación sin zanjas (microtunelaje)

La metodología de construcción sin zanjas se utiliza para realizar excavaciones en las que la altura de excavación o la incapacidad de obstaculizar la circulación son los principales inconvenientes. Este sistema reduce la interferencia con el tráfico, tiene una menor ocupación de espacios disminuye el tiempo de construcción, es de bajo costo, menor impacto ambiental debido a que la emisión de material particulado se reduce, disminución del ruido, reduce la afectación a la flora y la fauna y se generan menos escombros porque el volumen de excavación disminuye. (PFEIFFER, 2017).

Existen varias maneras de realizar la microtunelación, por ejemplo:

- a) Método de compactación del suelo.
- b) Perforación dirigida horizontal (Horizontal Directional Drilling -HDD)
- c) Perforación por golpeo (Pipe Ramming)
- d) Perforación Horizontal con tubo sin-fin (Horizontal Auger Boring-HAB)

- e) Hincado de tubería (Pipe Jacking – PJ)
- f) Excavación con microtuneladora.

La perforación dirigida horizontal y la excavación con microtuneladora son las más usadas actualmente.

Los inicios del método de Perforación Horizontal Dirigida (HDD por sus siglas en inglés) se remontan durante la década de 1970 en la industria del petróleo y ha evolucionado de tal manera que en la actualidad se pueden instalar tuberías mayores a 1.00 metro y alcanzar longitudes de 1.5 Km. (Australasian Society for Trenchless Technology, 2009)

El sistema de Perforación Horizontal Dirigida consta de 2 etapas:

En la primera etapa se realiza una perforación piloto de un diámetro entre 2.5 cm a 12.5 cm para lo cual se usa varillas de perforación rotatoria que son impulsadas por una plataforma. Las varillas son monitoreadas por un detector que recibe la señal de un portasonda que se coloca en la parte de atrás de la broca.

En la segunda etapa una vez que se ha llegado al punto final se retira las varillas y se colocan escarificadores al extremo de la perforación y se realizan varias pasadas hasta lograr el diámetro requerido y posteriormente se coloca la tubería a instalarse. (Australasian Society for Trenchless Technology, 2009)

El equipo utilizado generalmente es como el de la Fig. 2-8 y consta de una plataforma con un tren que mueve tubos de perforación de manera horizontal, los tubos se van añadiendo de manera consecutiva, lo que limita la longitud de perforación solo a la disponibilidad de tubos, es decir, no existe un límite de longitud de perforación.

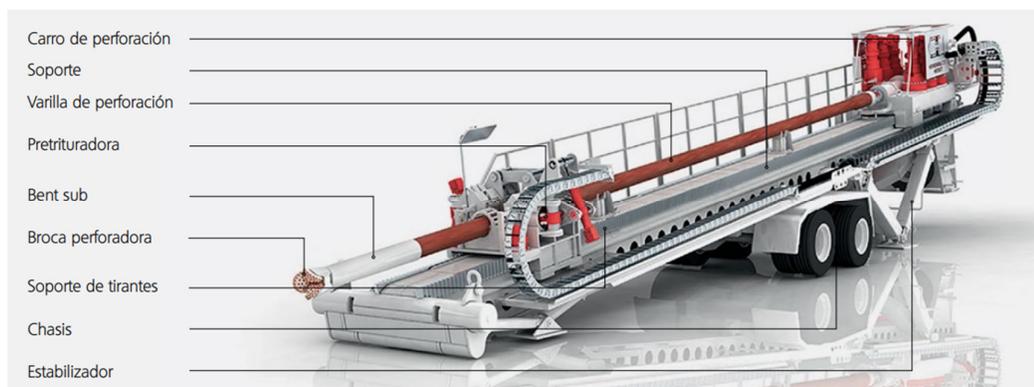


Fig. 2-8 Equipo de perforación horizontal (Fuente: Pfiffer)

El proceso de microtunelaje se basa en empujar tuberías que son guiadas por un sistema láser y que es controlado de manera remota. La ventaja de excavación de túneles con microtuneladora es que se puede realizar debajo del nivel freático y el equipo no es tripulado, sino que es manipulada desde la superficie. Este método requiere realizar dos zanjas, una de ingreso y otra de salida de la tubería.

CAPÍTULO 3

3 DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El presente estudio se ha sido realizado en el cantón Caluma, provincia de Bolívar, puntualmente en los cuerpos de agua que atraviesas dicho poblado, el río Cacuyacu en la zona norte, y el río Pita, que atraviesa el área urbana del cantón. De estos puntos se recolectaron muestras de agua, específicamente en las zonas donde serían las descargas de la PTARs proyectadas, como se muestra en la Fig. 3-1.

El estudio recibido por parte de la Municipalidad del cantón Caluma, presenta tres plantas de tratamiento de aguas residuales con sus respectivas descargas, ubicadas en las siguientes coordenadas, mostradas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Coordenadas de ubicación de PTARs a Estudiar

Punto de Descarga	Norte (m)	Este (m)
PTAR 1	9818711	693250
PTAR 2	9820437	692283
PTAR 3	9821422	695110

En la siguiente imagen se muestra la ubicación de las Plantas de tratamiento de aguas residuales, con respecto al cantón Caluma.

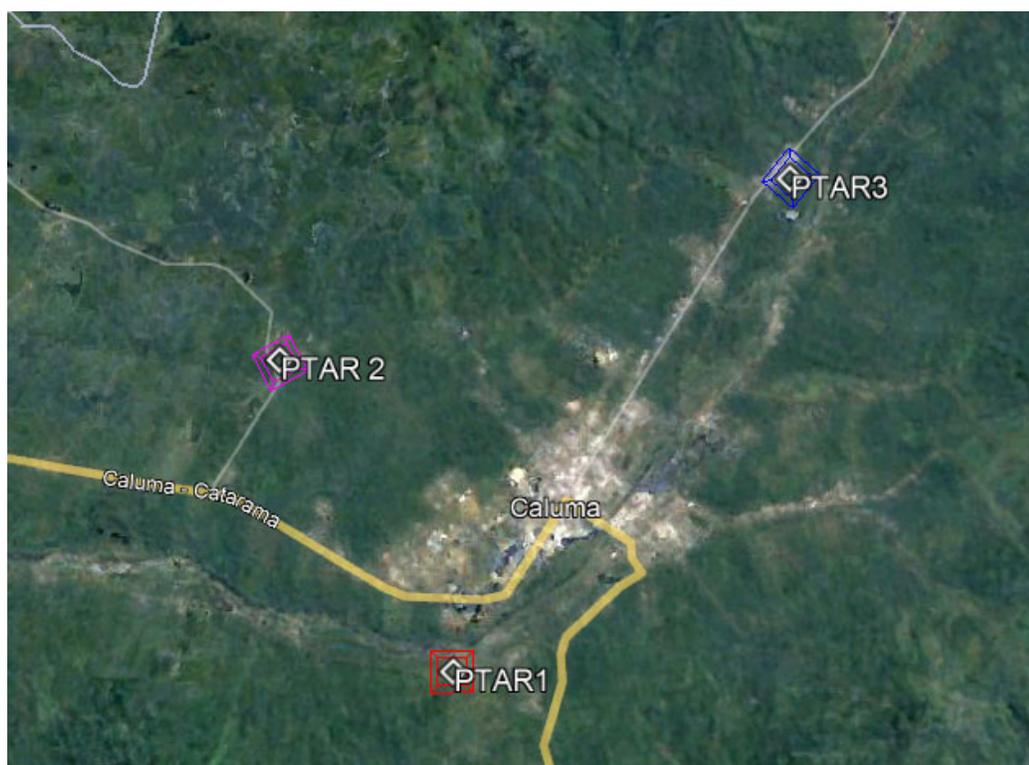


Fig. 3-1 Implantación general de las Plantas de Tratamiento proyectadas para el cantón Caluma (Fuente: Google Earth)

La PTAR 1, trata las aguas residuales recolectadas de la parte sur del cantón Caluma, mientras que la la noreste esta cubierta por la PTAR 3, y la PTAR 2 cubre la zona norte.

La intención del presente estudio es evaluar la metodología de diseño de las plantas de tratamiento, y proponer de ser el caso, alternativas de optimización de los diseños debido al tema ambiental, económico o social.

Se ha analizado la topografía del cantón y se observa que la zona ubicada la norte del río Pita, tiene pendientes que drenan sus aguas superficiales hacia la quebrada que atraviesa el centro urbano, mientras que la zona ubicada al sur del río, presenta pendientes en sentido contrario, por lo que se puede afirmar que la topografía tiene una forma de valle, siendo el río Pita, el área más baja de la zona estudiada.

