



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO DE UN REACTOR BIOLÓGICO DE  
LODOS ACTIVADOS PARA EL CAMAL MUNICIPAL DE LAGO AGRIO

AUTOR

Jonnathan Javier Trujillo Carchipulla

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO DE UN REACTOR BIOLÓGICO DE  
LODOS ACTIVADOS PARA EL CAMAL MUNICIPAL DE LAGO AGRIO

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y Remediación.

Profesor guía

M.Sc. Santiago Daniel Piedra Burgos

Autor

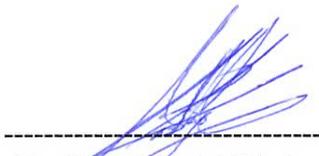
Jonnathan Javier Trujillo Carchipulla

Año

2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

Declaro haber dirigido el trabajo, Dimensionamiento hidráulico de un reactor biológico de lodos activados para el camal Municipal de Lago Agrio, a través de reuniones periódicas con el estudiante Jonnathan Javier Trujillo Carchipulla, en el semestre 2020-10, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación



---

Santiago Daniel Piedra Burgos  
Master of Science in Hydro Science and Engineering  
C.I: 1715384150

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

Declaro haber revisado este trabajo, Dimensionamiento hidráulico de un reactor biológico de lodos activados para el camal Municipal de Lago Agrio, del estudiante, Jonnathan Javier Trujillo Carchipulla, en el semestre 2020-10, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



-----  
Daniel Hernán Hidalgo Villalba  
Magister en Ciencias Especialización Ingeniería Ambiental  
C.I: 1801914449

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



-----  
Jonnathan Javier Trujillo Carchipulla  
C.I: 2100571799

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia por siempre estar presentes y apoyarme incondicionalmente en los momentos que más los he necesitado; a mis padres y hermana por cada palabra de aliento y amor que han brindado, a mi sobrino Sebastián por ser esa inspiración para lograr mis metas.

A mis profesores por ser pilar fundamental en mi crecimiento académico, al Ing. Santiago Piedra por cada uno de sus consejos y observaciones en este proceso.

A cada una de las personas que aportaron con sus conocimientos, apoyo y tiempo.

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el predimensionamiento hidráulico del tanque de aireación de lodos activados para el Camal Municipal de Lago Agrio, además de la identificación de procesos unitarios para el tratamiento de las aguas antes del ingreso al tanque biológico, para lo cual se realizó campañas de medición de caudal, caracterización de las aguas y fraccionamiento de la DQO mediante el método STOWA para conocer los porcentajes de materia orgánica presentes en estas aguas. Mediante los análisis ya descritos y en especial las fracciones de DQO se determinó necesario implementar un pretratamiento compuesto de un canal de aproximación, rejillas gruesas y finas, un tratamiento primario de coagulación-floculación, seguido de un tanque de tipo lamella que estará acompañado de un tanque homogeneizador, el cual permitirá igualar concentraciones elevadas que puedan llegar en las aguas residuales. Seguido, se pre-dimensionó el tanque de aireación de lodos activados con una DQO del efluente de ingreso al tanque de 2354.5 mg/l que equivale a la DQO biodegradable total del agua residual del camal. Por último, se implementó un clarificador secundario el cual servirá para clarificar la mezcla de agua y lodo activado del tanque biológico antes de ser descargada en el efluente que se espera tenga una remoción teórica del 95% de DBO, DQO y nitrógeno.

## ABSTRACT

In this work, the hydraulic pre-dimensioning of the activated sludge aeration tank for the Municipal change of Lago Agrio was carried out, in addition to the identification of unit processes for the treatment of water prior to the entry into the biological tank, for which flow measurement, water characterization and fractionation of the COD which was carried out using the STOWA method to know the percentages of organic matter present in these waters. In addition to the identification of unit processes for the treatment of water prior to the entry into the biological tank, for which flow measurement, water characterization and fractionation of the COD which was carried out using the STOWA method to know the percentages of organic matter present in these waters. The analyses described above and in particular the fractions of COD it was determined necessary to implement a pretreatment composed of an approach channel, thick and thin grids, a primary treatment of coagulation-flocculation, followed by a tank of type Lamella which will be accompanied by a homogenizing tank, which will allow to equalize high concentrations that can reach the wastewater. The activated sludge aeration tank was then pre-design with a 2354.5 mg/l tank ingress effluent COD, which is equivalent to the total biodegradable COD of the camal wastewater. Finally, a secondary clarifier was implemented which will serve to clarify the mixture of water and activated sludge of the biological tank before being discharged into the effluent that is expected to have a theoretical removal of 95% BOD, COD and nitrogen.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Antecedentes</b> .....	1
<b>1.2 Alcance</b> .....	2
<b>1.3 Justificación</b> .....	2
<b>1.4 Objetivos</b> .....	3
<b>1.4.1 Objetivo general</b> .....	3
<b>1.4.2 Objetivos específicos</b> .....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	3
<b>2.1 Calidad del agua</b> .....	3
<b>2.2 Aguas residuales</b> .....	4
<b>2.3 Clasificación de las aguas residuales</b> .....	4
<b>2.4 Características de las aguas residuales de un camal o matadero</b> .....	5
<b>2.5 Parámetros físico-químicos del agua de un matadero</b> .....	6
<b>2.5.1 Parámetros físicos</b> .....	7
<b>2.5.2 Parámetros Químicos</b> .....	8
<b>2.6. Plantas de tratamiento de aguas residuales</b> .....	13
<b>2.7 Tipos de tratamiento de aguas residuales</b> .....	13
<b>2.7.1 Tratamiento preliminar</b> .....	13
<b>2.7.2 Tratamiento Primario</b> .....	14
<b>2.7.3 Tratamiento biológico</b> .....	17
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	20
<b>3.1 Determinación del caudal que se está generando en el camal municipal de Nueva Loja</b> .....	20
<b>3.2 Caracterización el agua residual producto de las actividades realizadas en el camal municipal</b> .....	21
<b>3.2.1 Parámetros obtenidos en campo</b> .....	21
<b>3.2.2 Parámetros obtenidos en laboratorio</b> .....	21
<b>3.3 Determinación del fraccionamiento de la DQO por el método STOWA</b> .....	22
<b>3.4 Diseño de tratamiento preliminar</b> .....	23
<b>3.4.1 Canal de aproximación</b> .....	23
<b>3.4.2 Rejillas</b> .....	25
<b>3.5 Diseño de tratamiento primario</b> .....	28

3.5.1	Diseño del proceso de coagulación-floculación.....	28
3.5.2	Diseño del tanque homogeneizador .....	30
3.5.3	Diseño del sedimentador primario tipo Lamella.....	31
3.6	Tratamiento biológico .....	32
3.6.1	Diseño de tanque de mezclado completo con lodos activados .....	32
3.7	Tratamiento secundario.....	36
3.7.1	Clarificador secundario .....	36
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	38
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	51
5.1	Conclusiones .....	51
5.2	Recomendaciones.....	52
	REFERENCIAS .....	54
	ANEXOS .....	59

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

En el planeta se encuentra que solo el 2.5% del agua total es agua dulce que puede ser aprovechada para el consumo humano, sin embargo, no se puede utilizar el 2.24% por la accesibilidad que tenemos ya que este porcentaje se encuentra congelado en casquetes polares, aguas subterráneas profundas y glaciares. Solo el 0.26 % de agua en el planeta es accesible al consumo humano, proveniente de lagos, ríos, embalses, entre otros (OMM, 1997).

En la antigüedad gran cantidad de fuentes de agua fueron contaminadas de forma paulatina causando enfermedades al hombre y no fue hasta finales del siglo **XVIII** e inicios del siglo **XIX**, cuando se empiezan a implementar métodos para el tratamiento del agua residual. Sin embargo, los problemas siguieron por la falta de tratamiento de las aguas residuales que contaminaron recursos hídricos y causaron un deterioro en los ecosistemas(Sierra, 2011). En la actualidad con el crecimiento poblacional y el aumento de la demanda de agua, se estima que cerca del 80% de aguas residuales no tienen tratamiento (WWAP, 2017)

En el Ecuador se estima que gran cantidad de empresas, siendo más del 80%, están generando aguas residuales con importantes cantidades de carga orgánica, sustancias tóxicas, etc, y no las depuran. Y solo 10% de las aguas residuales recibe algún tratamiento antes de ser vertidas al alcantarillado público o a un cuerpo de agua dulce (Sánchez, 2014). Los casos en particular son los centros de faenamiento, que se estima que existen 200 en todo el país, los cuales deben cumplir con leyes establecidas en cuanto a manejo de desechos y descargas de sus residuos establecidos en el TULSMA en el libro XI anexos 1 y 2, respectivamente. Sin embargo, son pocos los establecimientos que cumplen con la normativa porque, ante la falta de estadística, se asume un bajo porcentaje de cumplimiento que incluye a los mataderos ilegales(Vaca, 2013).

La calidad de las aguas residuales en los centros de faenamiento en el Ecuador presenta un gran problema en cuanto a los altos valores presentes en DBO, DQO, sólidos totales, materia orgánica, coliformes fecales. Esto debido al contenido gastrointestinal, ruminal y de las heces presentes en los animales sacrificados(Cun & Álvares, 2017).

## **1.2 Alcance**

Se realizó el pre dimensionamiento hidráulico de un reactor de lodos activados para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del camal municipal de Nueva Loja, por medio de la caracterización de las aguas que fueron tomadas in situ y llevadas a laboratorio para su análisis, además de la obtención de las fracciones de la materia orgánica para el dimensionamiento del reactor biológico.

Mediante los datos obtenidos se identificaron procesos unitarios necesarios para el pre tratamiento de las aguas residuales antes de que ingresen al reactor biológico, por lo cual se esperó obtener un efluente que cumpla con los parámetros establecidos en la legislación nacional para descarga de aguas a un cuerpo de agua dulce establecido en el TULSMA libro XI, anexo 1.

## **1.3 Justificación**

En la ley orgánica de sanidad agropecuaria art.56; se establece que los centros de faenamiento deben brindar seguridad a los trabajadores, garantizar la inocuidad al producto destinado al mercado y que además no genere contaminación al ambiente. Por lo cual se ha considerado el pre-diseño de un reactor biológico de lodos activados para el tratamiento de las aguas provenientes de las actividades realizadas en los centros de faenamiento, además, de la identificación de los tratamientos anteriores al reactor.

Las aguas residuales mediante el tratamiento adecuado identificado, por medio de las campañas de medición y análisis de sus características físico-químicas que se realizaron en el efluente, podrían cumplir parámetros establecidos en el

TULSMA libro XI, anexo 1, tabla 12, para descargas a un cuerpo de agua dulce, ya que los valores de los parámetros medidos en el agua residual sin tratamiento alguno son muy elevados y no cumplen con los expuestos en dicha norma.

Con el tratamiento de las aguas residuales provenientes del camal municipal se evitaría la afección hacia los habitantes cercanos a la zona del camal, los cuales pueden podrían ser afectados con enfermedades tanto como la fiebre tifoidea, infecciones intestinales, entre otras (OMS, 2019). Además de reducir la afectación a los recursos hídricos cercanos al lugar, así como la contaminación que se puede ocasionar a las aguas subterráneas.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar el dimensionamiento hidráulico del reactor biológico de lodos activados para las aguas residuales en el camal municipal de Nueva Loja.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el caudal que se está generando en el camal municipal de Nueva Loja.
- Caracterizar el agua residual producto de las actividades realizadas en el camal municipal.
- Estudiar el fraccionamiento de la materia orgánica para el tratamiento de las aguas residuales del Camal Municipal de Lago Agrio.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Calidad del agua**

La calidad de agua depende mucho del uso y demanda para la que se le está utilizando, ya sea agua de ríos, lagos, aguas subterráneas, mar, entre otros. Por lo cual se han creado y mejorado varios métodos para su análisis e interpretación. La calidad del agua se puede definir como “Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua” (Sierra, 2011).

Para la evaluación de la calidad del agua se miden diferentes variables físicas (temperatura, sólidos, turbiedad, etc.), variables químicas (pH, DBO, DQO, etc.) y variables biológicas (coliformes totales, coliformes fecales), además de la utilización de índices de calidad.

## **2.2 Aguas residuales**

Las aguas residuales se definen como todas las aguas recolectadas de los vertidos procedentes de la actividad humana que deben pasar por un tratamiento antes de ser descargadas en su efluente. Las características del agua residual son fundamentales para el diseño, control y operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales. (Trapote, 2013)

## **2.3 Clasificación de las aguas residuales**

Las aguas residuales se clasifican dependiendo de su naturaleza, según el uso a la cual fueron sometidas, por lo cual se los puede clasificar en diferentes grupos:

### **a) Aguas residuales domésticas**

Son aquellas aguas que provienen de la utilización con fines higiénicos como lavandería, baños, cocinas, entre otros, están compuestas en su mayoría por residuos humanos que llegan hasta las diferentes redes de alcantarillado. Son de caudales pequeños, continuos y se estima que el 0.1 % comprende sólidos

suspendidos, disueltos y coloidales, mientras que el 99% es agua. (Díaz, Alvarado, & Camacho, 2012)

#### **b) Aguas blancas**

Son todas las aguas producto de las condiciones atmosféricas como lluvia, nieve o producto de la limpieza de calles, parques, riego de jardines, entre otras que son descargadas en el sistema de alcantarillado. Dependiendo las zonas en donde se encuentre se suele desviar el caudal producido por las precipitaciones en el lugar, para que no se sature las plantas de tratamiento de aguas residuales. (Romero, 2004)

#### **c) Aguas residuales industriales**

Las aguas residuales industriales son todas aquellas que provienen de procesos realizados en las industrias o fábricas. La concentración de los diferentes parámetros físico-químicos o biológicos depende mucho del tipo de industria en la que se esté generando. Las características de estas aguas son la presencia de sólidos suspendidos, materia orgánica, microorganismos, minerales, entre otros. (Cabrera, Simancas, & Hernandez, 2018)

### **2.4 Características de las aguas residuales de un camal o matadero**

Como se muestra en la tabla 1, los procesos que se llevan dentro de un camal al momento de faenar ya sea ganado de tipo bovino o porcino son variados, por lo cual se generan diferentes tipos de residuos que aportan con una carga contaminante a la corriente de agua residual.

Tabla 1

Parámetros definidos según su fuente en aguas residuales de camal.

Parámetro	Fuente
Materia Orgánica medida como Demanda Química de oxígeno y Carbón Orgánico total	Fluidos sanguíneos, aguas provenientes del enfriado y escaldado, estiércol, contenido digestivo.
SS (Sólidos suspendidos)	Purín, contenido digestivo, pelaje, residuos cárnicos.
Aceites y Grasas	Limpieza de canaletas y agua de escaldado.
Urea, NH <sub>4</sub>	Estiércol, fluidos sanguíneos.
Fosfatos, nitrógenos y sales	Estiércol, contenido digestivo, fluido sanguíneo, desinfectantes y detergentes.
Detergentes	Desinfectantes y detergentes.

Tomado de (Andrade, 2008)

## 2.5 Parámetros físico-químicos del agua de un matadero.

Los valores promedios que se encuentran en los efluentes de un matadero pueden encontrarse en los siguientes rangos establecidos en la tabla 2.

Tabla 2

*Concentración promedio de contaminantes en efluentes de faena.*

Parámetro	Valor (mg/l)
DQO	3500 - 12000
DBO <sub>5</sub>	1200 - 3000
Sólidos suspendidos	700 - 3000

pH	6.0 - 8.5
Aceites y grasas	500 - 1500
NTK	300-6000

Tomado de (Chaux, Rojas, & Bolaños, 2009)

### 2.5.1 Parámetros físicos.

Los parámetros físicos importantes para la caracterización de las aguas residuales provenientes de los mataderos se basan en temperatura, turbiedad, sólidos totales y sólidos disueltos.

#### a) Turbiedad.

Este parámetro es un factor importante para la medición de la calidad de las aguas vertidas tomando relación con la materia coloidal y residual en suspensión presentes en estas. La turbiedad es medida como la transmisión de la luz en el agua, con este parámetro se diseñan procesos como coagulación-floculación y sedimentación en el tratamiento de las aguas.(Sierra, 2011)

#### b) Temperatura.

En las aguas residuales la temperatura del afluente siempre es más elevada que la del suministro, este parámetro es importante debido que podemos entender las características del agua, así como los procedimientos para su tratamiento. La temperatura tiene influencia sobre la concentración de saturación de oxígeno disuelto, velocidad de las reacciones químicas y la actividad bacteriana presente. A mayor temperatura los tiempos de retención utilizados en los tratamientos biológicos disminuyen, además se debe tener en cuenta que los parámetros de diseño de tratamientos biológicos están en función de la temperatura, debido a

que para mantener la actividad bacteriana en el proceso, se debe tener una temperatura óptima que va desde los 25 °C a los 35°C.(Romero, 2004)

### c) Sólidos.

La cantidad de sólidos presentes en las aguas dan un diagnóstico de la calidad de agua que se tiene. Para un sistema de tratamiento, con el contenido de sólidos se puede tener una idea de la cantidad de lodos que se pueden obtener en el proceso.(Romero, 2004)

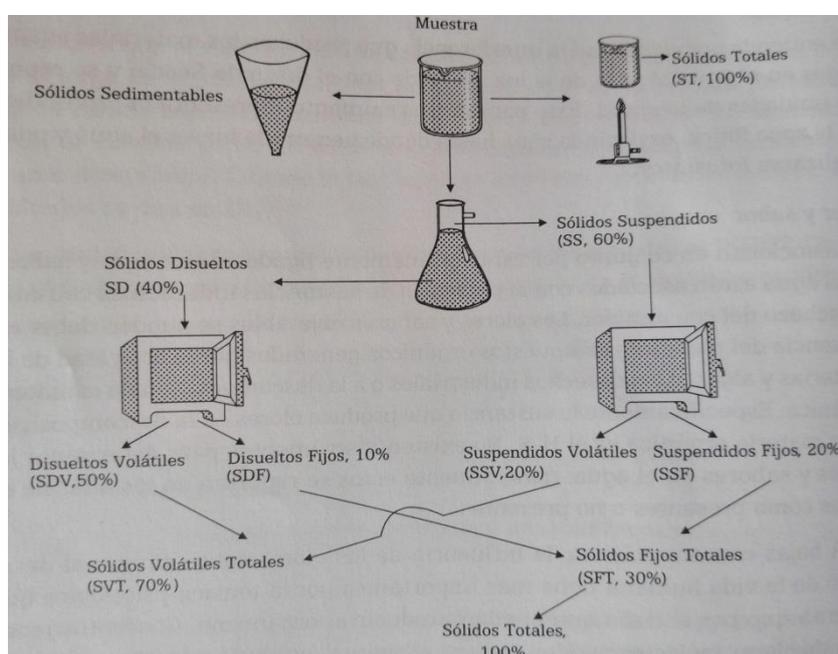


Figura 1. Sólidos presentes en el agua

Adaptado de (Sierra, 2011).