La PTAR #2, se trata como asilada, ya que por la topografía de la zona, y por la ubicación de las áreas de las que recolectaría las aguas servidas que serán tratadas en esta planta, la descarga se realizaría en el río Cacuayacu, y no en el río Pita, como en el caso de las PTARs #1 y #3.

Por lo anteriormente expuesto, para el estudio de optimización, se ha tomado como elementos de evaluación las PTAR #1 y #3, con la finalidad de conectarlas en un solo sistema, de esta manera evitando la construcción de

una de las plantas de tratamiento, buscando la reducción económica que esto representaría.

3.1 *Planta de tratamiento de aguas residuales #1*

La planta de tratamiento de aguas residuales #1 se encuentra ubicada al sur del cantón Caluma, recolecta y trata las aguas de 2 ramales principales, como se puede apreciar en la siguiente imagen y su descarga es sobre el Río Pita.

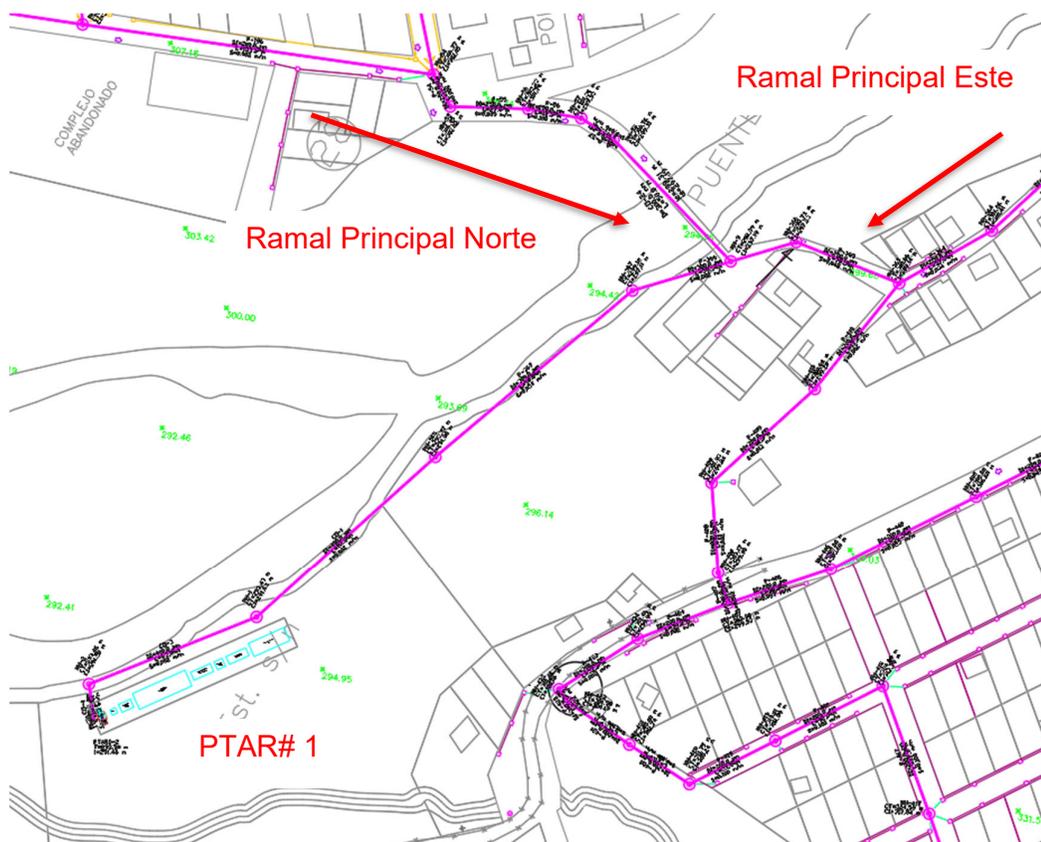


Fig. 3-2 Implantación general de la Planta de Tratamiento de aguas residuales #1

Como se muestra en la Fig. 3-2, a esta planta de tratamiento de aguas residuales llegan 2 colectores.

Tabla 3.2 Datos y parámetros hidráulicos de la PTAR #1

Datos Hidráulicos PTAR #1								
Sector 1								
Parámetros								
Población Aproximada al final del diseño:					2267 hab			
Dotación Recomendada:					220 lt/hab-día			
Coeficiente de Retorno:					0.8			
Área de Influencia:					221.24 ha			
Caudal Conexiones Ilícitas:					80 lt/hab-día			
Caudal por infiltraciones:					8.41 lt/s			
# Años	Hab.	Dotación lt/hab-día	Densidad Poblacional (hab/ha)	Factor de Mayoración	Caudal Medio (lt/s)	Infiltración (lt/s)	Conexiones Ilícitas (lt/s)	Caudal de Planta (lt/s)
25	2267	220.00	10.25	3.54	4.62	4.21	2.10	8.82
Sector 2								
Parámetros								
Población Aproximada al final del diseño:					2375 hab			
Dotación Recomendada:					220 lt/hab-día			
Coeficiente de Retorno:					0.8			
Área de Influencia:					183.36 ha			
Caudal Conexiones Ilícitas:					80 lt/hab-día			
Caudal por infiltraciones:					8.9 lt/s			
# Años	Hab.	Dotación lt/hab-día	Densidad Poblacional (hab/ha)	Factor de Mayoración	Caudal Medio (lt/s)	Infiltración (lt/s)	Conexiones Ilícitas (lt/s)	Caudal de Planta (lt/s)
25	2375	220.00	12.95	3.53	4.84	4.45	2.20	9.29
Resumen								
Caudal de planta de tratamiento de aguas residuales					18.11 lt/s			
Caudal de red de recolección de aguas residuales					46.38 lt/s			

3.2 Planta de tratamiento de aguas residuales #2

La planta de tratamiento de aguas residuales #2 se encuentra ubicada en la parte norte del cantón, recolectando las aguas residuales de esta zona, tratándolas y descargando sobre el Río Cacaayacu.

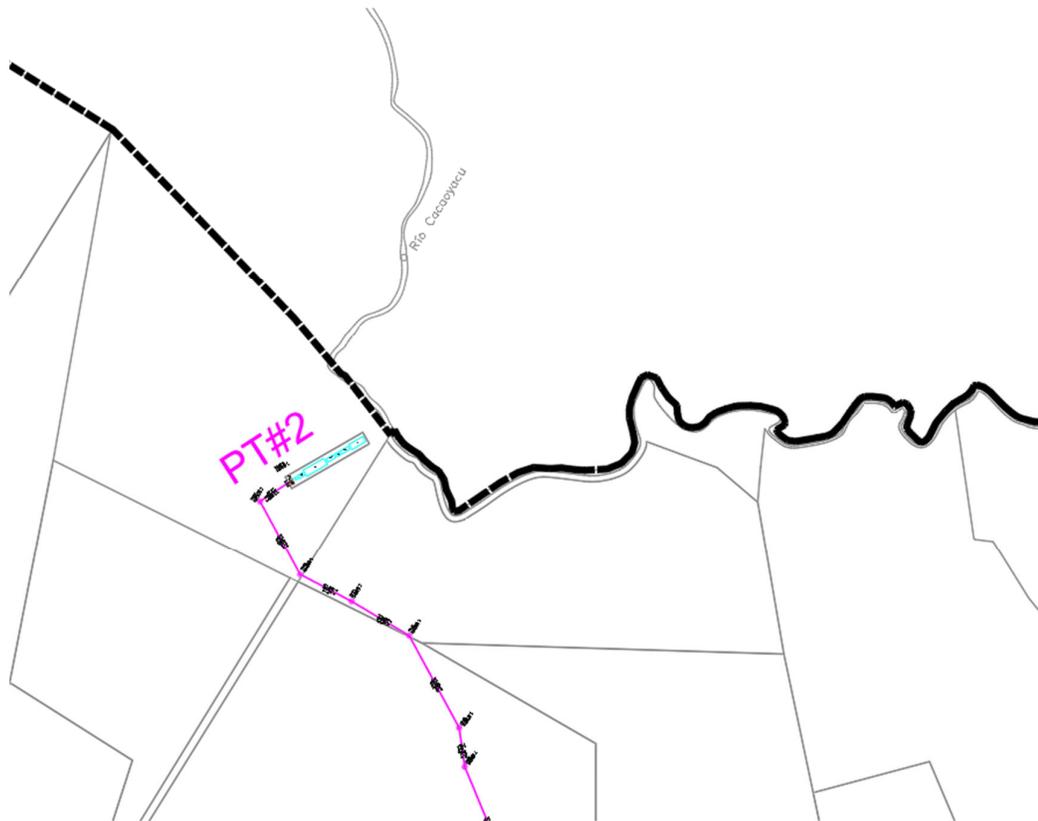


Fig. 3-3 Implantación general de la Planta de Tratamiento de aguas residuales #2

Tabla 3.3 Datos y parámetros hidráulicos de la PTAR #2

Datos Hidráulicos PTAR #2								
Parámetros								
Población Aproximada al final del diseño:						7974 hab		
Dotación Recomendada:						220 lt/hab-día		
Coeficiente de Retorno:						0.8		
Área de Influencia:						635.56 ha		
Caudal Conexiones Ilícitas:						80 lt/hab-día		
Caudal por infiltraciones:						6.13 lt/s		
# Años	Hab.	Dotación lt/hab-día	Densidad Poblacional (hab/ha)	Factor de Mayoración	Caudal Medio (lt/s)	Infiltración (lt/s)	Conexiones Ilícitas (lt/s)	Caudal de Planta (lt/s)
25	7974	220.00	12.55	3.05	16.24	3.07	7.38	19.31
Resumen								
Caudal de planta de tratamiento de aguas residuales						19.31 lt/s		
Caudal de red de recolección de aguas residuales						60.02 lt/s		

3.3 Planta de tratamiento de aguas residuales #3

La Planta de tratamiento de aguas residuales #3, es la más pequeña de las planteadas en el proyecto municipal, ya se que solo trata las aguas servidas de una población de 450 habitantes aproximadamente, y su área de influencia es solo de 31 ha. por lo que se buscará evitar la construcción de esta PTAR, con el fin de conectar los colectores que llegan hasta esta planta, con la red de recolección de la PTAR #2.

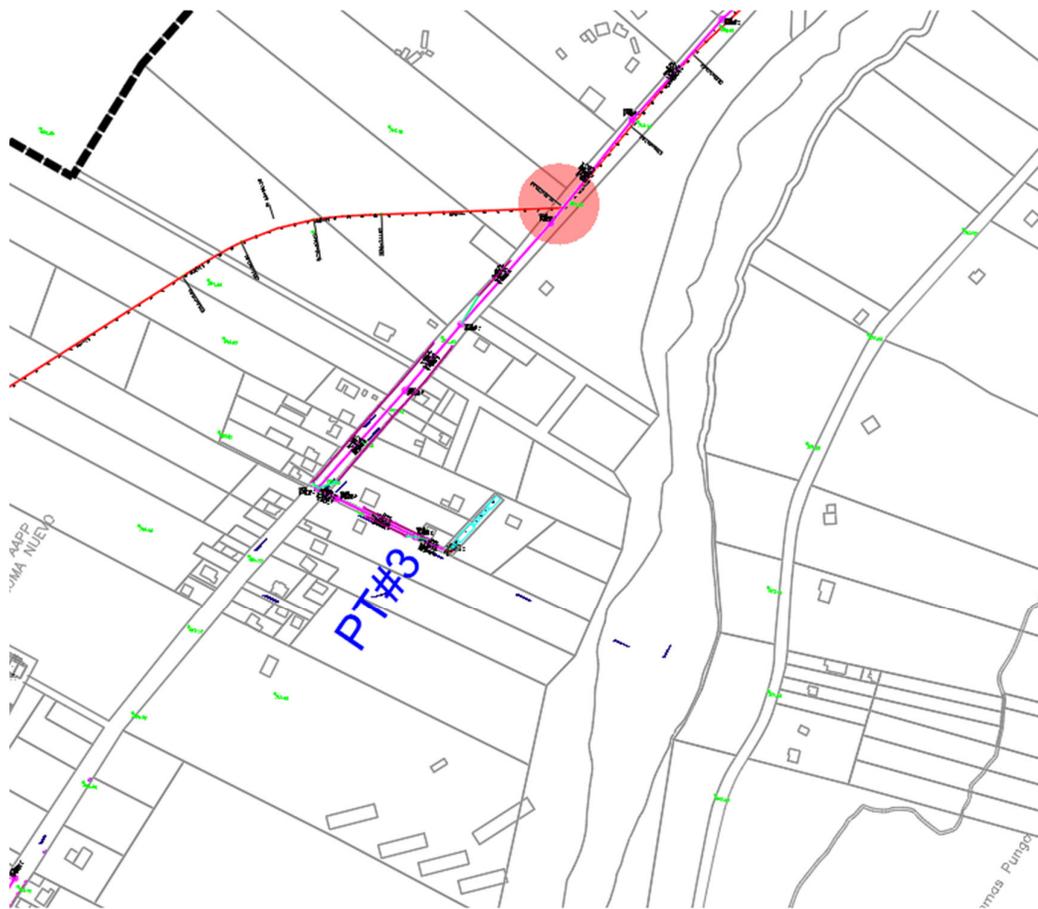


Fig. 3-4 Implantación general de la Planta de Tratamiento de aguas residuales #3

Tabla 3.4 Datos y parámetros hidráulicos de la PTAR #3

Datos Hidráulicos PTAR #3								
Parámetros								
Población Aproximada al final del diseño:						447 hab		
Dotación Recomendada:						220 lt/hab-día		
Coeficiente de Retorno:						0.8		
Área de Influencia:						31 ha		
Caudal Conexiones Ilícitas:						80 lt/hab-día		
Caudal por infiltraciones:						15.17 lt/s		
# Años	Hab.	Dotación lt/hab-día	Densidad Poblacional (hab/ha)	Factor de Mayoración	Caudal Medio (lt/s)	Infiltración (lt/s)	Conexiones Ilícitas (lt/s)	Caudal de Planta (lt/s)
25	447	220.00	14.42	4.00	0.91	7.59	0.41	8.50
Resumen								
Caudal de planta de tratamiento de aguas residuales						8.50 lt/s		
Caudal de red de recolección de aguas residuales						11.64 lt/s		

3.4 Diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales

El sistema planteado por el proyecto municipal está basado en el uso de un sistema biológico aerobio de lodos activados convencionales con el fin de que sea fácil de operar, sea altamente eficiente en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos, presente buena estabilidad de los lodos resultantes de los procesos, para su posterior disposición final y además el poco riesgo que presenta este sistema en molestias a la comunidad, especialmente en la emisión de malos olores ambientales.

CAPÍTULO 4

4 METODOLOGÍA

4.1 *Preparación de datos*

4.1.1 *Datos Topográficos*

Se lograron obtener datos de las cotas de tapa e invert de cada una de las cámaras proyectadas del diseño municipal, así como las longitudes, los diámetros, cotas de inicio y fin de colectores y las dimensiones de las cajas intradomiciliarias, con lo que se puede identificar el sentido de escurrimiento, las pendientes, etc.

No se tiene información topográfica del estado actual, sin embargo, como se muestra en la Fig. 4-1 se dispone de toda la información geométrica de los diseños propuestos, lo que es suficiente para la evaluación y optimización del trazado, que es parte fundamental de los objetivos de este documento.

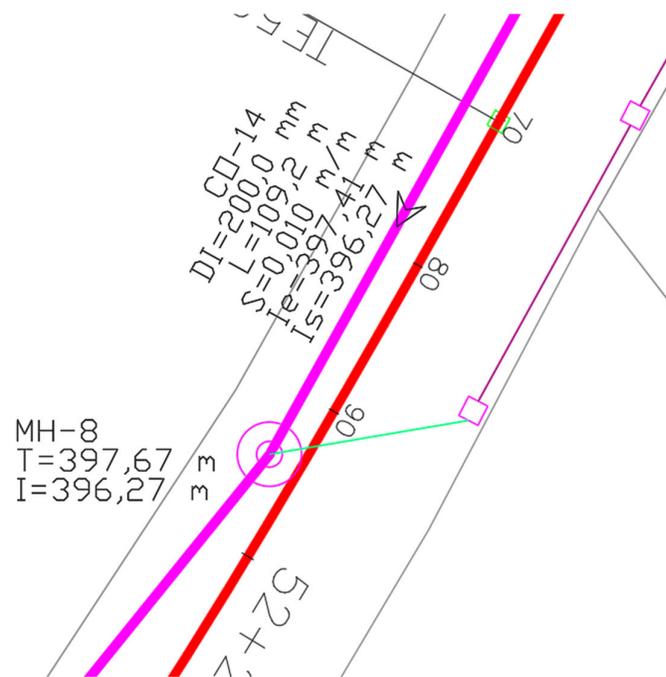


Fig. 4-1 Información geométrica disponible de los diseños propuestos (Fuente: Municipio de Caluma)

4.1.2 Población

Según el último censo poblacional realizado en 2010 por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC) el cantón Caluma cuenta con una población de 13129 personas. De estas 6269 viven en parroquias urbanas, mientras que el restante (6860 personas) viven en poblaciones rurales del cantón. Del mismo censo del INEC de 2010 se pudo obtener la tasa de crecimiento poblacional para el cantón, que es de 1.89%.