### 2.5.2 Parámetros Químicos.

#### a) pH.

Es el parámetro utilizado para expresar las condiciones básicas o ácidas del agua, para el desarrollo de los organismos vivos un pH de 6.0 a 9.0 es un rango apropiado, debido a que para tratamientos biológicos aguas con pH menor de

6.0 ayudan al crecimiento de hongos frente al crecimiento de las bacterias.(Romero, 2004)

**b) Oxígeno disuelto.**

Es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua y es medido en mg/L. Mediante la concentración de oxígeno disuelto en las aguas residuales se determina si los cambios biológicos son provocados por organismos aeróbicos o anaeróbicos. En un proceso con lodos activados se debe mantener una concentración de 2 mg/l de oxígeno disuelto en el reactor para que población de microorganismos estén en condiciones óptimas.(Borrero, Torres, & Baquero, 2015)

**c) Materia Orgánica.**

La materia orgánica en las aguas residuales es medida mediante la DQO, DBO y COT. Esta se encuentra contenida en los sólidos suspendidos y sólidos disueltos, siendo el 75% y 40% respectivamente de contenido de materia orgánica. Las principales sustancias orgánicas que se encuentran presentes en el agua residual son provenientes de proteínas (40 - 60%), los carbohidratos (25 – 50%) y de los aceites y grasas (10%). Los principales problemas que se generan por la presencia de materia orgánica en las aguas residuales dan paso a la proliferación de microorganismos patógenos, generación de olor, color, sabor e implican la presencia de material no biodegradable que en cierto porcentaje pasa por las unidades de tratamiento sin disminuir su cantidad.(Fuentes, Ramos, Jiménez, & Soto, 2015)

**d) DBO.**

Es el parámetro utilizado para conocer el contenido de materia orgánica del agua, mediante la disminución de la concentración de OD en un determinado

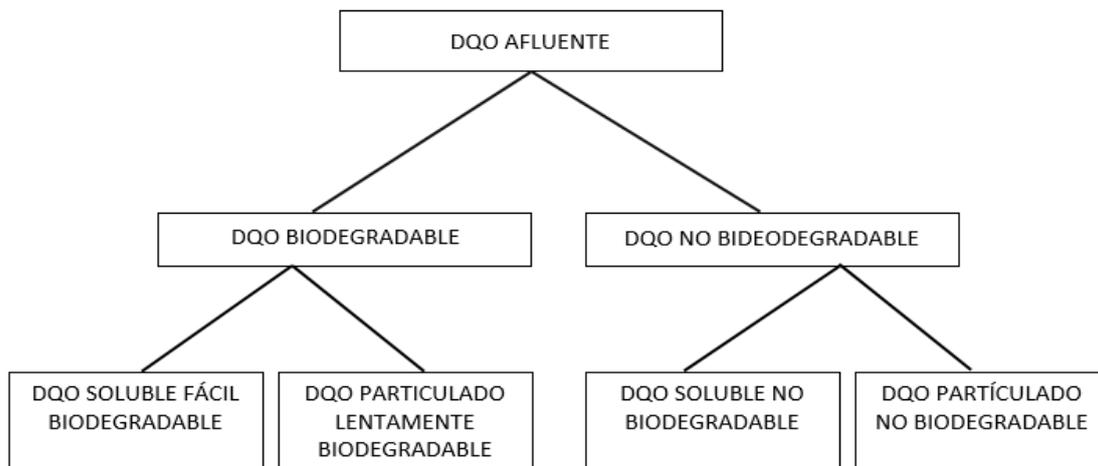
tiempo. Para poder evaluar la biodegradabilidad del agua se usa la relación DBO/DQO, en donde si es mayor a 0.4 se podría considerar como biodegradable, mientras que si la relación es menor a 0.2 es no biodegradable.(Domènech & Peral, 2006)

Para pruebas de DBO la más utilizada es la DBO<sub>5</sub>, la cual consiste en incubar la muestra de agua durante cinco días y luego medir el consumo de oxígeno por los microorganismos. Sin embargo, existen otras alternativas como la DBO<sub>1</sub> si se necesita una medición rápida, para otros casos se tiene la DBO<sub>25</sub> para determinar toda o casi toda la materia orgánica biodegradable presente en el agua.(López, Buitrón, García, & Cervantes, 2001)

#### **e) DQO.**

La DQO es utilizada para la medición de contaminantes orgánicos presentes en el agua y se define como la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica químicamente oxidable. La demanda química de oxígeno de los mataderos presenta valores de entre 3000 a 6000 mg/l en sus vertidos.(Andrade, 2008)

Para el modelamiento de tratamientos biológicos para las aguas residuales es necesario realizar una caracterización más completa del agua residual, por lo cual se utiliza el fraccionamiento de la DQO con la cual se puede conocer la composición del agua en sus diferentes niveles de degradación.



*Figura 2.* Fracciones de la DQO

Adaptado de (Park, Wang, & Novotny, 1997).

**f) DQO biodegradable.**

Es la fracción de materia orgánica que es degradada por los microorganismos en un tratamiento biológico, esta es originada por sustrato de biodegradación rápida o fácil y por el lentamente biodegradable. (Menéndez Gutiérrez & Dueñas Moreno, 2018)

**g) DQO no biodegradable.**

Es la fracción de materia orgánica inerte presente en el afluente que será de eliminación casi nula en un sistema de tratamiento biológico. Parte de la materia inerte saldrá en el efluente, mientras que otra parte de esta materia inerte se quedará o mezclará con la biomasa del reactor biológico. (Pire et al., 2011)

**h) DQO fácilmente biodegradable.**

Es la fracción que se consume o es absorbida rápidamente (en minutos) por la biomasa y es metabolizada, lo cual produce una elevada demanda de oxígeno.

La DQO fácilmente biodegradable está conformada por sustancias solubles que son de peso molecular bajo.(Tuset, 2014)

**i) DQO lentamente biodegradable.**

elevado, partículas sólidas y sustancias coloidales.(Park et al., 1997)

**j) DQO soluble no biodegradable.**

Esta fracción inerte de la materia orgánica pasará por medio del proceso de tratamiento sin ser alterada y saldrá en el afluente. Para procesos biológicos al momento de realizar la caracterización profunda con las fracciones de DQO, si esta fracción soluble no biodegradable es mayor en el efluente se descarta procesos biológicos.(Pire et al., 2011)

**k) DQO particulada no biodegradable.**

Esta fracción se acumula en los lodos debido a que no es consumida por la biomasa, la concentración de que ingresa será la misma que a la salida a través de la depuración de lodos, esta fracción aumenta la cantidad de solidos suspendidos en el reactor.(Vázquez-Mejía, Ortega-Aguilar, Esparza-Soto, & Fall, 2013)

Componentes del agua residual			Reacción	Componentes del lodo	
Orgánicos	Solubles	No biodegradables	Escapan con el efluente		
		Biodegradables	Se transforman en biomasa activa		
	Particulados	Disueltos	No biodegradables	Se incorporan a la masa de lodos	
		Suspendidos	Biodegradables	Se transforman en biomasa activa	
			No biodegradables	Se incorporan a la masa de lodos	
			Biodegradables	Se transforman en biomasa activa	
Inorgánicos	Particulados	Sedimentables	Se incorporan a la masa de lodos		
		Suspendidos			
	Solubles	Precipitables	Se transforman en sólidos sedimentables		
		Utilizables biológicamente	Se transfieren a la fase	Sólida	Escapan como gas
		No precipitables & no utilizables biológicamente	Escapan con el efluente		
					Gaseosa

Figura 3. Reacciones globales de transformación de los compuestos orgánicos e inorgánicos del agua residual.

Adaptado de (López et al. 2001, p. 58)

## 2.6. Plantas de tratamiento de aguas residuales

### 2.7 Tipos de tratamiento de aguas residuales

#### 2.7.1 Tratamiento preliminar

El objetivo de las diferentes unidades para el pre tratamiento de las aguas residuales es eliminar los materiales que puedan afectar el funcionamiento de las demás unidades de tratamiento a lo largo de la PTAR, inclusive llegar a dañar algunas de las unidades. Entre los materiales que se pretende eliminar en este proceso se encuentran trapos, botellas, latas, madera, materiales flotantes, incluso arena o grava que ingresan al sistema.

Las unidades que se pueden utilizar para este pre tratamiento de las aguas residuales son cribas medias, desarenadores, desengrasadores, repartidores de caudal, entre otras.(Guyer, 2019)

#### **a) Obras de llegada**

Para el sistema de tratamiento de aguas residuales las obras de llegada son el grupo de unidades que se ubican al inicio del proceso del tratamiento de las aguas residuales y reciben el caudal proveniente del emisario. Estas obras de llegada son las responsables de recibir y preparar las aguas residuales para su posterior tratamiento.(CEC, 2000)

#### **b) Cribas**

Las cribas o rejillas es el primer tratamiento unitario que se debe considerar en una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que el objetivo principal de la utilización de rejillas es la protección de las bombas, equipos electromecánicos y atascamiento de materiales en las válvulas de materiales grueso que pueden ser cascaras de frutas, pedazos de madera, entre otros. Para la limpieza de las rejillas existen las manuales y mecánicas, las rejillas deben ser inclinadas con respecto al canal.(Valdez & Vásquez, 2003)

### **2.7.2 Tratamiento Primario**

La remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, la carga orgánica, son el principal objetivo de los tratamientos primarios. Los porcentajes de remoción que se logran reducir en el tratamiento primario es del 25 al 40% de materia orgánica y de 50 a 65% de solidos suspendidos. Este tipo de tratamiento es de gran importancia para disminuir la carga orgánica antes de que el agua residual ingrese a un tratamiento biológico. (Rojas, 2002)

Algunos procesos para el tratamiento primario pueden ser: tanques de sedimentación primaria, coagulación-floculación, filtros gruesos, tanques de igualación, entre otros.

### **a) Coagulación-floculación**

Las partículas coloidales son la principal causa de la turbiedad y el color en el agua residual, debido a que son partículas muy pequeñas que tienen un tamaño entre 0.001 y 1  $\mu\text{m}$ . Debido al tamaño de estas partículas su eliminación por medio de decantación o flotación es casi imposible, por lo cual permanecen en suspensión en el agua por periodos de tiempo largos.(Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler, & Ortuño, 2002)

Para la eliminación de estas partículas se aplican procesos de coagulación y floculación, teniendo como objetivo la coagulación de desestabilizar las partículas en suspensión para poder facilitar su aglomeración. Mientras que la floculación tiene como objetivo mediante la mezcla lenta favorecer al contacto de las partículas desestabilizadas con la coagulación, para que así estas partículas pueden formar un floc que después será eliminado por decantación o filtración.(Cárdenas, 2000)

### **b) Sedimentador primario**

Para la eliminación de sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales se utilizan los procesos de sedimentación para poder separarlos. Esto se puede realizar por la diferencia que se tiene del peso específico de las partículas sólidas con el medio líquido en el que se encuentran. Estas partículas terminan decantándose en el fondo de los tanques de sedimentación.

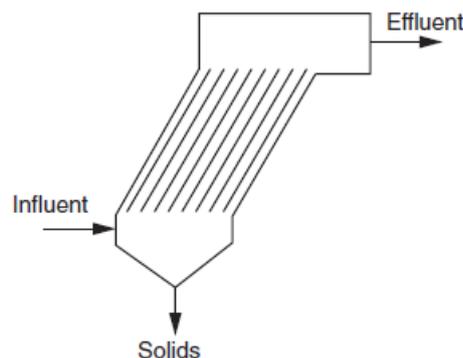
Estos tanques de sedimentación mantienen las aguas residuales por lapsos de tiempo que van desde las 0.5 a 3 horas o más, con lo cual se espera una eliminación entre el 40 a 65% de los sólidos.

Los sedimentadores primarios son diseñados para la concentración y remoción de sólidos suspendidos orgánicos, estos son muy importantes para una planta

de lodos activados ya que en este proceso se utilizan sedimentadores o clarificadores primarios antes del ingreso a los reactores biológicos y sedimentadores o clarificadores secundarios después del reactor biológico, siendo este último de gran importancia para la remoción del lodo procedente del reactor biológico.(Ramalho, 2003)

### c) Tanque sedimentador tipo Lamella

Los sedimentadores tipo Lamella o sedimentadores de placas paralelas inclinadas, son sedimentadores de tasa alta generalmente colocados después de procesos de coagulación-floculación y permiten la separación eficiente de los sólidos suspendidos. Estos sedimentadores ocupan generalmente espacios muy pequeños. Sin embargo, gracias a las placas inclinadas que se encuentran dentro del sedimentador se crea una extensa área de sedimentación, las inclinaciones de las placas permiten que los sólidos se puedan ser decantados hasta la zona de lodos ubicada en la parte inferior del tanque.(Crittenden, Trussell, Hand, Howe, & Tchobanoglous, 2012)



*Figura 4.* Esquema de un sedimentador Lamellar.

Adaptado de (Crittenden et al.,2012, p.683)

Para el diseño del sedimentador Lamellar tenemos los siguientes criterios de diseño:

Parameter	Units	Value
Type	—	Horizontal-flow rectangular tank
Minimum number of tanks	Unitless	2
Depth	m (ft)	3–5 (10–16)
Surface loading for plate or tube settlers: alum floc <sup>a</sup>	m/h (gpm/ft <sup>2</sup> )	2.5–6.25 (1–2.5)
Surface loading for plate or tube settlers: heavy floc <sup>a</sup>	m/h (gpm/ft <sup>2</sup> )	3.8–7.5 (1.5–3.0)
Typical hydraulic diameter	mm	50–80
Maximum-flow velocity in plate or tube settlers	m/min (ft/min)	0.15 (5)
Detention time in tube settlers	min	6–10
Detention time in plate settlers	min	15–25
Fraction of basin covered by plate or tube settlers	%	<75
Launder weir loading <sup>b</sup>	m <sup>3</sup> /m · h (gpm/ft)	3.75–15 (5–20)
Flow direction	—	Normally countercurrent upflow
Plate or tube angle	deg	60°
Mean horizontal velocity	m/min (ft/min)	0.05–0.13 (0.15–0.5)
Reynolds number	Dimensionless	<20,000
Froude number	Dimensionless	>10 <sup>-5</sup>

Figura 5. Criterios de diseño típicos para tanques rectangulares de flujo horizontal con tubos de asentamiento

Adaptado de (Crittenden et al.,2012, p.681)

#### d) Tanque homogeneizador

Es el encargado de mantener las características del agua residual de manera uniforme, este debe tener una capacidad de aproximadamente 60% del flujo que se está generando diariamente. Los tanques homogeneizadores son de suma importancia para homogenizar los caudales o cargas contaminantes que se generan por las diferentes procesos realizados en las industrias, ya que los equipos de depuración se pueden ver afectados por cambios bruscos y pueden reducir su eficiencia.(Andrade, 2008)

### 2.7.3 Tratamiento biológico

Consiste en la remoción de contaminantes mediante el uso de microorganismos descomponedores de materia orgánica, las cuales reducen la contaminación del agua residual en periodos cortos de tiempo, mediante la actividad biológica se puede remover nitrógeno, fósforo, sustancias orgánicas biodegradables, entre otras que se encuentran presentes en el agua.(Orozco, 2005)

Para el tratamiento biológico de aguas residuales existen diferentes procesos como: procesos aeróbicos, anaeróbicos, anóxicos y combinados (ver tabla 3). Siendo estos los procesos aeróbicos los cuales se realizan en presencia de oxígeno, los procesos anaeróbicos que se realizan en ausencia de oxígeno y el anóxico que remueve nitrógeno mediante la conversión de nitrato en nitrógeno gaseoso, en ausencia de oxígeno.(Romero, 2004)

Tabla 3  
*Tipos de tratamiento biológico*

Tipo	Crecimiento	Procedimiento	Característica
Aeróbicos	En suspensión	Reactor con lodo activado	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y Nitrificación
		Laguna con sistema de aireación	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y Nitrificación
		Digestión aeróbica	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y estabilización
		Lagunas aeróbicas	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y Nitrificación
	Aglutinado	Filtros percoladores	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y Nitrificación
		Torres biológicas	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y Nitrificación
		Unidad rotatoria mediante contactor biológico	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y Nitrificación

		Reactor de lecho fijo	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y Nitrificación
Anóxicos	Suspendido aglutinado	Baedenpho	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno, Nitrógeno y Fósforo
		Desnitrificación	Eliminación de nitrógeno
Anaerobios	En suspensión	Digestión anaeróbica	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y estabilización
		Anaerobio de contacto	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno
	Aglutinado	Filtro anaeróbico	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y estabilización
		Lechos expandidos	Eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y estabilización

Tomado de (Romero, 2004).

#### a) **Proceso de lodos activados**

Es el proceso para el tratamiento de aguas residuales en el cual se somete a una mezcla entre el licor de mezclado (lodo activado) y el agua residual en un reactor que se mantiene aireado. El cuál debe mantener una concentración de 2 a 5 mg/l de oxígeno disuelto para iniciar el proceso de oxidación de materia orgánica por medio de la actividad bacteriana.

El lodo activado convierte el sustrato orgánico soluble o insoluble, en forma coloidal o suspendida en solidos biológicos floculentos que pueden a final ser retirados por procesos de sedimentación.

El lodo activado es una mezcla de masa de microorganismos, materia orgánica, materia inorgánica que tienen la propiedad de tener una superficie activa para la absorción de materiales coloidales y suspendidos, la cual nos da como resultado una parte orgánica que es susceptible de descomposición biológica convirtiéndola en compuestos inorgánicos y otra parte que se transformara en lodo activo.(Orozco, 2005)

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Determinación del caudal que se está generando en el camal municipal de Nueva Loja.

Para la determinación del caudal que se está generando después de realizados los procesos en el camal, se procedió a efectuar la medición del caudal mediante el método volumétrico utilizando un recipiente de volumen de 6 litros y un cronómetro, este método consistió en acercar el recipiente a la tubería de salida de las aguas residuales y después cronometrar el tiempo de llenado del recipiente, con este método se obtuvo el valor del caudal en cada una de las mediciones, las cuales se representaron en unidades de lt/s.

Para obtener el caudal promedio diario que se generó en la planta se realizó una campaña de medición del caudal instantáneo que se está generando, durante los cinco días laborables y en las horas operativas que tiene el camal municipal, Las mediciones fueron con intervalos de una hora desde las 7 am hasta la 1 pm que fue el tiempo que operaba el camal, tal y como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

*Formato de toma de datos para el caudal (l/s)*

DIA/HORA	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7:00 am	0.56	0.56	0.53	0.39	0.37
8:00 am	0.54	0.38	0.48	0.50	0.96
9:00 am	0.69	0.58	0.56	0.56	3.11

10:00 am	0.71	0.37	1.33	1.71	1.80
11:00 am	1.94	2.04	1.82	1.37	1.50
12:00 am	1.86	2.34	2.07	1.89	1.51
1:00 pm	1.53	2.10	2.63	1.74	3.84

### 3.2 Caracterización el agua residual producto de las actividades realizadas en el camal municipal.

#### 3.2.1 Parámetros obtenidos en campo

Para la determinación de los parámetros in-situ se realizó la campaña de medición paralelamente a la toma de datos del caudal, obteniéndose mediciones con intervalos de una hora y en el horario operativo del camal que fue de 7 am a 1 pm.

Los parámetros medidos en campo fueron: pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad. Para la medición de estos parámetros se utilizó el equipo multiparamétrico.

#### 3.2.2 Parámetros obtenidos en laboratorio

Los parámetros establecidos para el análisis en laboratorio fueron DQO, DBO, fósforo, aceites y grasas, sólidos totales, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y alcalinidad. Las muestras fueron enviadas al laboratorio LABSU en donde se realizaron los análisis en base a los métodos descritos en la Tabla 5.

Tabla 5

*Métodos utilizados para la determinación de diferentes parámetros en el laboratorio LABSU*

Parámetros	Método
Sólidos totales	SM 2540 B
Demanda química de oxígeno	HACH 8000
Demanda bioquímica de oxígeno	SM 5210 B

Fósforo	SM 4500 E
Aceites y grasas	EPA 418.1
Nitrógeno total	HACH 10071
Nitrógeno amoniacal	SM 4500 NH <sub>3</sub> B,C,F
Alcalinidad total	SM 2320 B

Para la realización de estos análisis se tomaron muestras en los días que existía mayor faenamiento, siendo esto los días lunes y viernes. Se realizó la recolección por medio de muestras compuestas, para la cual se estableció un periodo de muestreo de cada 2 horas en los días establecidos, empezando desde las 9 am y terminando a la 1 pm. Las muestras recolectadas fueron colocadas en botellas ámbar de 1 lt.

### **3.3 Determinación del fraccionamiento de la DQO por el método STOWA.**

Para la determinación de las fracciones de DQO se utilizó el método STOWA que consiste en una metodología físico-químico, mediante una serie de filtraciones y mediciones de la DQO y DBO; y una prueba respirométrica. El proceso consistió en colocar agua residual cruda y agua residual sometida a un proceso de filtración, en los equipos de medición Oxitop durante un periodo de 15 días para su incubación y medición de la DBO diariamente, a fin de establecer la cinética de la DBO. Para este método se midió la DQO inicial total del agua cruda, DQO inicial filtrada, DQO final total del agua cruda y DQO final filtrada.

Para la medición del DQO se empleó el kit de Lovibond de DQO entre un rango de 0 a 1500 mg/l, debido a que el valor promedio del DQO para aguas de camal es mayor a 3000 mg/l se debió diluir la muestra antes de ser analizada en el espectrofotómetro UV/VIS. Además, para la filtración de las muestras se utilizó una membrana filtrante de polipropileno de 0.45 micras.

- **Determinación de la DQO no biodegradable**

DQO no biodegradable = DQO total – DQO biodegradable total (Ecuación 1)

- **Determinación de la DQO biodegradable total (DQOb)**

$$DQOb = \frac{1}{1-f_{DBO}} * DBOu \quad (\text{Ecuación 2})$$

DBOu= DBO última calculada (mg/l)

$f_{DBO}$ = Factor de corrección (0.15) (Roeleveld y van Loosdrecht, 2002)

- **Determinación de la DQO soluble inerte (DQOSi)**

$$DQOSi = \text{DQO soluble efluente} \quad (\text{Ecuación 3})$$

El DQO soluble inerte del efluente, es la medida de la DQO final en el agua residual filtrada, después de los 15 días de incubación.

- **Determinación de la DQO soluble (DQOSs)**

$$DQOSs = \text{DQO soluble influente} - DQOSi \quad (\text{Ecuación 4})$$

La DQO soluble influente es la medida de la DQO inicial en el agua residual filtrada.

- **Determinación de la DQO particulada (DQOXs)**

$$DQOXs = DQOb - DQOSs \quad (\text{Ecuación 5})$$

- **Determinación de la DQO particulada inerte (DQOXi)**

$$DQOXi = DQO_{\text{total}} - (DQOSi + DQOSs + DQOXs) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Para la determinación de la DQO particulada inerte se la calcula mediante la diferencia de la DQO<sub>total</sub> con respecto a las calculadas anteriormente.

### 3.4 Diseño de tratamiento preliminar

#### 3.4.1 Canal de aproximación

Siguiendo la normativa nacional para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales (C.E.C 2000) se diseñó un canal de aproximación el cual,

cumplirá la función de disminuir la presión de llegada y además de igualar las velocidades del agua.

Al igual que el diseño de un BY-PASS, el cual desviará el exceso de flujo para el que fue diseñada la PTAR

Para el diseño se aplicarán las siguientes fórmulas:

- **Área del canal de aproximación**

$$Q = A * V \quad (\text{Ecuación 7})$$

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/s)

A= Área del canal (m<sup>2</sup>)

V= Velocidad (m<sup>2</sup>/s)

- **Altura del canal**

$$A = B * H \quad (\text{Ecuación 8})$$

A= área del canal (m<sup>2</sup>)

B= base del canal (m)

H= Altura del canal (m)

- **Base del canal**

$$B: H = 1.5: 1 \quad (\text{Ecuación 9})$$

B= base del canal (m)

H= Altura del canal (m)

- **Radio hidráulico**

$$R = \frac{A}{B+2H} \quad (\text{Ecuación 10})$$

A= Área del canal (m<sup>2</sup>)

B= base del canal (m)

H= Altura del canal (m)

- **Velocidad de Manning**

Según la normativa ecuatoriana de la construcción, la velocidad que debe tener el fluido en el canal debe ser de 0.4- 0.75 m<sup>2</sup>/s por lo cual será necesario utilizar la ecuación de velocidad de Manning y realizar iteraciones con las dimensiones calculadas hasta llegar a la velocidad solicitada.

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2} \quad (\text{Ecuación 11})$$

V= velocidad de Manning (m<sup>2</sup>/s)

n= coeficiente de rugosidad

R= Radio hidráulico (m)

S= Pendiente del canal

Los valores obtenidos en la iteración de la velocidad de Manning dan como resultado las dimensiones que debería tener el canal de aproximación, considerando una altura de seguridad adicional a la calculada y el espesor de las paredes.

### 3.4.2 Rejillas

#### 3.4.2.1 Número de rejillas finas

Los siguientes parámetros de diseño establecidos en la tabla 6 son los propuestos por la normativa ecuatoriana para la implementación de las rejillas.

Tabla 6  
*Parámetros de diseño para las rejillas*

Espesor	5 – 15 mm
Largo	30 – 75 mm
Espacio entre barras	25 – 50 mm
Velocidad a través de barras limpias	0.4 – 0.75 m/S
Angulo de inclinación	44° – 60°

Para el diseño de las rejillas se basó en las siguientes fórmulas:

- **Número de rejillas**

$$n = \frac{b}{(a+s)} \quad (\text{Ecuación 12})$$

n = Número de barras

b = Base del canal (m)

a = Ancho de rejilla (m)

s = espaciamiento entre rejillas (m)

- **Ancho efectivo del canal**

$$b_e = b - (n * a) \quad (\text{Ecuación 13})$$

b<sub>e</sub> = Ancho efectivo del canal (m)

b = Ancho del canal (m)

n = Número de rejillas

a = ancho de rejilla (m)

- **Sección transversal efectiva**

$$A_{te} = p * b_e \quad (\text{Ecuación 14})$$

A<sub>te</sub> = Sección transversal efectiva (m<sup>2</sup>)

b<sub>e</sub> = Ancho efectivo del canal (m)

p = Profundidad del canal (m)

- **Separación real entre barras**

$$s_e = \frac{b_e}{(n-1)} \quad (\text{Ecuación 15})$$

s<sub>e</sub> = Separación real entre barras (m)

b<sub>e</sub> = Ancho efectivo del canal (m)

n = Número de barras

- **Velocidad a través de espacios entre rejillas**

$$V_h = \frac{Q}{A_{te}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

V<sub>h</sub> = Velocidad a través de espacios entre rejillas (m/s)

Q = Caudal medio de diseño (m<sup>3</sup>/s)

- **Pérdida de carga**

$$\Delta h = \beta \left(\frac{e}{d}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{v^2}{2g} * \sin\alpha \quad (\text{Ecuación 17})$$

$\Delta h$ = Pérdida de carga

$\beta$ = Factor de forma de barras

$e$ = Espesor de barras

$d$ = Distancia entre barras

$v$ = Velocidad

$g$ =Gravedad

$\alpha$ = Ángulo de inclinación de las barras

De la tabla 7 de coeficientes de factor de forma, se utilizó el coeficiente  $\beta$  para forma rectangular.

Tabla 7  
*Coefficientes del factor de forma de las barras*

Forma	B
Circular	1.79
Rectangular	2.42
Hexagonal	1.83

### Rejillas gruesas

Para el cálculo de rejillas gruesas se realizó las mismas operaciones que se efectuaron para las rejillas finas, sin embargo, se tuvo en cuenta que su sección rectangular mínima es de 6 mm x 40 mm y su máxima de 13 mm x 60 mm. Además, el espacio entre barras es de 40 mm con un ángulo de 45°.

### 3.5 Diseño de tratamiento primario

#### 3.5.1 Diseño del proceso de coagulación-floculación

##### 3.5.1.1 Dosificación de coagulante.

- **Determinación de la dosis óptima.**

Para la preparación del coagulante se partió de una solución patrón de sulfato de aluminio al 10%, la cual consistió en agregar agua destilada a 118 gr del sulfato de aluminio hidratado ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ) hasta completar 1000 ml de volumen. Para la realización de la prueba de jarras se utilizó una solución de coagulante al 1%, por lo cual se colocó 10 ml de la solución patrón y agua destilada hasta completar un volumen de 100 ml.

Se realizaron 3 pruebas, en donde se colocaron diferentes dosis (ver tabla 8), en 1000 ml de agua residual del camal. Se midió turbiedad inicial y final con el equipo espectrofotómetro Macherey-Nagel, Nanocolor D500.

Tabla 8.  
Dosis colocadas en las diferentes pruebas.

Tratamiento			
Prueba	1	2	3
Dosis (ul/l)	50	80	100

En el test de jarras se siguió el siguiente procedimiento:

Se colocó el agua residual en vasos de precipitación, los cuales mediante los agitadores a 100 rpm se realizó una mezcla rápida de 60 segundos en donde se fue colocando la dosis respectiva del coagulante en cada uno de los vasos. Luego de la mezcla rápida se disminuyó la velocidad de los agitadores a 30 rpm

durante 30 minutos, obteniendo una mezcla lenta, después de este tiempo se suspendió la agitación y se dejó sedimentar por un tiempo de 2 horas, para que al final se pueda medir la turbiedad de cada una de las muestras.

Para la medición final de la turbiedad la muestra de agua se tomó a 5 cm de la superficie libre del agua.

### 3.5.1.2 Diseño de los floculadores

Para el diseño de los floculadores se obtuvieron algunos parámetros de diseño establecidos por Crittenden (2012, pp 681) y además de las siguientes ecuaciones establecidas:

- **Determinación del volumen del tanque.**

$$V = \frac{Q * T_r}{N_o * N_E} \quad (\text{Ecuación 18})$$

V = Volumen del tanque (m<sup>3</sup>)

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

T<sub>r</sub> = Tiempo de retención (min)

N<sub>o</sub> = Unidades (tren)

N<sub>E</sub> = Etapas por tren (Etapas/tren)

Asumiendo un cubo perfecto, el tamaño de cada uno de los compartimientos se tomó la raíz cubica del volumen del tanque y se obtuvo las medias de largo, ancho y profundidad.

$$L = \sqrt[3]{V} \quad (\text{Ecuación 19})$$

- **Determinación del diámetro del impulsor.**

$$T_e = \sqrt{\frac{4 * A_{plan}}{\pi}} \quad (\text{Ecuación 20})$$

T<sub>e</sub> = Ancho del tanque (m)

A<sub>plan</sub> = Área del tanque floculador (m<sup>2</sup>)

$$D = 0.45 * T_e \quad (\text{Ecuación 21})$$

D = Diámetro del impulsor (m)

- **Determinación de la potencia.**

$$P = G^2 * \mu * V \quad (\text{Ecuación 22})$$

P = Potencia del impulsor (watts)

G = Gradiente de velocidad (s<sup>-1</sup>)

$\mu$  = Viscosidad (kg/m\*s)

V = Volumen del tanque floculador (m<sup>3</sup>)

- **Determinación de la velocidad de rotación máxima.**

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{N_p * \delta * D^5}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

N = Velocidad de rotación máxima (rev/min)

$N_p$  = Número de poder

$\delta$  = Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

$D^5$  = Diámetro del impulsor (m)

- **Determinación de la capacidad de bombeo.**

$$Q_b = N_Q * N * D^3 \quad (\text{Ecuación 24})$$

Q<sub>b</sub> = Capacidad de bombeo (m<sup>3</sup>/s)

N<sub>Q</sub> = Número de bombeo

- **Tiempo de circulación.**

$$t_c = \frac{V}{Q_b} \quad (\text{Ecuación 25})$$

t<sub>c</sub> = Tiempo de circulación (s)

### 3.5.2 Diseño del tanque homogeneizador

Para el diseño del tanque homogeneizador se aplicaron las siguientes fórmulas:

- **Volumen del tanque homogeneizador**

$$V_{te} = Q_{md} * Tr \quad (\text{Ecuación 26})$$

V<sub>te</sub> = Volumen del tanque homogeneizador (m<sup>3</sup>)

$Q_{md}$  = Caudal medio diario ( $m^3/d$ )

$Tr$  = Tiempo de retención hidráulica (h)

- **Área del tanque homogeneizador**

$$A_{te} = V_{te} * h_{te} \quad (\text{Ecuación 27})$$

$A_{te}$  = Área del tanque homogeneizador ( $m^2$ )

$h_{te}$  = Altura del tanque homogeneizador (m)

- **Radio del tanque homogeneizador**

$$r_{te} = \sqrt{\frac{V_{te}}{\pi * 4}} \quad (\text{Ecuación 28})$$

$r_{te}$  = Radio del tanque homogeneizador (m)

### 3.5.3 Diseño del sedimentador primario tipo Lamella.

Para el diseño del sedimentador tipo Lamella se utilizó variables de diseño establecidas en la figura 5, además de las siguientes fórmulas:

- **Tiempo de sedimentación.**

$$ts = \frac{d}{Vs * \cos(\theta)} \quad (\text{Ecuación 29})$$

$ts$  = Tiempo de sedimentación (s)

$d$  = Distancia entre dos placas paralelas (m)

$Vs$  = Velocidad de sedimentación de partículas (m/s)

$\theta$  = Ángulo de inclinación de las placas (grados)

- **Tiempo de recorrido de las partículas en las placas.**

$$tp = \frac{Lp}{Vfo - Vs * \sin(\theta)} \quad (\text{Ecuación 30})$$

$tp$  = Tiempo de recorrido de las partículas en las placas (s)

$Lp$  = Longitud de la placa (m)

$Vfo$  = Velocidad del fluido en el canal (m/s)

Nota: Considerando la trayectoria de la partícula  $ts$  será igual a  $tp$ .