Las redes de alcantarillado, solo cubren la población urbana, por lo que el dato poblacional tomado es 6269 habitantes (para el año 2010). El período

de diseño normalmente utilizado para este tipo de poblaciones es de 25 años, sin embargo, el estudio presentado por la Municipalidad de Caluma fue realizado en el año de 2017, por lo que es necesario realizar un pequeño ajuste, para que el inicio de actividades de las plantas de tratamiento de aguas residuales corresponda al año 2022.

Tabla 4.1 Cálculo de Población Futura, Cantón Caluma

Población Futura Cantón Caluma				
Población Actual (Censo 2010):		6269 hab		
Período de diseño:		25 años		
Tasa de Crecimiento:		1.89 %		
Población Flotante:		15 %		
#	Año	$Pf=P_0(1+r)^n$	Población Flotante	Población Estimada
	2010	6269	940	7209
	2011	6387	940	7327
	2012	6508	940	7448
	2013	6631	940	7571
	2014	6757	940	7697
	2015	6884	940	7824
	2016	7014	940	7954
	2017	7147	940	8087
	2018	7282	940	8222
	2019	7420	940	8360
	2020	7560	940	8500
	2021	7703	940	8643
1	2022	7848	940	8788
2	2023	7997	940	8937
3	2024	8148	940	9088
4	2025	8302	940	9242
5	2026	8459	940	9399
6	2027	8619	940	9559
7	2028	8781	940	9721
8	2029	8947	940	9887

9	2030	9117	940	10057
10	2031	9289	940	10229
11	2032	9464	940	10404
12	2033	9643	940	10583
13	2034	9826	940	10766
14	2035	10011	940	10951
15	2036	10200	940	11140
16	2037	10393	940	11333
17	2038	10590	940	11530
18	2039	10790	940	11730
19	2040	10994	940	11934
20	2041	11202	940	12142
21	2042	11413	940	12353
22	2043	11629	940	12569
23	2044	11849	940	12789
24	2045	12073	940	13013
25	2046	12301	940	13241

Se tiene entonces que la población esperada para el año 25 de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales estudiada, sería de 13241 pobladores.

4.1.3 ***Colector de descarga en PTAR #3***

La PTAR #3, recibe y trata las aguas servidas de la zona conocida como “Estero del Pescado” y su longitud es de aproximadamente 1.40 km, manteniendo un diámetro de tubería constante desde su inicio hasta la descarga en la PTAR de 200 mm.

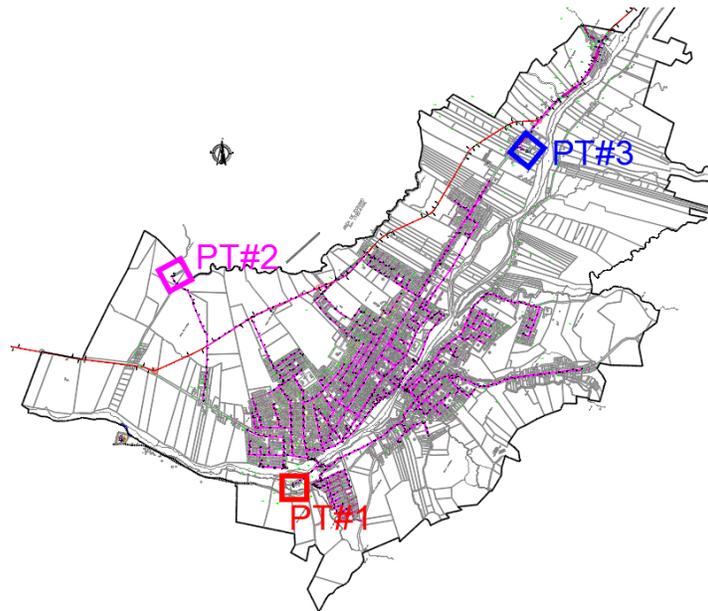


Fig. 4-3 Implantación de plantas de tratamiento de aguas residuales propuestas (Fuente: Municipio de Caluma)

Se puede apreciar en la Fig. 4-3 que el área de influencia de la PTAR #3 es menor, por lo que sería factible la conexión con el sistema de conducción que descargaría en la PTAR #1, siempre que el cálculo del dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales ahora contemple los caudales provenientes de la zona del “Estero del Pescado”.

4.1.4 ***Datos de Aguas Servidas***

Como se mencionó en la sección 3.1 y 3.3 del presente documento, los caudales a ser tratados para la PTAR #1 y #3, son 18.11 lt/s (0.01811 m³/s) y 8.50 lt/s (0.0085 m³/s) respectivamente. Es decir que, al conectar ambos

sistemas, se espera tener un caudal a tratar en la planta de tratamiento de 26.6 lt/s (0.0266 m³/s).

El “Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente” en su sección de Calidad de Ambiente y Efluentes” establece los límites de descarga del sistema de alcantarillado público a cuerpos de agua dulce en:

- 80% de remoción de DBO₅ ó < 100 mg/l
- 99.9% de remoción de coliformes fecales < 2000NMP/100 ml

Mientras que según el libro de Metcalf & Eddys “Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización”, se puede esperar de las aguas residuales domésticas presenten las siguientes concentraciones:

- DBO₅ = 250 mg/l
- Coliformes totales = 10⁸ NMP/100ml

4.2 Colector de conexión de sistemas PTAR #3 a PTAR #2

La última cámara del sistema de conducción hacia la PTAR #3 previo al ingreso hacia el área de la planta de tratamiento es la “MH-18” con cota de tapa 379.40 m. y cota de invert de cámara 378.00 m. tal como se muestra en la

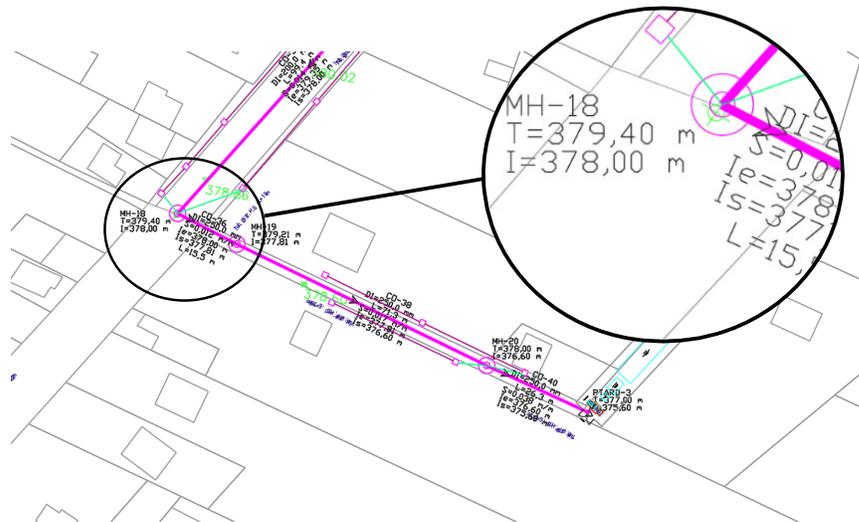


Fig. 4-4 Última cámara del sistema de conducción #3, previo al ingreso a la PTAR #3 (MH-18) - (Fuente: Municipio de Caluma)

Mientras que en el sistema #2, que recolecta las aguas que serán tratadas en la PTAR #2, la cámara mas cercana a la “MH-18” es la “MH-20” con una cota de tapa de 385.94 m. y cota invert de 384.54 m.



Fig. 4-5 Primera cámara del sistema de conducción #2 (MH-20) - (Fuente: Municipio de Caluma)

Esta cámara se encuentra por sobre el nivel de la MH-18 por lo que es inviable conectarla sin modificar antes la profundidad de la MH-20. En el siguiente tramo se puede observar otra línea de conducción que recoge las aguas servidas del lado izquierdo de la vía, por lo que con una pequeña modificación geométrica se podría conectar a la cámara MH-233.



Fig. 4-6 Esquema de conexión de nueva tubería entre las cámaras MH-18 y MH-233 - (Fuente: Autor)

Sin embargo, el problema más importante encontrado es la altura de excavación que tendría la zanja al momento de la instalación de las tuberías de conducción en la zona de conexión de los sistemas, como se puede apreciar en la Fig. 4-7 la tubería debería atravesar un montículo de aproximadamente 11 m. de altura en una longitud de aproximadamente 380 m.