- **Ancho del canal entre placas.**

$$W = \frac{Q_{md}}{N * d * Vfo} \quad (\text{Ecuación 31})$$

W = Ancho de canal entre placas (m)

Q<sub>md</sub> = Caudal medio diario (m<sup>3</sup>/s)

N = Número de canales (adimensional)

d = Distancia entre dos placas paralelas (m)

### 3.6 Tratamiento biológico

Para el diseño del tanque para el tratamiento biológico de las aguas residuales se utilizaron las siguientes fórmulas:

#### 3.6.1 Diseño de tanque de mezclado completo con lodos activados

- **Flujo total de DQO**

$$FSti = Qi * Sti \quad (\text{Ecuación 32})$$

F<sub>Sti</sub> = Flujo total de DQO (kg DQO/d)

S<sub>ti</sub> = DQO total afluente (mgDQO/l)

Q<sub>i</sub> = Caudal diario promedio (m<sup>3</sup>/d)

- **Flujo diario de DQO biodegradable**

$$FSbi = (1 - f_{sus} - f_{sup}) * FSti \quad (\text{Ecuación 33})$$

F<sub>Sbi</sub> = DQO biodegradable (kg DQO/d)

f<sub>sus</sub> = Fracción no biodegradable total soluble del DQO

f<sub>sup</sub> = Fracción no biodegradable total particulada del DQO

- **Flujo diario de materia no biodegradable particulada**

$$FX_{Ivi} = FSti * \frac{f_{sup}}{f_{cv}} \quad (\text{Ecuación 34})$$

F<sub>X<sub>Ivi</sub></sub> = Materia no biodegradable particulada (kg DQO/d)

f<sub>cv</sub> = Relación DQO/SSV (mg/mg)

- **Flujo diario de materia inorgánica particulada**

$$FX_{Ioi} = Qi * X_{Ioi} \quad (\text{Ecuación 35})$$

$FX_{loi}$  = Materia inorgánica particulada (mgSSL/l)

$Q_i$  = Caudal diario promedio (m<sup>3</sup>/d)

$X_{loi}$  = Sólidos suspendidos inorgánicos (mg/l)

- **Masa de sólidos suspendidos volátiles en el reactor biológico**

$$MX_v = \left[ FS_{bi} * \frac{Y_{Hv} * TRS}{(1 + b_h * TRS)} * (1 + f_H * b_H * TRS) + FX_{lvi} * TRS \right] \quad (\text{Ecuación 36})$$

$MX_v$  = masa de solidos suspendidos volátiles (kgSSV)

$FS_{bi}$  = Flujo diario de DQO biodegradable (kg DQO/d)

$Y_{Hv}$  = Rendimiento de los OHOS como SSV (mgSSV/mgDQO)

$SRT$  = Tiempo de residencia de lodos

$f_H$  = Fracción no biodegradable de los OHOS (mgDQO/mgDQO)

$b_H$  = Tasa específica de respiración endógena de los OHOS (1/d)

$FX_{lvi}$  = Flujo diario de materia no biodegradable particulada (kg DQO/d)

- **Masa de materia inorgánica particulada en el afluente del reactor biológico**

$$fav = \frac{1}{1 + \left[ f_H * b_{HT} * TRS + f_{sup} * \frac{(1 + b_{HT} * TRS)}{f_{cv} * Y_{Hv} * (1 - f_{sup} - f_{sus})} \right]} \quad (\text{Ecuación 37})$$

$fav$  = Fracción de masa de los SSV

$f_H$  = Fracción no biodegradable de los OHOS (mgDQO/mgDQO)

$TRS$  = Tiempo de residencia de lodos

$f_{sup}$  = Fracción no biodegradable total particulada del DQO

$Y_{Hv}$  = Rendimiento de los OHOS como SSV (mgSSV/mgDQO)

$f_{sus}$  = Fracción no biodegradable total soluble del DQO

$$MX_{io} = (FX_{ioi} * TRS) + (f_{iOH} * fav * MX_v) \quad (\text{Ecuación 38})$$

$MX_{io}$  = Masa de sólidos sedimentables inertes (kgSSI)

$f_{iOHO}$  = Contenido inorgánico de los OHO como SSV (mgSSI/mgOHOSSV)

$MX_v$  = Masa de sólidos sedimentables orgánicos volátiles (kgSSV)

- **Masa total de sólidos sedimentables totales**

$$MX_t = MX_v + MX_{io} \quad (\text{Ecuación 39})$$

$MX_t$  = Masa de sólidos sedimentables totales (kgSST)

- **Demanda carbonácea de oxígeno**

$$FO_c = FS_{bi} * \left[ (1 - f_{cv} * Y_{Hv}) + \left[ (1 - f_H) * b_{HT} * Y_{Hv} * f_{cv} * \frac{TRS}{1 + b_{HT} * TRS} \right] \right] \quad (\text{Ecuación 40})$$

$FO_c$  = Demanda carbonácea de oxígeno (kgO<sub>2</sub>/d)

$f_H$  = Fracción no biodegradable de los OHOS (mgDQO/mgDQO)

$Y_{Hv}$  = Rendimiento de los OHOS como SSV (mgSSV/mgDQO)

$TRS$  = Tiempo de residencia de lodos

- **Volumen de aire teórico**

$$V_{aire} = \left( \frac{FO_c}{W_{aire} * O_2} \right) \quad (\text{Ecuación 41})$$

$V_{aire}$  = Volumen de aire teórico (m<sup>3</sup>/min)

$W_{aire}$  = Peso del aire (kg/m<sup>3</sup>)

$O_2$  = Contenido de oxígeno (g O<sub>2</sub>/g aire)

- **Volumen de aire necesario**

$$V_{aireef} = \left( \frac{V_{aire} * 2}{eff} \right) \quad (\text{Ecuación 42})$$

$V_{aireef}$  = Volumen del aire necesario (l/min)

$eff$  = Eficiencia del difusor

- **Masa de lodos secundarios como SST producidos por el día**

$$FX_t = \frac{MX_t}{TRS} \quad (\text{Ecuación 43})$$

$FX_t$  = Masa de lodos purgados diariamente (kg/día)

$MX_t$  = Masa total de sólidos sedimentables totales (kgSST)

TRS = Tiempo de residencia de lodos (días)

- **Relación  $f_i$  SSV/SST de los lodos**

$$f_i = \frac{MX_v}{MX_t} \quad (\text{Ecuación 44})$$

$f_i$  = Relación SSV/SST de los lodos

$MX_t$  = Masa total de sólidos sedimentables totales (kgSST)

$MX_t$  = Masa de sólidos sedimentables totales (kgSST)

- **Masa de SSV purgados por día**

$$FX_v = (f_i * FX_t) \quad (\text{Ecuación 45})$$

$FX_v$  = Masa de SSV purgados por día (kg/día)

$f_i$  = Relación SSV/SST de los lodos

$FX_t$  = Masa de lodos purgados diariamente (kg/día)

- **Volumen del tanque**

$$V_p = \left( \frac{MX_t}{X_t} \right) \quad (\text{Ecuación 46})$$

$V_p$  = Volumen del tanque ( $m^3$ )

$MX_t$  = Masa de sólidos sedimentables totales (kgSST)

$X_t$  = Materia orgánica particulada del lodo activado (mgSST/l)

- **Tiempo de retención hidráulica nominal**

$$TRH_n = \frac{V_p}{Q_i} \quad (\text{Ecuación 47})$$

$TRH_n$  = Tiempo de retención hidráulica nominal (hr)

- **Tiempo de retención hidráulica real**

$$TRH_a = \frac{TRH_n}{1+s} \quad (\text{Ecuación 48})$$

$TRH_a$  = Tiempo de retención hidráulica real (día)

$s$  = Relación de recirculación de lodos

### 3.7 Tratamiento secundario

#### 3.7.1 Clarificador secundario

Para el tanque clarificador se tomó en cuenta la normativa alemana escogida (ATV-DVWK-A 131E Y ATV-DVWK-A 281E) de la cual se obtuvieron los diferentes criterios de diseño para el dimensionamiento del tanque de clarificación, estos parámetros fueron: carga superficial, tiempo de espesamiento, índice volumétrico de lodos, índice de recirculación.

- **Caudal de ingreso.**

$$Q_{sst} = Q_{md} * (1 + RRm) \quad (\text{Ecuación 49})$$

$Q_{sst}$  = Caudal de ingreso al clarificador ( $m^3/h$ )

$Q_{md}$  = Caudal medio de diseño ( $m^3/h$ )

$RRm$  = Tasa de recirculación

- **Área superficial del tanque.**

$$A_{sst} = \frac{Q_{sst}}{q_{ASST}} \quad (\text{Ecuación 50})$$

$A_{sst}$  = Área superficial del clarificador ( $m^2$ )

$q_{ASST}$  = Carga superficial ( $m^3/m^2 \cdot h$ )

- **Volumen del tanque.**

$$V_{sst} = A_{sst} * h \quad (\text{Ecuación 51})$$

$V_{sst}$  = Volumen del tanque del clarificador ( $m^3$ )

$h$  = Altura asumida del clarificador secundario (m)

- **Tiempo de retención hidráulica.**

$$T_{sst} = \frac{V_{sst}}{Q_{sst}} \quad (\text{Ecuación 52})$$

$T_{sst}$  = Tiempo de retención hidráulica del clarificador (h)

- **Concentración de sólidos suspendidos.**

$$SS_{BS} = \frac{1000}{SVI} * \sqrt[3]{t_{TH}} \quad (\text{Ecuación 53})$$

$SS_{BS}$  = Concentración de sólidos suspendidos al fondo del tanque ( $\text{kg/m}^3$ )

$SVI$  = Índice volumétrico de lodos (L/kg)

$t_{TH}$  = Tiempo de espesamiento (h)

- **Concentración de lodos recirculados.**

$$SS_{RS} = 0.7 * SS_{BS} \quad (\text{Ecuación 54})$$

$SS_{RS}$  = Concentración de lodos suspendidos del lodo de recirculación ( $\text{kg/m}^3$ )

- **Concentración de sólidos en el efluente de del tratamiento biológico.**

$$SS_{AT} = \frac{R * SS_{RS}}{1+R} \quad (\text{Ecuación 55})$$

$SS_{AT}$  = Concentración de sólidos en el efluente del clarificador secundario ( $\text{kg/m}^3$ )

- **Tasa de exceso de lodos.**

$$q_{SV} = q_A * SS_{AT} * SVI \quad (\text{Ecuación 56})$$

$q_{SV}$  = Tasa de exceso de lodos ( $\text{L/m}^2 \cdot \text{h}$ )

- **Volumen del alimentador (Feedwell).**

$$V_a = Q_{md} * t_r \quad (\text{Ecuación 57})$$

$V_a$  = Volumen de alimentador ( $\text{m}^3$ )

$Q_{md}$  = Caudal medio de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$t_r$  = Tiempo de retención en el alimentador (s)

- **Área superficial en el alimentador.**

$$A_{sa} = \frac{V_a}{h_a} \quad (\text{Ecuación 58})$$

$A_{sa}$  = Área superficial en el alimentador ( $\text{m}^2$ )

$h_a$  = Altura del alimentador (m)

- **Diámetro del alimentador.**

$$Da = \sqrt{\frac{Asa*4}{\pi}} \quad (\text{Ecuación 59})$$

Da = Diámetro del alimentador (m)

- **Volumen del EDI.**

$$Vedi = Qmd * trh \quad (\text{Ecuación 60})$$

Vedi = Volumen del disipador de energía (m<sup>3</sup>)

Qmd = Caudal medio de diseño (m<sup>3</sup>/s)

trh = Tiempo de retención hidráulica en el disipador de energía (s)

- **Área superficial del EDI.**

$$Asedi = \frac{Vedi}{hedi} \quad (\text{Ecuación 61})$$

Asedi = Área superficial del disipador de energía (m<sup>2</sup>)

hedi = Altura del disipador de energía. (m)

- **Diámetro del EDI.**

$$Dedi = \sqrt{\frac{Asedi*4}{\pi}} \quad (\text{Ecuación 62})$$

Dedi = Diámetro del disipador de energía (m)

- **Velocidades en el alimentador y el EDI.**

$$Veedi = \frac{Qmd}{Asedi}; Vea = \frac{Qmd}{Asa} \quad (\text{Ecuación 63})$$

Veedi = Velocidad del disipador de energía (m/s)

Vea = Velocidad del alimentador (m/s)

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Caudal generado en el camal municipal de Lago Agrio

Mediante la campaña de medición que se realizó en el camal municipal de Lago Agrio, durante los cinco días laborables y las horas operativas del camal que fueron desde las 7am hasta 1pm, se obtuvo que el caudal promedio generado

es de 1.98 L/s. En el camal se faena aproximadamente un promedio diario de 34 ejemplares de ganado bovino y 18 ejemplares de ganado porcino.

A continuación, se muestran los datos promedios obtenidos:

Tabla 9  
Resultados promedios obtenidos de la medición del caudal

Días de muestreo	Caudal (L/s)
Lunes	1.82
Martes	2.10
Miércoles	1.91
Jueves	1.73
Viernes	2.33
Promedio caudal generado	1.98

Los días viernes presentan un incremento en el caudal generado de aguas residuales, esto se debe a que, en ese día, se presenta mayor número de animales faenados ya que los días sábados y domingos el camal no se encuentra en funcionamiento.

#### 4.2 Característica del agua residual del camal municipal de Lago Agrio.

Para la caracterización del agua residual del camal, las muestras de agua fueron enviadas a un laboratorio acreditado en donde se midió DQO, DBO, sólidos totales, fósforo, aceites y grasas, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y alcalinidad total. Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Tabla 10  
*Valores obtenidos de la caracterización de las aguas residuales.*

Parámetros medidos	Unidad	Promedio	Límite máximo permisible TULSMA tabla 12
DQO	mg/l	5787.02	200
DBO	mg/l	1850	100
Sólidos totales	mg/l	7358.51	1600
Fósforo	mg/l	2.12	10
Nitrógeno amoniacal	mg/l	9	30
Nitrógeno total	mg/l	1263.6	50
Alcalinidad total	mg/l	350	-
Aceites y grasas	mg/l	<0.2	30

De los análisis que se realizaron al agua residual del camal, se pudo observar que los parámetros de DQO, DBO, sólidos totales, y nitrógeno total no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 12 del TULSMA, libro XI, anexo 1. Las muestras recolectadas para este análisis fueron muestras compuestas y enviadas al laboratorio el mismo día de la recolección, para la utilización de los valores de la DQO y DBO promedio utilizadas en el fraccionamiento de la DQO se utilizó muestra compuesta tomadas en diferentes días.

Los valores de DBO Y DQO elevados se deben a la alta carga orgánica que contienen las aguas residuales del camal, esto debido a que en el proceso de faenamiento, el agua residual se conforma de la mezcla de agua, sangre, pelo, heces, entre otros, todos ellos con alta cantidad de materia orgánica en su composición.(Andrade, 2008)

Además de los parámetros que se enviaron para el análisis en laboratorio, se obtuvieron otros parámetros medidos in situ, mediante el pHmetro y el equipo multiparámetro, las mediciones fueron realizadas los días operativos del camal.

Los valores obtenidos fueron:

Tabla 10  
*Valores obtenidos en la campaña de muestreo.*

Días de muestreo	pH	Temperatura	Oxígeno disuelto	Conductividad
Lunes	7.33	25.50	0.99	1016.71
Martes	7.76	24.63	1.71	1103.28
Miércoles	7.42	25.33	2.05	1179.42
Jueves	7.33	25.26	1.53	1112.42
Viernes	7.47	25.27	2.04	1128.33
Promedio	7.46	25.20	1.56	1108.03

Se puede observar que los valores de pH, temperatura y conductividad son parámetros que se mantienen sin variaciones bruscas durante los días operacionales en el camal. Sin embargo, el oxígeno disuelto, a pesar de que presentó variaciones en sus mediciones, la mayoría de los días se mantiene en valores próximos a 2 mg/l llegando incluso a superar este límite, lo que favorece el tratamiento biológico, debido a que niveles por encima de 2 mg/l de oxígeno disuelto favorecen la degradación de materia orgánica por medio de la actividad bacteriana. (López et al., 2001)

### **4.3 Fraccionamiento del DQO**

El fraccionamiento de la DQO, se realizó mediante el protocolo STOWA, donde se obtuvo una DQO inicial de 3090 mg/l y una DBO<sub>5</sub> de 2000 mg/l. Luego de 15 días de incubación la DQO final y la DBO final, fueron de 1230 y 2100 mg/l respectivamente, esto debido a que el valor medido de DQO corresponde al remanente inerte total, mientras que la DBO se aproxima a su valor último. El

agua residual filtrada presentó un DQO inicial de 2380 mg/l y una DBO<sub>5</sub> de 1750 mg/l, mientras que los valores después de los 15 días, fueron de DQO final y DBO final fueron de 710 y 2050 mg/l respectivamente, correspondiendo el primer valor al remanente inerte soluble, y el segundo valor próximo a la DBO última soluble.

Los valores que se obtuvieron del fraccionamiento del DQO mediante el protocolo STOWA fueron los siguientes:

Tabla 11

*Fracciones de DQO obtenidas del agua residual del camal.*

<b>Fracción</b>	<b>Concentración DQO (mg/l)</b>	<b>Porcentaje</b>
DQO total	3090	100%
DQO no biodegradable total	735.50	24%
DQO biodegradable total	2354.50	76%
DQO soluble	2380	77%
DQO particulada	710	23%
DQO soluble inerte ( $f_{s'us}$ )	710	23%
DQO soluble rápidamente biodegradable ( $S_{si}$ )	1670	54%
DQO particulada lentamente biodegradable ( $X_{si}$ )	684.50	22%
DQO particulada inerte ( $f_{s'up}$ )	25.50	1%

Según los datos obtenidos mediante el protocolo STOWA se evidencia que un porcentaje mayor es biodegradable, siendo este el 76%. Además de que el 77% es soluble y la fracción particulada es del 23%. En comparación con el fraccionamiento realizado en las aguas residuales de Toluca (Vázquez-Mejía et al., 2013), referente a aguas residuales domésticas, con el mismo método, en el cual se obtuvo que la parte biodegradable es el 73% y la no biodegradable el 27% se evidencia que los valores obtenidos en el presente trabajo están dentro del rango de las fracciones para aguas domésticas, lo que implica que se puede

proceder con una línea de tratamiento biológico para el agua residual del camal, lo que permite identificar los diferentes procesos unitarios para su tratamiento.

Mediante la incubación de las muestras de aguas residuales en las botellas Oxitop durante los 15 días propuestos, se obtuvo la gráfica de DBO en función del tiempo.

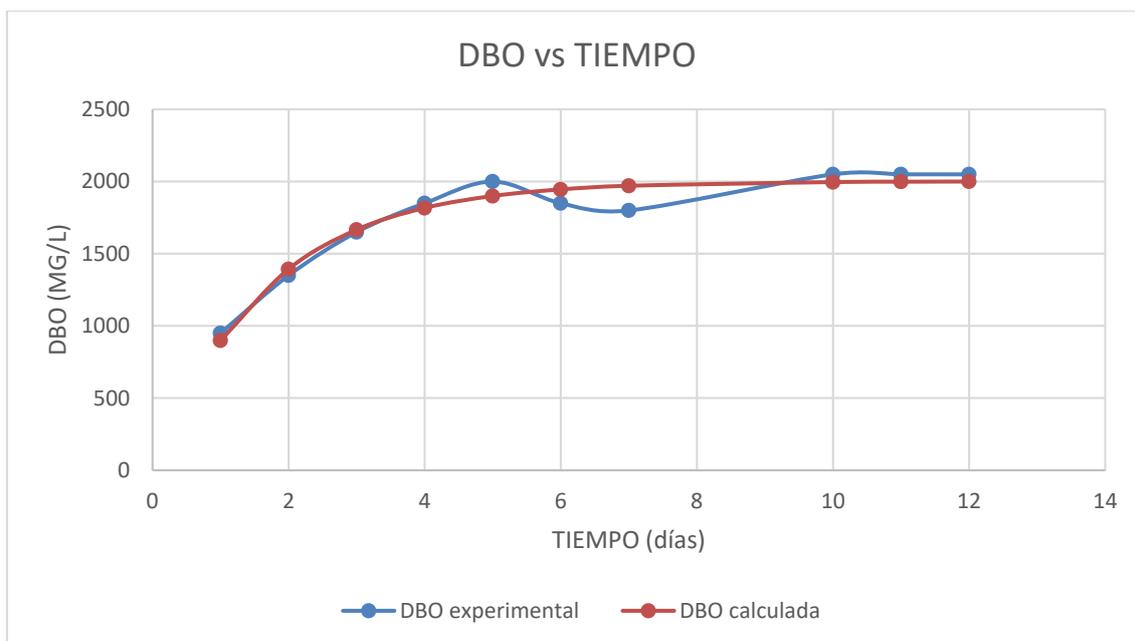


Figura 6. Demanda bioquímica de oxígeno en función del tiempo (Camal municipal Lago Agrío)

El ajuste de los valores experimentales mediante la regresión no, al modelo cinético de la DBO, permitió obtener un valor de DBO última de 2001.33 mg/l, y una constante  $k_{DBO}$  de 0.59 y con un coeficiente  $R^2$  de 0.95. Mediante los valores obtenidos con la cinética de la DBO se logró obtener la DQO biodegradable total necesario para realizar los cálculos en el método STOWA.

Adicionalmente, la relación DBO5/DQO es de 0.65 lo que determina un tratamiento netamente biológico.(Ortiz, 2014)

#### 4.4 Canal de aproximación.

El canal de aproximación se diseñó de forma rectangular y tiene las siguientes dimensiones propuestas: ancho del canal 0.4m, profundidad 0.2m, radio

hidráulico 0.1m y un área transversal de 0.1m. La velocidad calculada al interior del canal es de 0.48 m/s.

Además, se aumentó un borde libre de 0.15m con lo cual la profundidad total es de 0.35m y el espacio entre la solera y la base del canal es de 0.10 m, estos datos se asumieron en base a la velocidad de Manning, debido a que los valores calculados nos reflejaban medidas muy pequeñas para un canal de aproximación

#### 4.5 Rejillas.

Se diseñó el sistema de rejillas de forma rectangular, que comprende dos fases: un conjunto de 6 barras con un ancho de 0.015 m, un espacio entre las barras de 0.06 m y un largo de 0.25 m; otro conjunto de 16 barras finas con un ancho de 0.005 m, una separación entre de barras de 0.021 m y un largo de 0.25 m. la velocidad calculada entre las barras es de 0.57 m/s.

El tipo de limpieza de las cribas será limpieza manual debido a que la cantidad de material retirado es de baja cantidad.

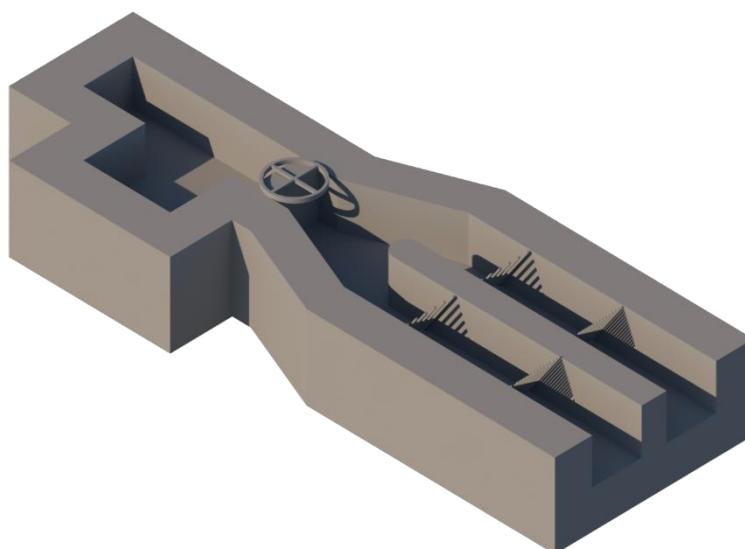


Figura 7. Esquema del canal de aproximación y rejillas

En comparación con el Camal Municipal de Quito el uso de las rejillas se da para la retención de cueros, carne, etc. que salen de los procesos de faenamiento, sin embargo, en ese lugar no se utilizan rejillas inclinadas como las diseñadas, por el contrario, utilizan tamiz de malla con apertura de 1 mm.

#### 4.6 Coagulación.

Mediante los test de jarras realizado para la obtención de la dosis óptima de coagulante se concluyó que para estas aguas residuales es de 10 mg/l de sulfato de aluminio al 1% como se especifica en la metodología expuesta anteriormente.

Tabla 11  
Resultados del test de jarras para coagulación-floculación

Muestra	Turbiedad inicial(NTU)	pH	Temperatura (°C)	Dosis al 1% (ml)	Coagulante	Turbiedad final (NTU)
1	1387.4	7.64	23.1	5	Sulfato de aluminio	57.7
2				8		5.9
3				10		4.7

#### 4.7 Floculación.

Los tanques floculadores se dimensionaron asumiendo un tiempo de retención de 20 minutos y un gradiente de velocidad de  $25 \text{ s}^{-1}$ . Se diseñaron tres cámaras floculadoras con un volumen de  $1.65 \text{ m}^3$  cada tanque, las dimensiones de los tanques son de 1.1m de largo, 1.1m de ancho y 1.5 m de altura. El diámetro del impeller calculado es de 0.5 m que contara con una potencia de 1 watts con una velocidad de rotación máxima de 26.38 rev/min, la velocidad lineal de las paletas es de 0.7 m/s, el cual se encuentra cerca de la velocidad lineal establecida en el Código Ecuatoriano de la Construcción para paletas con eje vertical.

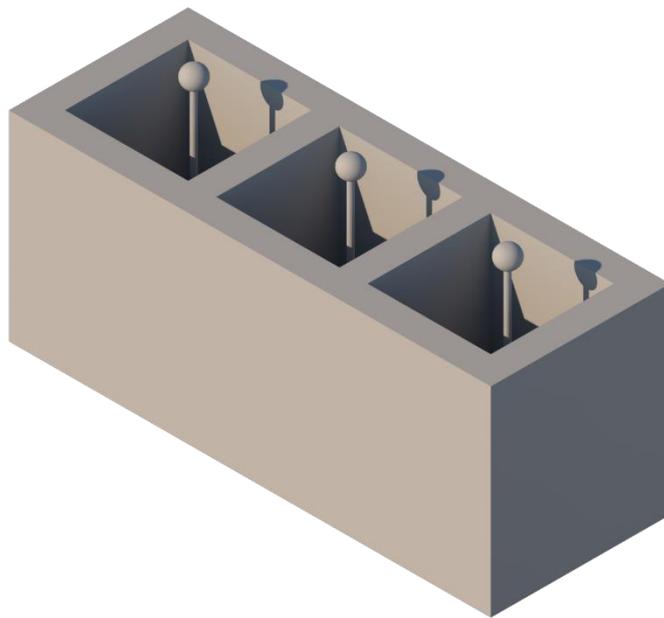


Figura 8. Esquema de los tanques floculadores.

La utilización del tratamiento primario de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales se establece en diferentes estudios realizados, uno de ellos es el de Muñoz Deyanira (2005, pp. 93-94) el cual establece la utilización de este tratamiento de aguas residuales para un canal de población de 2000 habitantes

#### **4.8 Desarenador tipo Lamella.**

El desarenador de tipo lamella fue diseñado bajo criterios de diseño establecidos en la figura 5 obtenidos en la bibliografía encontrada, cuyas medidas son de alto de 3.3m, largo 2m, ancho de canal 1.6 m.

La separación de placas es de 0.05m y se diseñó para un total de 16 placas que generan 15 canales o espacios entre placas con un ángulo de 60°. El tiempo de sedimentación de la partícula es de 7.14 segundos en las placas.



Figura 9. Esquema sedimentador tipo lamella.

#### **4.9 Tanque homogeneizador.**

El tanque homogeneizador será ubicado después del desarenador tipo lamellar para mantener las condiciones homogéneas del agua residual y evitar picos en cuanto a la carga contaminante que ingresa al tratamiento biológico. Para el diseño del tanque homogeneizador se asumió un tiempo de retención hidráulica de 5 horas, lo que dio como resultado un volumen de tanque de  $35.7 \text{ m}^3$ , un radio de tanque de 1.68 m y una altura de 3.5m.

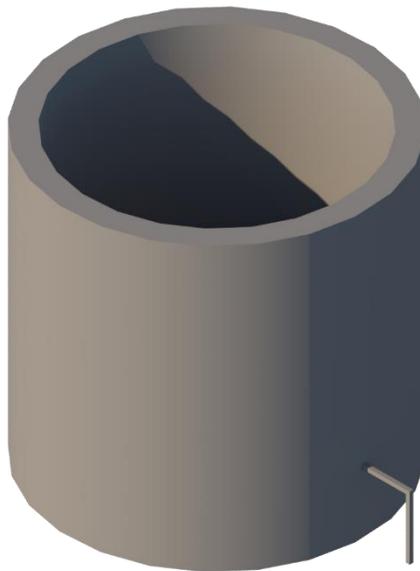


Figura 9. Esquema del tanque homogeneizador

#### **4.10 Tanque de aireación con lodos activados.**

En relación al fraccionamiento del DQO para identificar la composición de la materia orgánica presente en el agua residual, se diseñó un tanque para el caudal de  $50.01 \text{ m}^3/\text{d}$  con una concentración de DQO de ingreso al reactor de  $2354.5 \text{ mg/l}$ , el cual pertenece a toda la materia biodegradable presente en el agua residual.

El volumen del reactor calculado es de  $62.8 \text{ m}^3$  con una edad de lodos de 15 días, el cual debe tener un volumen de aire calculado de  $4253.50 \text{ L/min}$  y un tiempo de retención hidráulica nominal de 30.14 horas. Con la edad de lodos escogida se cumplirá con la remoción de la DQO y de nitrógeno presente en el agua residual. (López et al., 2001)

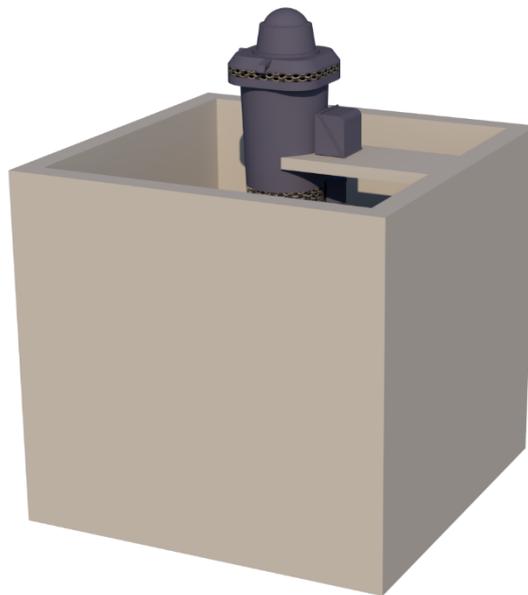


Figura 10. Esquema del tanque de aireación con lodos activados.

#### **4.11 Clarificador secundario circular.**

Después de un tratamiento biológico de lodos activados es parte fundamental la implementación de un clarificador secundario, el cual tiene la función de clarificar la mezcla proveniente del tanque de aireación para su descarga y la otra de concentrar el lodo activado que será reinyectado al tanque de aireación mediante recirculación.

El volumen del tanque clarificador calculado es de  $18.6 \text{ m}^3$ , con un tiempo de retención hidráulica de 2.6 horas, el cual está dentro del rango establecido en la norma alemana para clarificadores secundarios. La altura del tanque clarificador es de 3 m y un diámetro de 2.8 m.

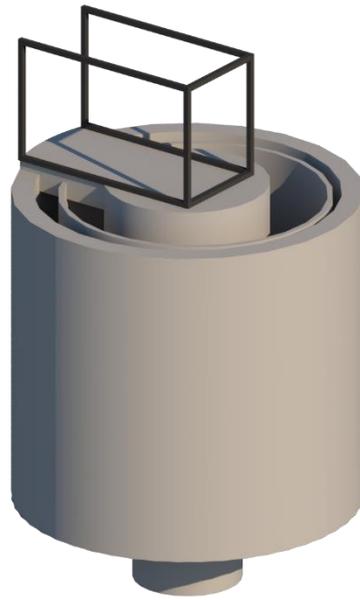


Figura 11. Esquema del clarificador secundario

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Los pre-dimensionamientos hidráulicos se realizaron para tratar un caudal de 7.14 m<sup>3</sup>/h, este valor fue obtenido de la campaña de medición realizada en el camal en donde se determinó que el día con mayor caudal generado es el viernes con un caudal de 2.3 l/s, esto debido a que el camal no trabaja los fines de semana y por lo cual la cantidad de animales faenados aumenta, por ende, la carga contaminante aumenta en el efluente.

La caracterización de las aguas residuales provenientes del efluente del camal nos dio como resultado valores dentro del rango promedio de los parámetros de DQO, DQO, NTK establecidos en la bibliografía encontrada en cuanto a aguas residuales de camales (tabla 2) y que el valor promedio diario fue de 5787.25, 1850, 1263.6 mg/l respectivamente. Además, se obtuvieron valores de sólidos totales de 7358.51 mg/l, fósforo de 2.12 mg/l, nitrógeno amoniacal de 9 mg/l, pH de 7.46, temperatura de 25.20 °C, oxígeno disuelto de 1.56 mg/l y conductividad de 1108.03 mS/cm.

Mediante el fraccionamiento de la materia orgánica se obtuvo que el efluente está formado por un 76% de la DQO biodegradable y un 24% de la DQO no biodegradable, siendo la DQO soluble rápidamente biodegradable el 54% y la DQO particulada lentamente biodegradable el 22%.

Los tipos de tratamiento identificados y que permiten que elevadas concentraciones contaminantes no ingresen de forma directa al reactor biológico fueron: un canal de aproximación, cribas medias y gruesas, dosificador de coagulante, tanques floculadores, sedimentador tipo lamella, tanque homogeneizador y después del reactor biológico se colocaría un clarificador secundario para clarificar el licor de mezclado y recircular el lodo hacia el reactor

biológico, cuyas dimensiones calculadas ayudan al tratamiento de las aguas residuales.

Para el pre-dimensionamiento del reactor biológico de lodos activados, fue muy importante la caracterización del agua residual proveniente del camal en especial el estudio del fraccionamiento de la DQO ya que los valores obtenidos permiten dimensionar el reactor de acuerdo al efluente con el que se va a trabajar y evitar así sobredimensionamiento. Mediante la caracterización realizada se obtuvo una relación de  $DBO_5/DQO$  de 0.65 por lo cual el agua residual puede ser tratada fácilmente por procesos biológicos como el propuesto en este trabajo de titulación. Además, que la concentración de DQO que ingresaría al reactor sería de 2354.50 mg/l y el volumen necesario de 62.81 m<sup>3</sup> para el tratamiento del agua residual con el caudal indicado anteriormente.