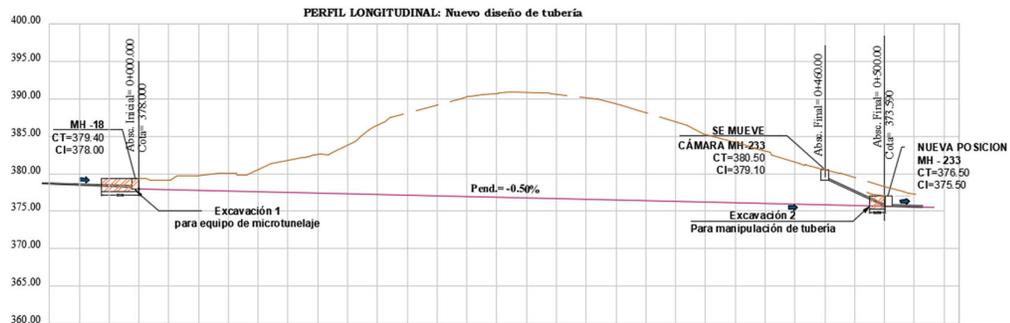


Fig. 4-7 Perfil longitudinal en zona de conexión de sistemas- (Fuente: Autor)

La solución propuesta que no encarezca el proyecto, que sea viable y económica, es la de la instalación de las tuberías de conducción de 200mm mediante el método de microtunelaje, ya que las condiciones ambientales, el tipo de suelo encontrado (arcilloso) y el tipo de topografía presentan las condiciones ideales para adoptar esta metodología.

Debido a la topografía de la zona de conexión las zanjas de entrada y salida serían lo suficientemente profundas como para que ingresen los equipos, ya que lo que se atravesará es un montículo. Tal como se muestra en la Fig. 4-8

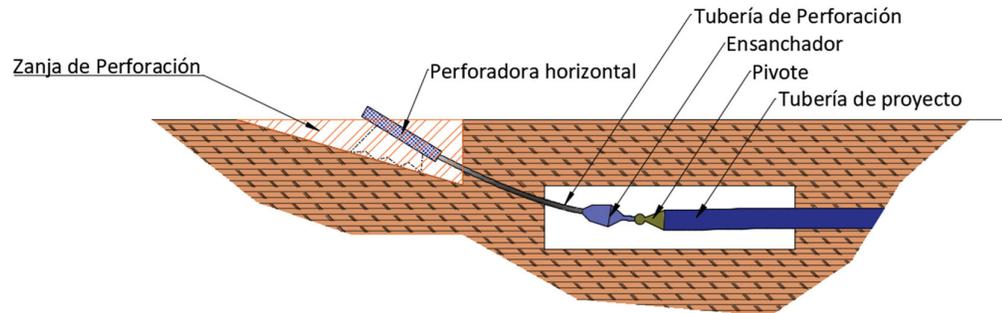


Fig. 4-8 Zanjas de trabajo para microtunelaje y esquema de perforación horizontal direccional -
(Fuente: Autor)

4.3 Dimensionamiento de Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Convencional

El sistema de tratamiento de aguas residuales seleccionado para el cantón Caluma es un sistema biológico aerobio de lodos activados convencional no la que se disminuirá la concentración de contaminantes presentes en el agua cruda que ingresa a la planta, hasta niveles permitidos por el Ministerio del Ambiente, estipulados en la TULSMA.

El sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto está estructurado de la siguiente manera:

a) Fase de Pre-Tratamiento

- **Cribado:** para separar los sólidos de gran tamaño, impidiendo que obstaculicen tuberías interiores o equipos.
- **Separador de aceites, grasas y detergentes:** Las aguas residuales domiciliarias suelen tener presencia importante de aceites vegetales y aceites de procedencia animal, además de detergentes, utilizados en el diario vivir de los pobladores.
- **Tanque ecualizador:** Tiene la función de homogenizar la mezcla que ingresará a la fase de tratamiento y también sirve como regulador de caudales pico, permitiendo que ingrese un caudal constante a la fase de tratamiento.

b) Fase de Tratamiento:

- **Reactor Biológico:** tiene forma de tanque y permite la aireación de extendida de la materia orgánica para su degradación.
- **Tanque Floculador:** Sedimentador: en este tanque se obliga a que los sólidos suspendidos se coagulen con otros de mismo tamaño formando partículas mucho más grandes y pesadas, provocando además que se precipiten y puedan ser retiradas del proceso.

- **Desinfección:** en esta etapa se procede a eliminar los microorganismos patógenos que aun estén presentes en el agua tratada, con el fin de que, al ser descargada, no provoque cambios en el ecosistema de los cuerpos de agua.
- **Lecho de secado:** es una plataforma en donde se ponen a deshidratar los sólidos resultantes del proceso de tratamiento de aguas residuales.

4.3.1 **Cribado**

Se calculará mediante el método de Kirscher:

Se propone el uso de 2 rejillas en el canal de paso, para sólidos gruesos y grandes y otra para sólidos de menor tamaño. Para la rejilla de sólidos gruesos usaremos barras redondas de 1/2" (12.7mm) de diámetro separadas a 1 1/2" (38.1mm). Mientras que para la rejilla de sólidos pequeños usaremos barras redondas de 1/2" (12.7mm) de diámetro separadas a 1" (25.4 mm).

Comprobación de pérdida de energía para rejilla de sólidos gruesos

$$hf = \beta \left(\frac{S}{b}\right) * \frac{V}{2g} * \text{sen}(a) < 0.75m$$

Donde:

hf: pérdida de energía por rejillas (m)

β : factor de forma de barras (1.79 barras redondas)

- s: ancho de barras (mm)
 b: separación de barras (mm)
 V: velocidad de paso (m/s)
 g: aceleración de la gravedad (m/s²)

$$hf = 1.79 \left(\frac{12.7}{38.1} \right) * \frac{4}{2 * 9.81} * \text{sen}(45) = 0.08m < 0.75m$$

Comprobación de pérdida de energía para rejilla de sólidos finos

$$hf = 1.79 \left(\frac{12.7}{25.4} \right) * \frac{4}{2 * 9.81} * \text{sen}(45) = 0.12m < 0.75m$$

4.3.2 Separador de grasas, aceites y detergentes

Son considerados aceites los líquidos que son insolubles en agua, que tienen una densidad de 0.95 Ton/m³, El tiempo de retención hidráulico recomendado para el separador de grasas, aceites y detergentes esta comprendido entre 30 y 35 minutos.

Se asumirá una geometría rectangular, y una altura de tanque de 3.00 m. con un borde libre de 0.20m por lo que la profundidad útil será de 2.80 m., además como se pretende una forma lineal de la planta de tratamiento, el ancho de tanque se asumirá de 3.00m.

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

TRH: Tiempo de retención hidráulica (s), entre 30 y 35 min, asumido 32.5min, 1950 s

V: Volumen (m³), volumen requerido del tanque

Q: Caudal (m³/s), 0.0266 m³/s

$$V = 1950 * 0.0266 = 51.87 \text{ m}^3$$

$$V = \text{largo} * \text{ancho} * \text{altura}$$

$$51.87 = \text{largo} * 3 * 2.80 \rightarrow \text{largo} = 6.17\text{m} \cong 6.20\text{m}$$

Las dimensiones del tanque separador de grasas, aceites y detergentes será de 6.20 m. de largo, 3.00 m. de ancho y 3.00 m. de altura.

4.3.3 **Tanque homogenizador**

Para este tanque el tiempo de residencia hidráulico recomendado esta comprendido entre 4 y 8 horas por lo que asumiremos 6 horas (21600 s), se asumirá una geometría rectangular, un ancho de 6.00 m. y una profundidad de 4.00 m.

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

$$V = 21600 * 0.0266 = 574.56 \text{ m}^3$$

$$V = \text{largo} * \text{ancho} * \text{altura}$$

$$574.56 = \text{largo} * 6 * 4 \rightarrow \text{largo} = 23.94\text{m} \cong 24\text{m}$$

Las dimensiones del tanque homogenizador serán de 24.00 m. de largo, 6.00 m. de ancho y 4.00 m. de altura.

4.3.4 **Reactor Biológico**

Se asumirán formas rectangulares para estos equipos, el tiempo de residencia hidráulica recomendada para el reactor biológico está comprendido entre 5 y 10 horas, por lo que asumiremos 7.5 horas, asimismo, se asumirá una profundidad de 3.00 m., con una altura aprovechable de 2.80 m., y un largo y ancho de 3.00 m. y un número de equipos de 8.

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

$$V = 27000 * 0.0266 = 718.2 \text{ m}^3$$

$$V = 8 * (\text{largo} * \text{ancho} * \text{altura})$$

$$718.2 = 8 * (\text{largo} * 3 * 2.8) \rightarrow \text{largo} = 10.68\text{m} \cong 10.70\text{m}$$

Por lo tanto las dimensiones del reactor biológico son 10.70 m. de largo, 3.00 m. de ancho y 3.00 m. de profundidad.