La eficiencia de remoción de contaminantes por medio del tratamiento de aguas residuales propuesto (coagulación/floculación + tratamiento biológico) nos da una remoción teórica del 95 al 99% de DBO, >90 de DQO, de entre 85 al 97 % de NTK, >95 de sólidos suspendidos totales, por lo cual se espera tener un efluente con concentraciones de 92.5 mg/l de DBO, 154.5 mg/l de DQO y 50 mg/l NTK.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda conocer los valores de N, P y DBO del lodo activado para que este dentro de los parámetros nutricionales necesarios que deben tener los microorganismos.

Se recomienda realizar simulaciones de los tanques biológicos para conocer mejor el comportamiento del agua residual dentro del mismo y conocer el nivel de tratamiento que este tendrá.

Se recomienda según la norma ecuatoriana de construcción realizar 10 campañas de medición de caudal de 24 horas, durante días representativos y en el caso de los camales durante las horas operacionales.

## REFERENCIAS

- Aguilar, M., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., & Ortuño, J. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*. Murcia: Universidad de Murcia. Recuperado el 07 de octubre de 2019 de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=8vIQBXPvhAUC&oi=fnd&pg=PA17&dq=coagulacion+floculacion+aguas+residuales&ots=cjTObTBkB2&sig=WoityrdZlyPW0BRH5CS8RCOyYs&redir\\_esc=y#v=onepage&q=coagulacion+floculacion+aguas+residuales&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=8vIQBXPvhAUC&oi=fnd&pg=PA17&dq=coagulacion+floculacion+aguas+residuales&ots=cjTObTBkB2&sig=WoityrdZlyPW0BRH5CS8RCOyYs&redir_esc=y#v=onepage&q=coagulacion+floculacion+aguas+residuales&f=false)
- Andrade, J. (2008). Los vertidos de los mataderos e industrias cárnicas. *Escuela de organización industrial*, 20. Recuperado el 18 de noviembre de <https://www.eoi.es/es/file/18141/download?token=alBsydFb>
- Borrero, J., Torres, Á., & Baquero, Á. (2015). *Estudio de la tratabilidad de las aguas residuales en Bogotá con lodos activados*. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de [https://www.researchgate.net/profile/Jaime\\_LaraBorrero/publication/275213259\\_Estudio\\_de\\_tratabilidad\\_de\\_las\\_aguas\\_residuales\\_en\\_Bogota\\_con\\_lodos\\_activados\\_Aspectos\\_de\\_monitoreo\\_en\\_continuo\\_caracterizacion\\_detallada\\_y\\_simulacion\\_del\\_proceso/links/555e1006](https://www.researchgate.net/profile/Jaime_LaraBorrero/publication/275213259_Estudio_de_tratabilidad_de_las_aguas_residuales_en_Bogota_con_lodos_activados_Aspectos_de_monitoreo_en_continuo_caracterizacion_detallada_y_simulacion_del_proceso/links/555e1006)
- Cabrera, N., Simancas, E., & Hernandez, A. (2018). Ensayo de coagulantes naturales extraídos de Ipomoea incarnata y Moringa oleífera en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Prospectiva*, 94-99. Recuperado el 02 de diciembre de <https://dx.doi.org/10.15665/rp.v16i2.1434>
- Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de agua: coagulación-floculación*. Lima: SEDAPAL. Recuperado el 20 de diciembre de [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)
- CEC. (2000). Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. *Código de Práctica Ecuatoriano*, 1(Primera Edición), 5.
- Chaux, G., Rojas, G., & Bolaños, L. (2009). Producción más limpia y viabilidad

- de tratamiento biológico para efluentes demataderos en pequeñas localidades caso: municipio de el tambo (Colombia). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 7(1), 102-114. Recuperado el 11 de enero de 2020 de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a12.pdf>
- Crittenden, J., Trussell, R., Hand, D., Howe, K., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design* (3.<sup>a</sup> ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Cun, J., & Álvares, C. (2017). Estudio de impacto ambiental de un Camal Municipal urbano en la Provincia de El Oro. *Conference Proceedings*, V.1. Recuperado el 14 de octubre de 2019 de <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/135>
- Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 14, 78-97. Recuperado el 09 de diciembre de 2019 de <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Domènech, X., & Peral, J. (2006). *Química ambiental de sistemas terrestres*. Editorial Reverté. Recuperado el 01 de octubre de 2019 de <https://books.google.com.ec/books?id=S4bjFOEXRzMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Fuentes, R., Ramos, J., Jiménez, M., & Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 253-264. Recuperado el 05 de diciembre de 2019 de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018849992015000300005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992015000300005)
- Guyer, P. (2019). *Una introducción al tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. (G. Partners, Ed.). Recuperado el 01 de octubre de 2019 de <https://books.google.com.ec/books?id=osC3DwAAQBAJ&pg=PA8&dq=tratamiento+preliminar+de+aguas+residuales&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKE>

wiQ7dbM8KvmAhWLPfKkHS6UC58Q6AEIPDAD#v=onepage&q=tratamiento preliminar de aguas residuales&f=false

- López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2001). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Ingeniería Química* (Vol. 33). IWA. Recuperado el 01 de octubre de 2019 de <https://doi.org/10.17345/9788484241027>
- Menéndez Gutiérrez, C., & Dueñas Moreno, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(3), 97-107. Recuperado el 01 de diciembre de 2019 de [https://www.researchgate.net/publication/327920405\\_Los\\_procesos\\_biologicos\\_de\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales\\_desde\\_una\\_vision\\_no\\_convencional](https://www.researchgate.net/publication/327920405_Los_procesos_biologicos_de_tratamiento_de_aguas_residuales_desde_una_vision_no_convencional)
- Muñoz, D. (2005). Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: para una población de 2000 habitantes. *Facultad de ciencias agropecuarias*, 3. Recuperado el 05 de octubre de 2019 de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6117975.pdf>
- OMM. (1997). ¿Hay suficiente agua en el mundo? *UNESCO*, 857. Recuperado el 02 de diciembre de 2019 de [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/hidrologia/Capitulo\\_1/aguamundo.pdf](http://www7.uc.cl/sw_educ/hidrologia/Capitulo_1/aguamundo.pdf)
- OMS. (2019). Agua. Recuperado el 05 de octubre de 2019 de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Orozco, Á. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales: teoría y diseño* (Primera ed). Acodal. Recuperado el 06 de diciembre de 2019 de <https://books.google.com.ec/books?id=t5w5EZf1VhMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Ortiz, D. (2014). La Universidad Católica de Loja Escuela de Ingeniería Civil Manual de Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales para poblaciones medianas de la Región Sur del Ecuador Autor Diego Fabricio Ortiz Muñoz Director : Ing . Mónica Cisneros Abad, 1-388. Recuperado el 15 de diciembre de 2019 de [file:///C:/Users/COMPAQ/Downloads/TRATAMIENTOS BIOLoGICOS DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES.pdf](file:///C:/Users/COMPAQ/Downloads/TRATAMIENTOS%20BIOLoGICOS%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20PARA%20POBLACIONES.pdf)

- Park, J., Wang, J., & Novotny, G. (1997). *Wastewater Characterization for Evaluation of Biological Phosphorus Removal*. Wisconsin: Wisconsin Department of Natural Resource. Recuperado el 15 de diciembre de 2019 de <http://images.library.wisc.edu/EcoNatRes/EFacs/DNRResearch/DNRRep174/reference/econatres.dnrrep174.i0007.pdf>
- Pire, M., Rodríguez, K., Fuenmayor, M., Fuenmayor, Y., Acevedo, H., Carrasquero, S., & Díaz, A. (2011). Biodegradabilidad de las diferentes fracciones de agua residual producidas en una tenería. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 5-19. Recuperado el 27 de diciembre de 2019 de <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v21n2/v21n2a01.pdf>
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de aguas residuales* (1.ª ed.). España: Reverte editorial. Recuperado el 14 de enero de 2020 de [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/pretratamientos\\_tratamientos\\_primarios.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/pretratamientos_tratamientos_primarios.pdf)
- Rojas, I. R. (2002). Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. En *Gestión Integral De Tratamiento De Aguas Residuales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Recuperado el 16 de diciembre de 2019 de [dateca.unad.edu.co/.../ARESIDUAL2012.../fundamentoaguasresiduales...](http://dateca.unad.edu.co/.../ARESIDUAL2012.../fundamentoaguasresiduales...)
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño* (Tercera ed). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado el 16 de diciembre de <https://es.scribd.com/document/391309831/Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Teoria-y-Principios-de-Diseno-Jairo-Alberto-Romero-Rojas-pdf>
- Sánchez, A. (2014). *Aguas residuales: Realidad y perspectivas*. Quito, Ecuador. Recuperado el 27 de diciembre de <https://es.slideshare.net/CCIFEC/20-gestin-de-aguas-residuales-en-ecuador-senagua>
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. Medellín: Ediciones de la U.
- Trapote, A. (2013). *Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas*. (Universidad de Alicante, Ed.). Alicante. Recuperado el 27 de diciembre de

- [https://www.e-buc.com/portades/9788497172646\\_Fragment.pdf](https://www.e-buc.com/portades/9788497172646_Fragment.pdf)
- Tuset, S. (2014). Caracterización del agua residual. Recuperado el 15 de octubre de 2019 de <https://blog.condorchem.com/caracterizacion-del-agua-residual/>
- Vaca, L. (2013). *Régimen simplificado de determinación presuntiva para el sector cárnico del Ecuador*. IAEN. Recuperado el 07 de enero de 2020 de <http://repositorio.iaen.edu.ec/xmlui/handle/24000/3963>
- Valdez, C., & Vásquez, A. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento Y disposición de aguas residuales*. Fundación Ica. D.F, México: Fundación ICA. Recuperado el 28 de diciembre de [https://www.academia.edu/31205529/Ingeniería\\_de\\_los\\_sistemas\\_de\\_tratamiento\\_y\\_disposicion\\_de\\_aguas\\_residuales](https://www.academia.edu/31205529/Ingeniería_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales)
- Vázquez-Mejía, G., Ortega-Aguilar, R. E., Esparza-Soto, M., & Fall, C. (2013). Fraccionamiento de DQO del agua residual de Toluca por el protocolo STOWA. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(2), 21-35. Recuperado el 28 de diciembre de <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531982002.pdf>
- WWAP. (2017). Aguas residuales el recurso desaprovechado. UNESCO. Recuperado el 15 de octubre de 2019 de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/>

## **ANEXOS**

Anexo 1. Hoja de cálculo del canal de aproximación.

Criterios de diseño del canal de aproximación			
Fórmula	Variable	Valor	Unidades
$Q = A * V$	Área del canal	0.0042	m <sup>2</sup>
$A = B * H$	Profundidad del canal	0.05	m
$B:H=1.5:1$	Ancho del canal	0.08	m
$R = \frac{A}{B + 2H}$	Radio hidráulico del canal	0.02	m
$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$	Velocidad de Manning	0.18	m/s
$Q = A * V$	Área del canal con la velocidad de Manning	0.01	m <sup>2</sup>

Anexo 2. Hoja de cálculo de rejillas gruesas.

Criterios de diseño de rejillas gruesas			
Fórmula	Variable	Valor	Unidades
-	Ancho de las barras	0.0015	m
-	Espaciamiento entre barras	0.05	m
-	Largo de las rejillas	0.11	m
$n = \frac{b}{(a+s)}$	Número de barras	6	-
	Ángulo de inclinación	45	°
$b_e = b - (n * a)$	Ancho efectivo del canal	0.30	m
$A_{te} = p * b_e$	Sección transversal	0.14	m <sup>2</sup>

$s_e = \frac{b_e}{(n-1)}$	Espaciamiento real entre barras	0.06	m
$A_{te} = p * b_e$	Área efectiva del canal	0.10	m <sup>2</sup>
$V_h = \frac{Q}{A_{te}}$	Velocidad horizontal	0.015	m/s
$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$	Velocidad de Manning	0.57	m/s
$\Delta h = \beta \left(\frac{e}{d}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{v^2}{2g} * \sin \alpha$	Pérdida de carga	0.006	m

Anexo 3. Hoja de cálculo de rejillas finas.

Criterios de diseño de cribas finas			
-	Ancho de las barras	0.005	m
-	Espaciamiento entre barras	0.02	m
-	Largo de las rejillas	0.25	m
$n = \frac{b}{(a+s)}$	Número de barras	16	-
	Ángulo de inclinación	45	°
$b_e = b - (n * a)$	Ancho efectivo del canal	0.32	m
$A_{te} = p * b_e$	Sección transversal	0.14	m <sup>2</sup>
$s_e = \frac{b_e}{(n-1)}$	Espaciamiento real entre barras	0.02	m
$A_{te} = p * b_e$	Área efectiva del canal	0.11	m <sup>2</sup>

$V_h = \frac{Q}{A_{te}}$	Velocidad horizontal	0.017	m/s
$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$	Velocidad de Manning	0.57	m/s
$\Delta h = \beta \left(\frac{e}{d}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{v^2}{2g} * \sin \alpha$	Pérdida de carga	0.005	m

Anexo 4. Hoja de cálculo del floculador.

Criterios de diseño de los floculadores			
$V = \frac{Q * T_r}{N_o * N_E}$	Volumen del tanque	1.11	m <sup>3</sup>
$D = 0.45 * T_e$	Diámetro del impulsor	0.53	m
$P = G^2 * \mu * V$	Potencia del impulsor	1	watts
$N = \sqrt[3]{\frac{P}{N_p * \delta * D^5}}$	Velocidad de rotación máxima	26.38	rev/min
$Qb = N_Q * N * D^3$	Capacidad de bombeo	0.06	m <sup>3</sup> /s
$t_c = \frac{V}{Qb}$	Tiempo de circulación	16.73	s

Anexo 5. Hoja de cálculo del tanque homogeneizador.

Criterios de diseño de tanque Homogeneizador			
$V_{te}$ $= Q_{md} * Tr$	Volumen del tanque ecualizador	35.7	m <sup>3</sup>
$A_{te}$ $= V_{te} * h_{te}$	Área del tanque ecualizador	124.95	m <sup>2</sup>
$r_{te}$ $= \sqrt{\frac{V_{te}}{\pi * 4}}$	Radio del tanque ecualizador	1.87	m

Anexo 6. Hoja de cálculo del sedimentador lamella.

Criterios de diseño del sedimentador tipo Lamella			
$ts = \frac{d}{Vs * \cos(\theta)}$	Tiempo de sedimentación	7.14	s
$tp = \frac{Lp}{Vfo - Vs * \sin(\theta)}$	Tiempo de recorrido de las partículas en las placas	tp=ts	S
$W = \frac{Qmd}{N * d * Vfo}$	Ancho de canal	1.58	m

Anexo 7. Hoja de cálculo del tanque de lodos activados.

Criterios de diseño de lodos activados			

$FS_{ti} = Q_l * S_{ti}$	Flujo total de DQO	117.76	kg DQO/d
$FS_{bi} = (1-f_{sus}-f_{sup}) * FS_{ti}$	Flujo diario de DQO biodegradable	89.50	kg DQO/d
$FX_{lvi} = FS_{ti} * \frac{f_{sup}}{f_{cv}}$	Flujo diario de materia no biodegradable particulada	0.80	kg DQO/d
$FX_{loi} = Q_l * X_{loi}$	Flujo diario de materia inorgánica particulada	0.48	kgSSI/d
$MX_v = \left[ FS_{bi} * \frac{Y_{Hv} * TRS}{(1 + b_h * TRS)} * (1 + f_H * b_H * TRS) + FX_{lvi} * TRS \right]$	Masa de sólidos suspendidos volátiles en el reactor biológico	226.54	kgSSV
$f_{av} = \frac{1}{1 + \left[ f_H * b_H * TRS + f_{sup} * \frac{(1 + b_H * TRS)}{f_{cv} * Y_{Hv} * (1 - f_{sup} - f_{sus})} \right]}$	Fracción de masa de los sólidos suspendidos volátiles	0.52	-
$MX_{io} = (FX_{IOi} * TRS) + (f_{iOHO} * f_{av} * MX_v)$	Masa de materia inorgánica particulada en el efluente del reactor biológico	24.71	kgSSI
$MX_t = MX_v + MX_{io}$	Masa total de sólidos sedimentables totales	251.25	kgSST
$FOc = FS_{bi} * \left[ (1 - f_{cv} * Y_{Hv}) + \left[ (1 - f_H) * b_H * Y_{Hv} * f_{cv} * \frac{TRS}{1 + b_H * TRS} \right] \right]$	Demanda carbonácea de oxígeno	68.32	kgO <sub>2</sub> /d
$V_{aire} = \left( \frac{FOc}{W_{aire} * O_2} \right)$	Volumen de aire teórico	0.17	m <sup>3</sup> /min
$V_{aireef} = \left( \frac{V_{aire} * 2}{eff} \right)$	Volumen de aire necesario	4253.50	l/min

$FXt = \frac{MXt}{TRS}$	Masa de lodos secundarios como SST producidos al día	16.75	kg/día
$fi = \frac{MXv}{Mxt}$	Relacion fi (SSV/SST) de lodos	0.90	-
$FXv = (fi * FXt)$	Masa de SSV purgados por día	15.10	kg/día
$Vp = \left(\frac{MXt}{Xt}\right)$	Volumen del tanque	62.81	m <sup>3</sup>
$TRHn = \frac{Vp}{Qi}$	Tiempo de retención hidráulica nominal	30.14	Hr

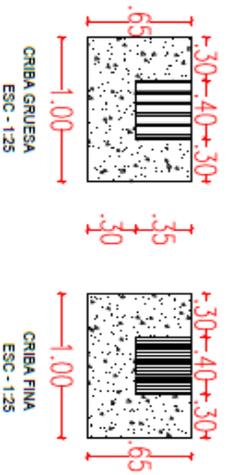
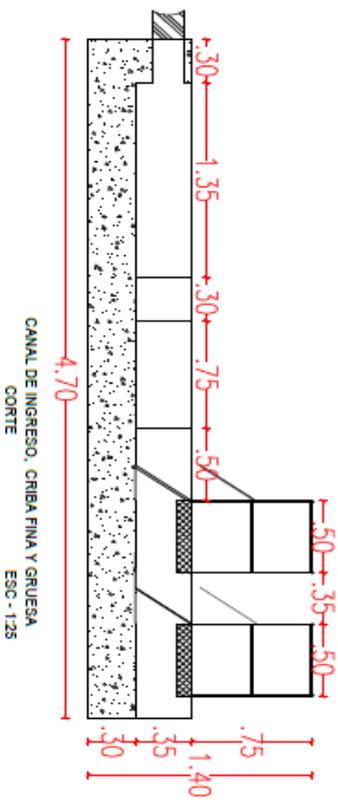
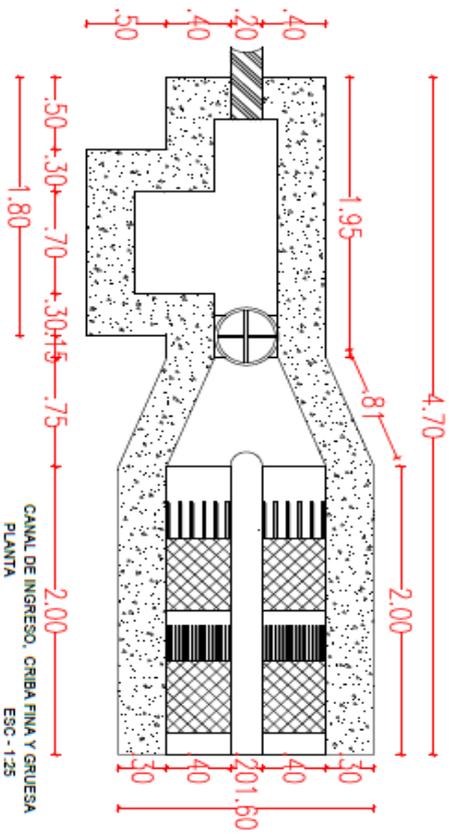
Anexo 8. Hoja de cálculo del Clarificador secundario.