4.3.5 **Tanque Floculador – Sedimentador**

Se asumirán geometrías cuadradas para este tipo de tanques es decir que el largo y ancho tendrán el mismo valor, además se asumirá 3.00 m. de profundidad, dejando una altura aprovechable de 2.80 m., asimismo, el tiempo de retención hidráulica recomendado para el tanque floculador es de 20 a 30 minutos, por lo que se tomará como parámetro 25 minutos, mientras que para el tanque sedimentador está comprendido entre 30 y 55 minutos, por lo que se asumirá 45 minutos.

Tanque Floculador

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

$$V = 1500 * 0.0266 = 39.9 \text{ m}^3$$

$$V = \text{largo} * \text{ancho} * \text{altura}$$

$$39.9 = \text{largo} * \text{ancho} * 2.8 \rightarrow \text{largo} = 3.77\text{m} \cong 3.80\text{m}$$

Velocidad ascensional del líquido

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

Donde:

V: Velocidad ascensional del líquido (m/s)

Q: Caudal de ingreso a la PTAR (m³/s)

A: Área longitudinal en la sección del tanque (m²)

$$V = \frac{0.0266}{11.40} = 0.0023 \frac{m}{s} = 2.30 \frac{mm}{s}$$

Por lo tanto, las dimensiones del tanque Floculador serán de 3.80 m. de cada lado y 3.00 m. profundidad.

Tanque Sedimentador

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

$$V = 2700 * 0.0266 = 71.82 m^3$$

$$V = largo * ancho * altura$$

$$71.82 = largo * ancho * 2.8 \rightarrow largo = 5.06m \cong 5.10m$$

Velocidad ascensional del líquido

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

$$V = \frac{0.0266}{15.3} = 0.0017 \frac{m}{s} = 1.70 \frac{mm}{s}$$

Las dimensiones finales del tanque sedimentador son de 5.10 m. de cada lado y 3.00 m. de profundidad.

4.3.6 **Lecho de secado de lodos**

Los lodos se extienden sobre un lecho filtrante para permitir su deshidratación por drenaje hacia la parte inferior, y por evaporación en la superficie superior, expuesta al aire y al sol.

Se asumirá capas de 0.40m para que se permita una adecuada deshidratación y 4 limpiezas al año, debido a que la planta es relativamente pequeña, asimismo como su producción de lodos.

Tabla 4.2 Cálculo de geometría de lecho de secado

Cálculo de Lecho de secado de Lodos		
Caudal de ingreso de aguas servidas	0.0266 m ³ /s	2298.24 m ³ /día
Generación de lodos estimada	0.07 m ³ /l	
Lodo producido por la planta a diario		160.8768 m ³ /día
Lodo almacenado en 3 meses		14478.912 m ³
Altura de capa de lodos sobre lecho filtrante	40 cm	0.4 m
Lodo Anual		57915.648 m ³
Carga de lodo sobre lecho filtrante		160 kg.SS/m ² *lecho*año
Área de lecho de secado		361.9728 m ²
Limpiezas al año		4
Área efectiva requerida		90.4932 m ²

Se dimensionará el lecho de secado de manera rectangular, asumiendo un ancho de 6.00 m., mientras que para el lecho filtrante se colocará una capa de grava de mediano tamaño (D₅₀=3/4") de 30 cm. de espesor, e inmediatamente debajo de este estrato una capa de grava gruesa (D₅₀=2") de espesor 30 cm.

$$A = l * a$$

Donde:

A: Área de lecho de secado (m²)

l: largo de lecho de secado (m)

a: ancho de lecho de secado (m)

$$A = l * a$$

$$90.49 = l * 6 \rightarrow l = 15.08 \cong 15.10m$$

Por lo tanto, las dimensiones del lecho de secado serán de 15.10 m. de largo, 6 m. de ancho y 1 m. de profundidad.

4.3.7 **Desinfección**

Para la eliminación de los microorganismos patógenos presentes en el agua tratada, previo a su disposición final en los cuerpos de agua determinados, es necesaria una cloración, que se realizará mediante un equipo automatizado, utilizando briquetas de cloro. La dosificación requerida deberá ser determinada en laboratorio con los ensayos correspondientes, cuando ya se tengan muestras de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales.

4.3.8 ***Equipos eléctricos y electrónicos***

Para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de agua servidas, es necesario el uso de equipos eléctricos y electrónicos como bombas, sensores, paneles, clorinadores, etc.

Los equipos eléctricos y electrónicos necesarios para la operación de la planta de tratamiento son:

- tableros de control
- bombas de recirculación de lodos
- bombas de alimentación de agua cruda al biodigestor
- blowers tipo regenerativo
- difusores de burbujas finas de 9”
- difusores de burbuja gruesa
- sistemas de desinfección de briquetas de cloro
- bombas dosificadoras de químicos

4.3.9 ***Esquema de PTAR***

Finalmente, y luego del dimensionamiento de todos los equipos y sistemas se tiene que la PTAR requerida para el tratamiento de aguas residuales del cantón Caluma provenientes del sector sur y sureste es el siguiente.

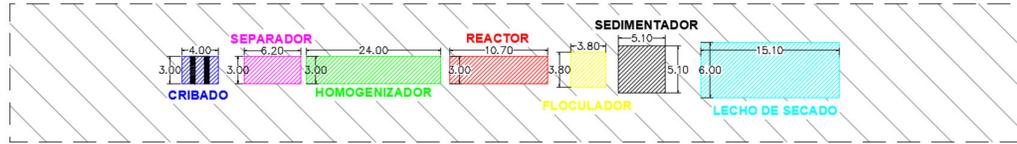


Fig. 4-9 Esquema de PTAR propuesta (Fuente: Autor)

4.4 *Análisis Presupuestario*

Para poder realizar una comparación adecuada es necesario realizar el análisis presupuestario de las alternativas, tanto de la municipal, como de la desarrollada a lo largo de este documento.

4.4.1 *Análisis Presupuestario Alternativa 1*

La alternativa 1 es la propuesta realizada por el Municipio de Caluma, con la implementación de 3 PTARs a lo largo del cerco urbano del cantón Caluma. Pero para el análisis presupuestario, solo se tomarán en cuenta las PTAR #1 y #3, ya que son las que se analizan también en la otra alternativa. Debido a la topografía y el tamaño de la zona norte del cantón Caluma, la implementación de la PTAR #2 es necesaria, y no modificable.

El Municipio de Caluma propone la construcción de 2 PTARs de las siguientes características:

Tabla 4.3 Características geométricas y de equipos de PTARs #1 y #3

Características PTAR #1 y #3	
Equipos o Estructuras	Dimensiones (L x A x h)m
Pre-Tratamiento	
Cribado	
Separador de Grasas	4.50x3.00x3.00
Tanque Homogenizador	20.00x6.00x4.00
Tratamiento	
Reactor Biológico	8(7.50x3.00x3.00)
Tanque Floculador	4.50x3.00x3.00
Tanque Sedimentador	7.50x3.00x3.00
Lecho de Secado	68m ²
Equipos Eléctricos y Electrónicos	
Tableros de control	
Bombas de recirculación de lodos	
Bombas de alimentación de agua cruda al biodigestor	
Blowers tipo regenerativo	
Difusores de burbujas finas de 9"	
Difusores de burbuja gruesa	
Sistemas de desinfección de briquetas de cloro	
Bombas dosificadoras de químicos	

Las PTARs #1 y #3 tienen características y dimensiones de estructuras y equipos idénticas, tal como se muestran en la

Tabla 4.3. Con estos datos se puede estimar el presupuesto referencial de construcción, mostrado a continuación.

Tabla 4.4 Presupuesto referencial de construcción de las PTARs #1 y #3

Presupuesto Referencial de Construcción PTAR #1 y #3				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1. PRELIMINARES				
Compra de terrenos	m2	3300	\$ 20.00	\$ 66 000.00
Limpieza y desbroce	m2	3300	\$ 3.50	\$ 11 550.00
Cerramiento con alambre de puas (h=2.4m)	ml	500	\$ 20.00	\$ 10 000.00
TOTAL PRELIMINARES				\$ 87 550.00
2. PTAR				
2.1. CRIBADO				
Excavación incluye desalojo	m3	2.4	\$ 10.00	\$ 24.00
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	0.216	\$ 350.00	\$ 75.60
Rejillas (barras redondas de 1/2")	u	3.2	\$ 350.00	\$ 1 120.00
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	21.6	\$ 2.29	\$ 49.46
2.2. SEPARADOR DE GRASAS, ACEITES Y DETERGENTES				
Excavación incluye desalojo	m3	113.26	\$ 10.00	\$ 1 132.56
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	35.424	\$ 350.00	\$ 12 398.40
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	3542.4	\$ 2.29	\$ 8 112.10
2.3. TANQUE HOMOGENIZADOR				
Excavación incluye desalojo	m3	1053.26	\$ 10.00	\$ 10 532.59
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	184.32	\$ 350.00	\$ 64 512.00
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	18432	\$ 2.29	\$ 42 209.28
2.4. REACTOR BIOLÓGICO				
Excavación incluye desalojo	m3	191.66	\$ 10.00	\$ 1 916.64
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	54.864	\$ 350.00	\$ 19 202.40
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	5486.4	\$ 2.29	\$ 12 563.86
2.5. TANQUE FLOCULADOR - SEPARADOR				
2.5.1. TANQUE FLOCULADOR				
Excavación incluye desalojo	m3	88.76	\$ 10.00	\$ 887.57
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	28.8192	\$ 350.00	\$ 10 086.72

Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	2881.92	\$ 2.29	\$ 6 599.60
2.5.2. TANQUE SEDIMENTADOR				
Excavación incluye desalojo	m3	153.96	\$ 10.00	\$ 1 539.65
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	41.8608	\$ 350.00	\$ 14 651.28
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	4186.08	\$ 2.29	\$ 9 586.12
2.6. LECHO DE SECADO				
Excavación incluye desalojo	m3	192	\$ 10.00	\$ 1 920.00
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	74.24	\$ 350.00	\$ 25 984.00
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	7052.8	\$ 2.29	\$ 16 150.91
Grava media tamaño(D50=3/4")	m3	57.6	\$ 35.00	\$ 2 016.00
Grava gruesa tamaño(D50=2")	m3	57.6	\$ 32.00	\$ 1 843.20
2.7. EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS				
Sistema de bombeo de agua cruda	u	2	\$ 12 000.00	\$ 24 000.00
Equipo de aireación hidráulica	u	2	\$ 22 000.00	\$ 44 000.00
Sistema de bombeo y recirculación de lodos	u	2	\$ 35 000.00	\$ 70 000.00
Equipo de desinfección	u	2	\$ 14 000.00	\$ 28 000.00
TOTAL PTAR				\$431 113.94
TOTAL				
				\$518 663.94

4.4.2 *Análisis Presupuestario Alternativa 2*

La alternativa 2 es la propuesta analizada en este documento, utilizando microtunelaje se conectarán 2 sistemas de conducción con la finalidad de evitar la construcción de una PTAR adicional.

Al conectarse 2 sistemas, el caudal de la planta de tratamiento aumentará ya que recoge también aguas residuales del sector sureste.

Las características geométricas de la planta de tratamiento planteada en este documento se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Características geométricas y de equipos de la PTAR única

Características geométricas de PTAR Única	
Equipos o Estructuras	Dimensiones (L x A x h)m
Pre-Tratamiento	
Cribado	
Separador de Grasas	6.20x3.00x3.00
Tanque Homogenizador	24.00x6.00x4.00
Tratamiento	
Reactor Biológico	8(10.70x3.00x3.00)
Tanque Floculador	3.80x3.80x3.00
Tanque Sedimentador	5.10x5.10x3.00
Lecho de Secado	15.10x6.00x1.00
Equipos Eléctricos y Electrónicos	
Tableros de control	
Bombas de recirculación de lodos	
Bombas de alimentación de agua cruda al biodigestor	
Blowers tipo regenerativo	
Difusores de burbujas finas de 9"	
Difusores de burbuja gruesa	
Sistemas de desinfección de briquetas de cloro	
Bombas dosificadoras de químicos	

A continuación, se muestra el presupuesto referencial de construcción de la planta única, propuesta desarrollada en el presente documento.

Tabla 4.6 Presupuesto referencial de construcción de las PTAR única

Presupuesto Referencial de Construcción PTAR Única				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1. PRELIMINARES				
Compra de terrenos	m2	1650	\$ 20.00	\$ 33 000.00
Limpieza y desbroce	m2	1650	\$ 3.50	\$ 5 775.00
Cerramiento con alambre de puas (h=2.4m)	ml	250	\$ 20.00	\$ 5 000.00
TOTAL PRELIMINARES				\$ 43 775.00
2. PTAR				
2.1. CRIBADO				
Excavación incluye desalojo	m3	1.5	\$ 10.00	\$ 15.00
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	0.135	\$ 350.00	\$ 47.25
Rejillas (barras redondas de 1/2")	u	2	\$ 350.00	\$ 700.00
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	13.5	\$ 2.29	\$ 30.92
2.2. SEPARADOR DE GRASAS, ACEITES Y DETERGENTES				
Excavación incluye desalojo	m3	70.79	\$ 10.00	\$ 707.85
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	22.14	\$ 350.00	\$ 7 749.00
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	2214	\$ 2.29	\$ 5 070.06
2.3. TANQUE HOMOGENIZADOR				
Excavación incluye desalojo	m3	658.29	\$ 10.00	\$ 6 582.87
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	115.2	\$ 350.00	\$ 40 320.00
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	11520	\$ 2.29	\$ 26 380.80
2.4. REACTOR BIOLÓGICO				
Excavación incluye desalojo	m3	119.79	\$ 10.00	\$ 1 197.90
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	34.29	\$ 350.00	\$ 12 001.50
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	3429	\$ 2.29	\$ 7 852.41
2.5. TANQUE FLOCULADOR - SEPARADOR				
2.5.1. TANQUE FLOCULADOR				
Excavación incluye desalojo	m3	55.47	\$ 10.00	\$ 554.73

Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	18.012	\$ 350.00	\$ 6 304.20
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	1801.2	\$ 2.29	\$ 4 124.75
2.5.2. TANQUE SEDIMENTADOR				
Excavación incluye desalojo	m3	96.23	\$ 10.00	\$ 962.28
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	26.163	\$ 350.00	\$ 9 157.05
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	2616.3	\$ 2.29	\$ 5 991.33
2.6. LECHO DE SECADO				
Excavación incluye desalojo	m3	120	\$ 10.00	\$ 1 200.00
Hormigón f'c= 280 Kg/cm2	m3	46.4	\$ 350.00	\$ 16 240.00
Acero de refuerzo fy= 4200 Kg/cm2	Kg	4408	\$ 2.29	\$ 10 094.32
Grava media tamaño(D50=3/4")	m3	36	\$ 35.00	\$ 1 260.00
Grava gruesa tamaño(D50=2")	m3	36	\$ 32.00	\$ 1 152.00
2.7. EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS				
Sistema de bombeo de agua cruda	u	1	\$ 12 000.00	\$ 12 000.00
Equipo de aireación hidráulica	u	1	\$ 22 000.00	\$ 22 000.00
Sistema de bombeo y recirculación de lodos	u	1	\$ 35 000.00	\$ 35 000.00
Equipo de desinfección	u	1	\$ 14 000.00	\$ 14 000.00
TOTAL PTAR				\$248 696.21
3. Microtunelaje				
Microtunelaje para instalación de tubería de 200mm	ml	460	\$ 250.00	\$ 115 000.00
TOTAL PRELIMINARES				\$115 000.00
TOTAL				\$407 471.21

CAPÍTULO 5

5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 *Conexión de sistemas de conducción*

Se realizó el análisis de la conexión entre los sistemas de conducción de aguas residuales que transportan las aguas crudas hasta las PTARs #1 y #3, desde la cámara MH-18 (PTAR #3), hasta la cámara MH-233 (PTAR #1).

Se propone una tubería instalada mediante el proceso de microtunelaje de 200mm de diámetro, debido a que si se instalara de manera convencional, es decir con excavaciones abiertas, habría que realizar zanjas de más de 10 m. de profundidad.

La cámara final del sistema de conducción #3 es la MH-18 con una cota de invert de 378 m., sin embargo, en el sistema #2, las cámaras más cercanas a la zona de conexión son la MH-20 con una cota de invert de 384 m. y la MH-233, con una cota invert de 379.10 m.

Para lograr la conexión, fue necesario desplazar la cámara MH-233 40 m. en la dirección del recorrido de la tubería hacia el suroeste, como se muestra en la Fig. 5-1, ya que inicialmente esta cámara tenía una cota de invert de 379.10m. y se estimó que el punto de conexión óptimo sería a una cota de invert de 375.50 m.

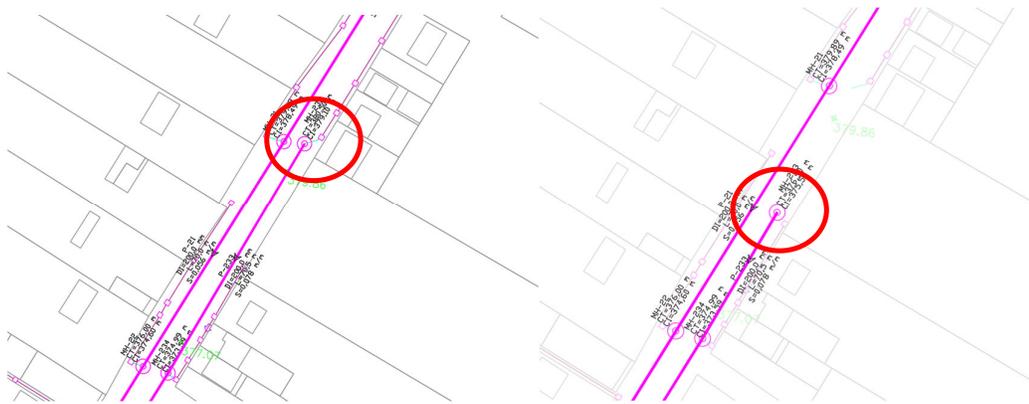


Fig. 5-1 Desplazamiento de la cámara MH-233 hacia el suroeste (Fuente: Autor)

Finalmente, la tubería de conexión de los sistemas #3 y #1 se da mediante una tubería de 200 mm. de diámetro atravesando un montículo de casi 11 m. de desnivel, por una longitud de 460 m. desde la cámara MH-18 con una cota invert de 378.00 m. (sistema #3) hasta la cámara MH-233 con una cota invert de 375.50 m. (sistema #1) con una pendiente promedio de 0.50%, tal como se muestra en la Fig. 5-2.



Fig. 5-2 Implantación de trazado de colector de conexión de sistemas (Fuente: Autor)

5.2 Resultados de dimensionamiento de PTAR

Debido a que el sistema de conducción de la PTAR #1 ahora transporta también las aguas residuales que llegarían a la PTAR #3, fue necesario recalcular las dimensiones de cada una de las estructuras y equipos, para un correcto funcionamiento.

Se planteó el mismo sistema de tratamiento de aguas residuales, que se realizará mediante un método aerobio de lodos activados.

El sistema planteado consta de las siguientes estructuras con sus respectivas dimensiones.

a) Pre-Tratamiento

- Cribado (1.50x1.00x1.00)m
- Separador de grasas (6.20x3.00x3.00)m
- Tanque homogenizador (24.00x6.00x4.00)m

b) Tratamiento

- Reactor biológico 8(10.70x3.00x3.00)m
- Tanque floculador (3.80x3.80x3.00)m
- Tanque sedimentador (5.10x5.10x3.00)m
- Lecho de secado (15.10x6.00x1.00)m

Equipos y estructuras ubicadas de manera lineal y consecutivas, como se puede apreciar en la Fig. 5-3.

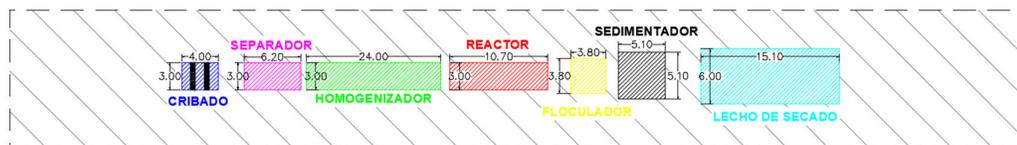


Fig. 5-3 Esquema de PTAR propuesta (Fuente: Autor)

5.3 Resultados de análisis presupuestario

Para poder realizar un análisis comparativo de las alternativas propuestas, tanto la municipal, como la desarrollada en este documento, fue necesario realizar un análisis de costos de implementación de ambos sistemas. Cabe recalcar que el enfoque es solo hacia las plantas de tratamiento de aguas residuales, puesto que los sistemas de captación, bombeo y conducción no han sufrido modificaciones y no son objeto de estudio del presente trabajo.

La alternativa 1, planteada por el Municipio de Caluma, es la construcción de dos plantas de tratamiento de aguas residuales (sistemas #1 y #3) de iguales características y tamaños, en distribución de estructuras y equipos. El detalle de las PTARs planteadas en esta alternativa se muestra en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Características geométricas y de equipos de PTARs #1 y #3

Características PTAR #1 y #3	
Equipos o Estructuras	Dimensiones (L x A x h)m
Pre-Tratamiento	
Cribado	
Separador de Grasas	4.50x3.00x3.00
Tanque Homogenizador	20.00x6.00x4.00
Tratamiento	
Reactor Biológico	8(7.50x3.00x3.00)
Tanque Floculador	4.50x3.00x3.00
Tanque Sedimentador	7.50x3.00x3.00
Lecho de Secado	68m ²

Equipos Eléctricos y Electrónicos	
Tableros de control	
Bombas de recirculación de lodos	
Bombas de alimentación de agua cruda al biodigestor	
Blowers tipo regenerativo	
Difusores de burbujas finas de 9"	
Difusores de burbuja gruesa	
Sistemas de desinfección de briquetas de cloro	
Bombas dosificadoras de químicos	

Recordando que son dos plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en dos locaciones distintas, se tiene que el costo de implementación de estos sistemas asciende a \$518.663,94 dólares de los Estados Unidos de América.

La alternativa 2, motivo de estudio en el presente documento, plantea la conexión de los sistemas anteriormente mencionados (sistema #1 y #3) mediante la instalación de un colector de 460 m. de longitud, 200 mm. de diámetro, mediante el uso de microtuneladoras, puesto que el tramo que debe atravesar presenta una topografía irregular, y dicha tubería no podría ser instalada de manera convencional.

AL conectarse los dos sistemas de conducción de aguas residuales, el caudal de trabajo de la única PTAR propuesta se incrementa, ya que su cobertura es mayor, por lo que en la Tabla 5.2 se muestran los resultados del dimensionamiento para los nuevos caudales.

Tabla 5.2 Características geométricas y de equipos de la PTAR única

Características geométricas de PTAR Única	
Equipos o Estructuras	Dimensiones (L x A x h)m
Pre-Tratamiento	
Cribado	
Separador de Grasas	6.20x3.00x3.00
Tanque Homogenizador	24.00x6.00x4.00
Tratamiento	
Reactor Biológico	8(10.70x3.00x3.00)
Tanque Floculador	3.80x3.80x3.00
Tanque Sedimentador	5.10x5.10x3.00
Lecho de Secado	15.10x6.00x1.00
Equipos Eléctricos y Electrónicos	
Tableros de control	
Bombas de recirculación de lodos	
Bombas de alimentación de agua cruda al biodigestor	
Blowers tipo regenerativo	
Difusores de burbujas finas de 9"	
Difusores de burbuja gruesa	
Sistemas de desinfección de briquetas de cloro	
Bombas dosificadoras de químicos	

Finalmente, el análisis presupuestario para la alternativa 2, de una única planta de tratamiento de aguas residuales para la zona sur de Caluma nos muestra que el costo de implementación del sistema sería de \$407.471,21 dólares de los Estados Unidos de América.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. Luego de realizado el análisis para la conexión de los sistemas de conducción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, se puede concluir que es factible y económica la instalación del colector de unión, mediante el uso del sistema de perforación horizontal dirigida.
2. Reducir una de las tres PTARs planteadas en el proyecto Municipal, reduce el costo de operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en un 33%, ya que las tres plantas tienen geometrías y distribuciones similares.

3. Al reducir una planta de tratamiento de aguas residuales, además, se reduce los puntos de contacto de contaminación con el cuerpo de agua, por lo tanto, es más eficiente el trabajo de monitoreo que se realiza sobre los efluentes de la planta al momento de ser dispuestos en el Río Pita.

4. La alternativa 2, que implica la conexión de los sistemas de conducción de aguas residuales, mediante la metodología de microtunelaje es más económica que su similar, planteada por el Municipio de Caluma, reduciendo el presupuesto de implementación de \$518.663,94 a \$407.471,21, es decir, la alternativa 2 es 22% más económica.

6.2 Recomendaciones generales

1. Según los sondeos geotécnicos realizados en el proyecto de consultoría del sistema de captación, bombeo, conducción y tratamiento de aguas residuales del cantón Caluma, se tienen suelos arcillosos con presencia de grava, debido a que es una zona coluvial, por lo que a primera instancia se puede concluir que es factible y económico el microtunelaje. No obstante, es recomendable una verificación de los suelos existentes en la zona de conexión de lo s

sistemas, puesto que, de haber gravas de mayor tamaño, es probable que se incremente el costo de esta alternativa.

2. Es necesario realizar un levantamiento topográfico a detalle de la zona donde se conectarían los sistemas, para detectar posibles complicaciones que pudiesen existir al momento de realizar el microtunelaje. Para el desarrollo del presente documento, se contó con puntos topográficos tomados cada 50m, por lo que es suficiente para modelar una factibilidad, pero no para diseños definitivos.
3. Es importante realizar una investigación para evidenciar posibles interferencias con otros sistemas previamente a la campaña de perforación horizontal, con el fin de evitar daños no deseados en sistemas paralelos existentes, como agua potable, líneas de comunicación como telefónicas, fibra óptica, internet, tv por cable, etc.