Criterios de diseño del clarificador secundario			
$Asst = \frac{Qsst}{q_{ASST}}$	Área superficial del clarificador secundario	6.20	m <sup>2</sup>
$Vsst = Asst * h$	Volumen del clarificador secundario	18.63	m <sup>3</sup>
$Tsst = \frac{Vsst}{Qsst}$	Tiempo de retención hidráulica	2.61	h
$SS_{BS} = \frac{100}{SVI} * \sqrt[3]{t_{TH}}$	Concentración de sólidos suspendidos en el fondo del tanque	16.67	Kg/m <sup>3</sup>

$SS_{RS} = 0.7 * SS_{BS}$	Concentración de sólidos suspendidos de lodo de recirculación	1.17	Kg/m <sup>3</sup>
$SS_{AT} = \frac{R * SS_{RS}}{1 + R}$	Concentración de sólidos en el efluente del clarificador	0.58	Kg/m <sup>3</sup>
$q_{SV} = q_A * SS_{AT} * SVI$	Tasa de exceso de lodo	60.38	L/m <sup>2</sup> *h
$V_a = Q_{md} * tr$	Volumen del alimentador	3.57	m <sup>3</sup>
$A_{sa} = \frac{V_a}{h_a}$	Área superficial en el alimentador	2.38	m <sup>2</sup>
$D_a = \sqrt{\frac{A_{sa} * 4}{\pi}}$	Diámetro del alimentador	1.74	m
$V_{edi} = Q_{md} * tr_h$	Volumen del EDI	0.714	m <sup>3</sup>
$A_{edi} = \frac{V_{edi}}{h_{edi}}$	Área del EDI	0.95	m <sup>2</sup>

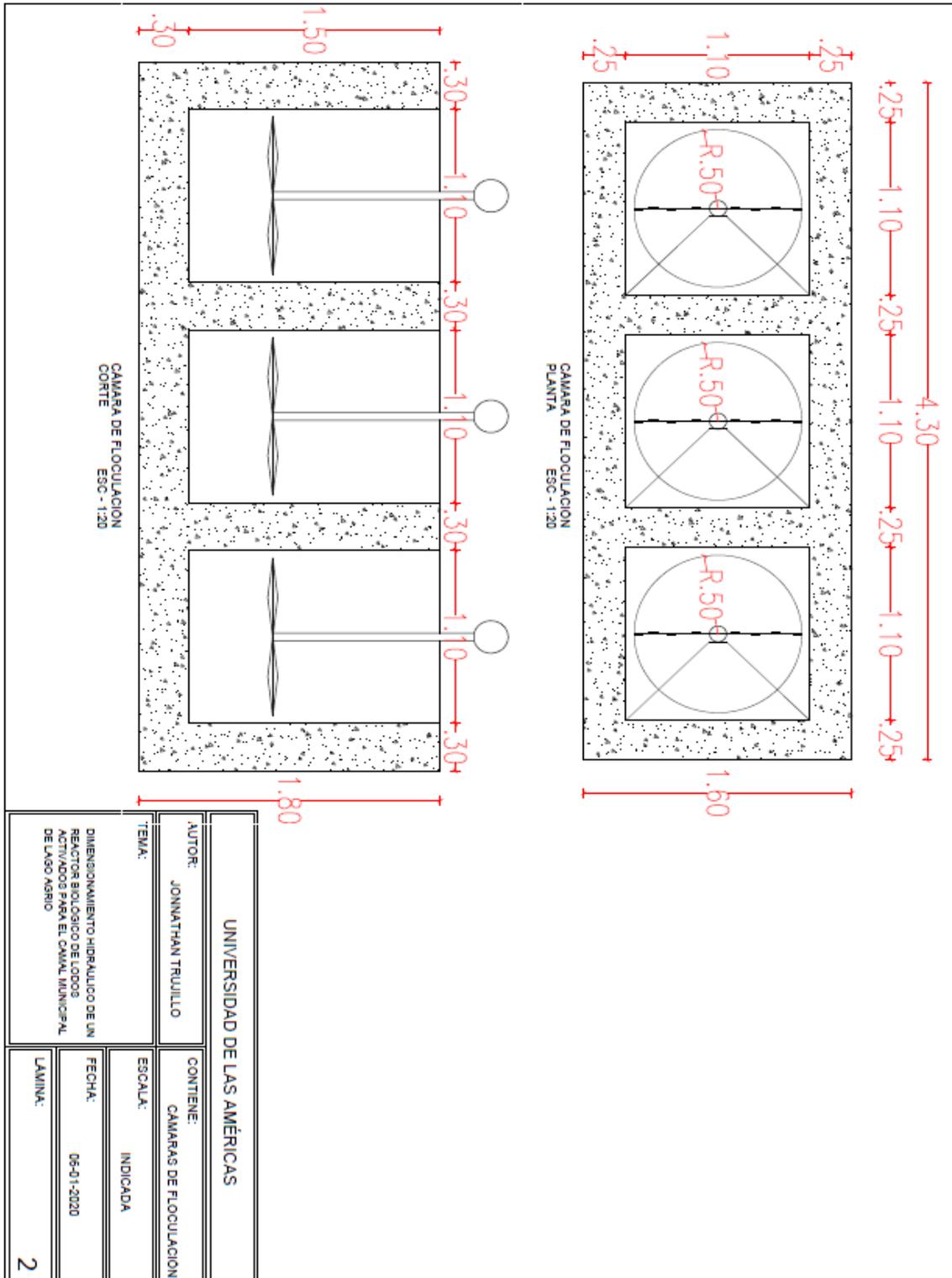
$Dedi$ $= \sqrt{\frac{A_sedi * 4}{\pi}}$	<p>Diámetro del EDI</p>	<p>1.10</p>	<p>m</p>
--	-------------------------	-------------	----------

Anexo 9. Planos del canal de aproximación, rejillas finas y gruesas.

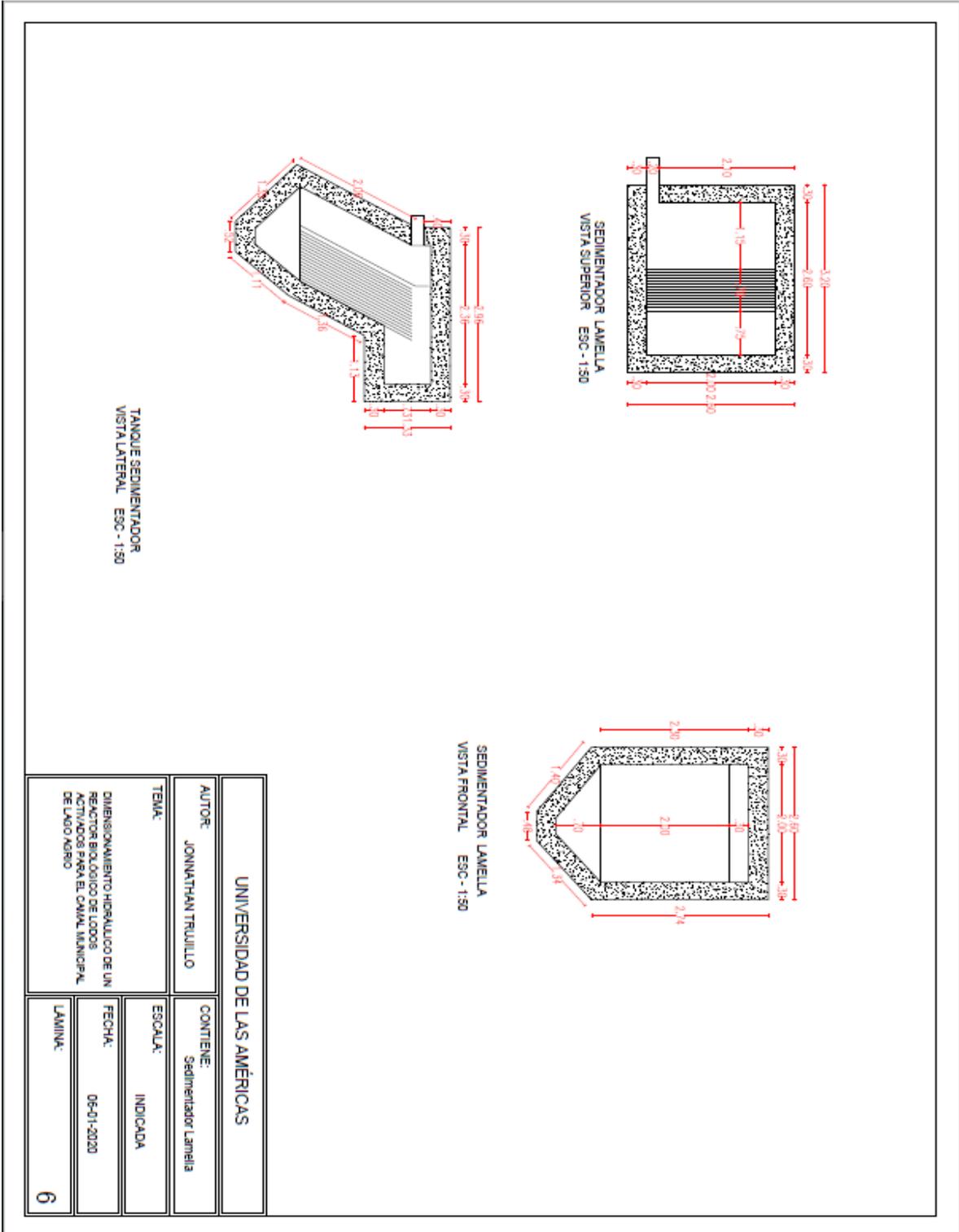


<b>UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS</b>	
AUTOR: JONATHAN TRUJILLO	CONTIENE: CANAL DE APROXIMACION Y CRIBAS
TEMA: DIMENSIONAMIENTO HIDRAULICO DE UN RECTOR BIOLÓGICO DE Lodos ACTIVADOS PARA EL CANAL MUNICIPAL DE LAGO ABRIO	ESCALA: INDICADA
	FECHA: 06-01-2020
	LÁMINA: 1

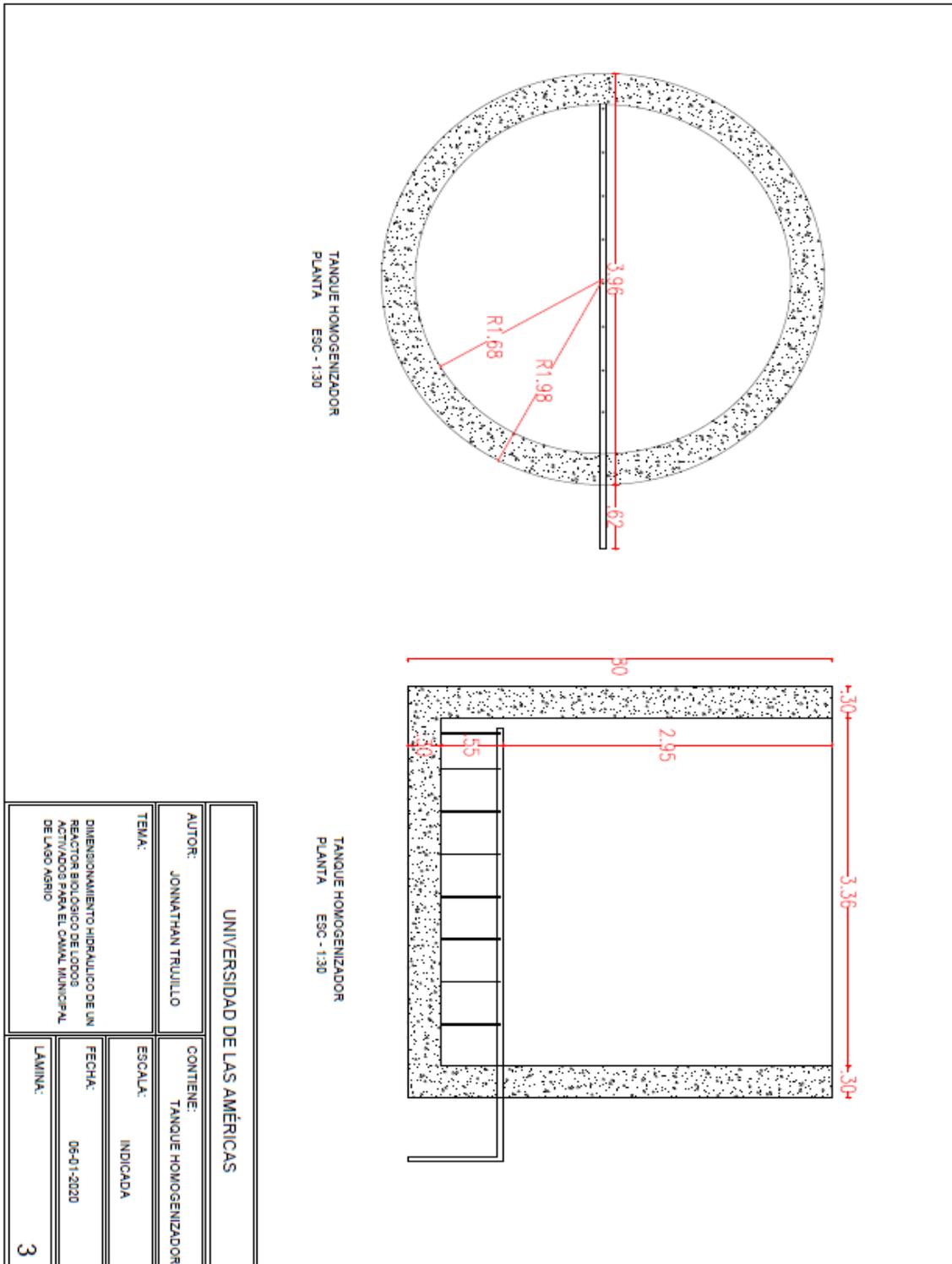
Anexo 10. Planos de los tanques floculadores.



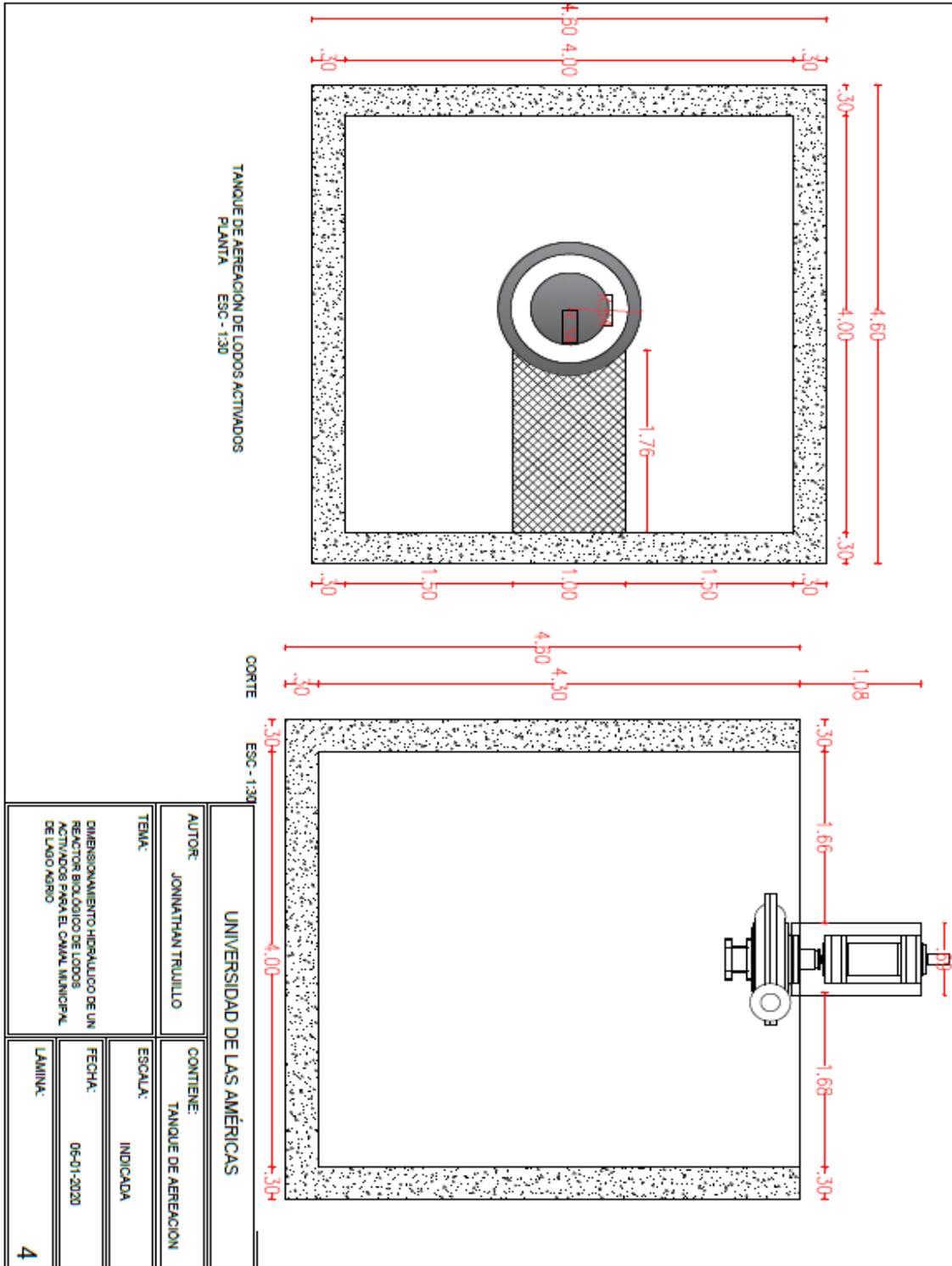
Anexo 11. Planos del sedimentador lamella.



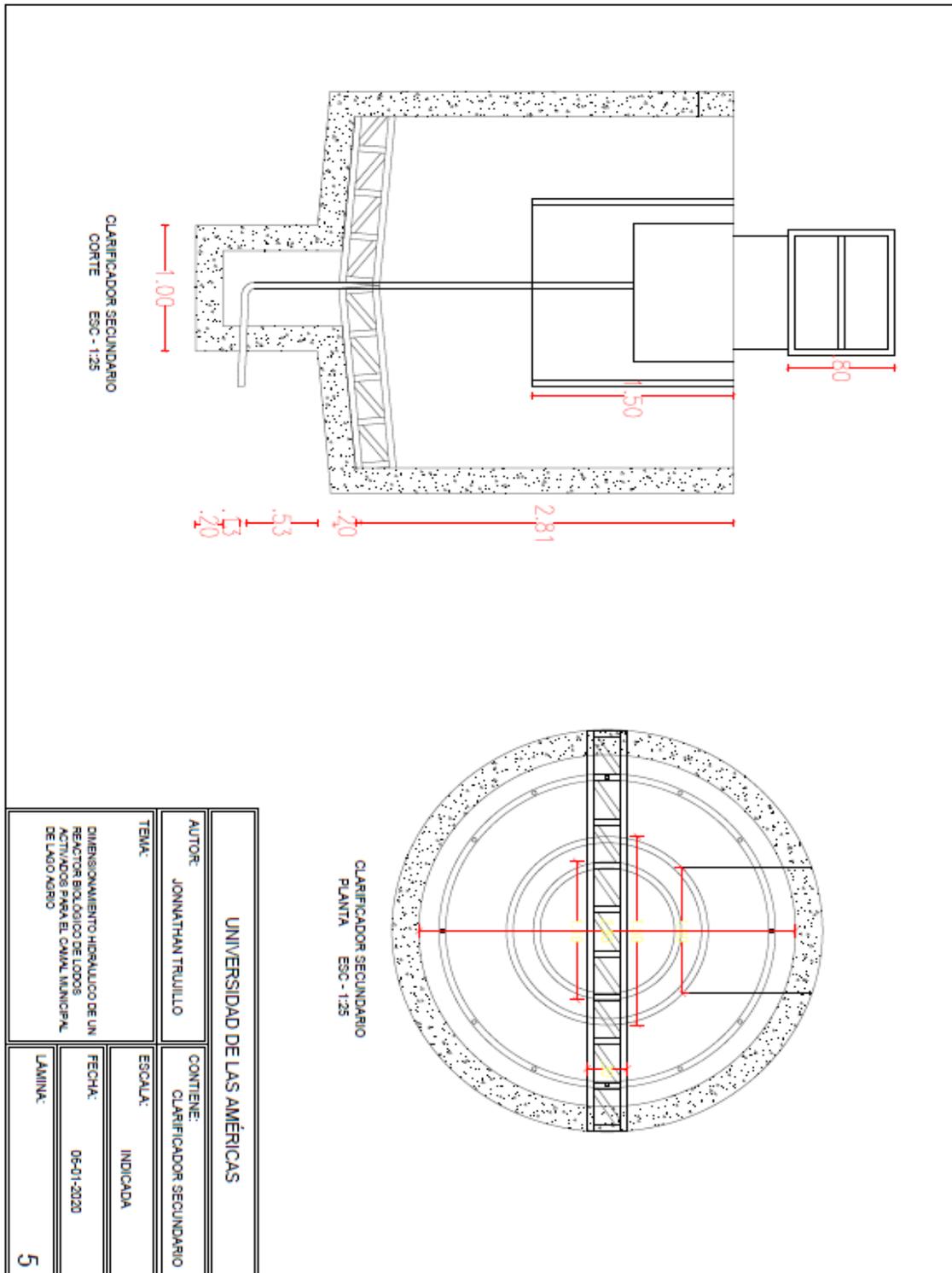
Anexo 12. Planos del tanque homogenizador.



Anexo 13. Planos del tanque de aereación de lodos activados.



Anexo 14. Planos del Clarificador secundario.



Anexo 15. Resultado del análisis de aguas residuales realizado en el laboratorio LABSU.

 <p><b>LABSU</b> LABORATORIO AMBIENTAL Suelos, Aguas, Alimentos, Emisiones, Ruido</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Pray P. de Villarquemade S/N y Av. Labata E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefonos: (593) 06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 127 240</b>		
	SPS: 19 – 2 781	Análisis de agua	

Coca, 28 de agosto de 2019

**1. INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

Razón Social: N/A  
 Solicitado por: Ing. Jonathan Trujillo.  
 Dirección: Lago Agrio.  
 Fecha hora de toma de muestra: 2 019 08 16 09:00      Responsable: Ing. Jonathan Trujillo.  
 Identificación de la muestra: Agua, Muestra #2.

**2. INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

Fecha hora ingreso al Laboratorio: 2 019 08 16 15:40.  
 Fecha del análisis: 2 019 08 16 a 2 019 08 28.  
 Condiciones Ambientales de Análisis: T. Máx: 26,5°C T. Mín: 21,5°C  
 Código de Labsu de la muestra: a 15 689

**2.1. Parámetros y métodos/referencias:**

Item	Análisis solicitados	Método de Referencia Normalizado/ PEE - LABSU	Unidad	Código a 15 689	Incertidumbre (k=2)	Límite máximo permisible	Dentro de Especificaciones
1	Sólidos totales	SM 2540 B/ PEE-LABSU-49	mg/l.	4 955,68	± 10%	1 600	No Cumple
2	*Demanda química de oxígeno	IIACII 8000/ PEE-LABSU-89	mg/l.	6 748,10	~	200	No Cumple
3	*Demanda bioquímica de oxígeno	SM 5210 H/ PEE-LABSU-09	mg/l.	396,5	~	100	No Cumple
4	*Fósforo	SM 4500 E/ PEE-LABSU-19	mg/l.	2,40	~	10,0	Cumple
5	©Aceites y grasas	EPA 418.1/ PEE/ANNCY/01	mg/l.	< 0,2	± 25%	30,0	Cumple

FUENTE: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes Recurso Agua. Registro oficial, Noviembre del 2015.  
 Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.  
 \*\* No establecido en la tabla.

**2.2. Declaración de Conformidad:**

Algunos de los valores medidos no cumplen con los límites de especificación.



Anexo 16. Resultado del análisis de aguas residuales realizado en el laboratorio LABSU.

 <p><b>LABSU</b> LABORATORIO AMBIENTAL Suelos, Aguas, Alimentos, Emisiones, Ruido</p>	VICARIATO APOSTÓLICO DE AGUARICO Truj 1 <sup>o</sup> de Villagüenado S/N y Av. Labata 1 <sup>o</sup> mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Teléfono: (593)06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N <sup>o</sup> OAE LE 2C 07-003
	<b>INFORME DE                  ENSAYO N<sup>o</sup>: 127 144</b>		
	SPS: 19 - 2 727	Análisis de agua	

Coca, 28 de agosto de 2019

**1. INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

Razón Social: N/A  
 Solicitado por: Ing. Jonathan Trujillo  
 Dirección: Lago Agrio  
 Fecha hora de toma de muestra: ... 2 019 08 12 10:00      Responsable: Ing. Jonathan Trujillo  
 Identificación de la muestra: Agua, M1 Canal Municipal de Lago Agrio.

**2. INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

Fecha hora ingreso al Laboratorio: 2 019 08 12 15:05  
 Fecha del análisis: 2 019 08 12 a 2 019 08 28  
 Condiciones Ambientales de Análisis: T. Máx: 26,5°C T. Min: 21,5°C  
 Código de Labsu de la muestra: a 15 631

**2.1. Parámetros y métodos/referencias:**

Item	Análisis solicitados	Método de Referencia Normalizado/ PEE - LABSU	Unidad	Código a 15 431	Incertidumbre (k=2)	Límite máximo permisible	Dentro de Especificaciones
1	Sólidos totales	SM 2540 H/ PEE-LABSU-08	mg/l	9 761,34	± 10%	1 600	No Cumple
2	*Demanda química de oxígeno	HAACH 8000/ PEE-LABSU-85	mg/l	9 548,6	-	200	No Cumple
3	*Demanda bioquímica de oxígeno	SM 5210 B/ PEE-LABSU-09	mg/l	31,6	-	100	No Cumple
4	*Fósforo	SM 4500 G/ PEE-LABSU-19	mg/l	1,83	-	10,0	Cumple
5	Óxidos y grasas	EPA 418.17 PEE/ANNEXY/01	mg/l	< 0,2	± 25%	30,0	Cumple
6	*Nitrógeno amoniacal	SM 4500 NH <sub>3</sub> JCF/ PEE-LABSU-41	mg/L	9,00	-	30,0	Cumple
7	*Nitrógeno total	HAACH 10071/ PEE-LABSU-50	mg/L	1 263,6	-	50,0	No Cumple
8	*Alcalinidad Total	SM 2320 B/ PEE-LABSU-59	mg/l - CaCO <sub>3</sub>	350,00	-	**	**

FUENTE: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Registro oficial, Noviembre del 2015.  
 Tabla 5. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.  
 \*\* No establecido en la tabla.

**2.2. Declaración de Conformidad:**

Para uno de los valores medidos no es posible realizar una declaración de cumplimiento con especificaciones.



**Notas:** El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo conforme lo solicitado por el cliente.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están validados en el marco de la acreditación del SAE.  
 El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.  
 Publicado la resolución total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

Anexo 17. Resultado del análisis de aguas residuales realizado en el laboratorio LABSU.

 <p><b>LABSU</b> LABORATORIO AMBIENTAL Saneamiento, Aguas, Alimentos, Emisiones, Ruido</p>	VICARIATO APOSTÓLICO DE AGUARICO Proj. V. de Vitoquecandó S/N y Av. Labitza E-mail: laboratorio@labvu.com COCA, Provincia de Orellana - Ecuador Teléfono: (08) 336 2881305		Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-005
	<b>INFORME DE                  ENSAYO N°: 127 239</b>		
	SPS: 19 - 2 781	Análisis de agua	

Coca, 18 de agosto de 2019

**1. INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

Razón Social: N/A  
 Solicitado por: Ing. Jonathan Trujillo  
 Dirección: Lago Agrón  
 Fecha hora de toma de muestra: 2 019 08 16 11:00      Responsable: Ing. Jonathan Trujillo  
 Identificación de la muestra: Agua, muestra # 3

**2. INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

Fecha hora ingreso al Laboratorio: 2 019 08 16 15:40  
 Fecha del análisis: 2 019 08 16 a 2 019 08 18  
 Condiciones Ambientales de Análisis: T. Máx: 26,5°C T. Mín: 21,5°C  
 Código de Laboratorio de la muestra: a 35 688

**2.1. Parámetros y métodos/referencias:**

Item	Análisis solicitados	Método de Referencia Normatizado/ PIE - LABSU	Unidad	Código a 15 688	Incertidumbre (k=2)	Límite máximo permisible	Detalle de Especificaciones
1	*Demanda química de oxígeno	HACH 8000/ PIE-LABSU-89	mg/L	2 370,40	-	300	No Cumple

FUENTE: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Registro oficial, Noviembre del 2015.  
 Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.  
 \*\* No establecido en la tabla.

**2.2. Declaración de Conformidad:**

El valor medido no cumple con el límite de especificación.

Nota:

La Declaración de Conformidad con la especificación en este informe se refiere solamente a la muestra de ensayo tal como ha sido analizada en base al Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Registro oficial, Noviembre del 2015. Tabla 9 y se ha resuelto en consecuencia la conformidad.

La Declaración de Conformidad y la regla de decisión fue acordada con el cliente y se realizó en base a la Guía IAC-0803.

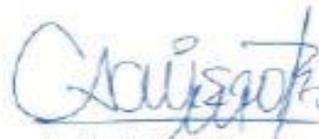
\*Cumple\*: el parámetro cumple con los requisitos.

\*No cumple\*: el parámetro no cumple con los requisitos.

**3. RESPONSABLES DEL INFORME**

  
 Ing. Yvanna Laca Nolasco,  
 DIRECTOR TÉCNICO  
 Autorización



  
 Ing. Ricardo Córdova Paredes,  
 RESPONSABLE CALIDAD  
 Revisión

Anexo 18. Resultado del análisis de aguas residuales realizado en el laboratorio LABSU.

 <b>LABSU</b> LABORATORIO AMBIENTAL Suelos, Aguas, Alimentos, Emisiones, Ruido	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Puz 2, de Villagranada 0,70 y Av. Laika E-mail: labosmos@labosu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Teléfono: 09196 2881100	Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	<b>INFORME DE          ENSAYO N°: 127 146</b>	
SPS: 19 - 2 727	Análisis de agua	

Coca, 14 de agosto de 2019

**1. INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

Razón Social: N/A  
 Solicitado por: Ing. Jonathan Trujillo  
 Dirección: Lago Agrio  
 Fecha hora de toma de muestra: 2 019 08 12 13:00      Responsable: Ing. Jonathan Trujillo  
 Identificación de la muestra: Agua, M3 Canal Municipal de Lago Agrio.

**2. INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

Fecha hora ingreso al Laboratorio: 2 019 08 12 15:05  
 Fecha del análisis: 2 019 08 12 a 2 019 08 14  
 Condiciones Ambientales de Análisis: T. Máx: 26,5°C. T. Mín: 21,5°C  
 Código de Labsu de la muestra: a 15 633

**2.1. Parámetros y métodos/referencias:**

Item	Análisis solicitados	Método de Referencia Normalizado/ PER - LABSU	Unidad	Código a 15 633	Incorporaciones (N+2)	Límite máximo permisible	Demanda de Especificaciones
2	*Demanda química de oxígeno	HAUTE 0006/ PIR-LABSU-00	mg/L	6 561,3	-	200	No Cumple

FUENTE: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Registro oficial, Noviembre del 2015.  
 Tabla 2: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.  
 \*\* No establecido en la tabla.

**2.2. Declaración de Conformidad:**

El valor medido no cumple con el límite de especificación.

**Nota:**  
 La declaración de Conformidad con la especificación de este informe se refiere solamente a la muestra de muestra que ha sido analizada en base al Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes Recurso Agua. Registro oficial, Noviembre del 2015. Tabla # 9 y se ha realizado en consideración a la ley de gestión ambiental.  
 La Declaración de Conformidad es el resultado de acuerdo con el cliente y se realizó en base a la Guía ILAC-0805.  
 \*Cumple\*: el parámetro cumple con los requisitos.  
 \*No cumple\*: el parámetro no cumple con los requisitos.

**3. RESPONSABLES DEL INFORME**

Téc. Andrea Soto Plata  
**DIRECTOR TÉCNICO**  
 Autorización



Ing. Victoria Lora Villegas  
**RESPONSABLE CALIDAD**  
 Revisión

**Nota:** El informe está sujeto a los cambios de información recibidos por el cliente.  
 Los errores materiales (errores de cálculo) son responsabilidad del sistema de la acreditación del SAE.  
 El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.  
 Prohíbese la reproducción total o parcial sin autorización escrita del personal técnico del laboratorio.

Anexo 19. Resultado del análisis de aguas residuales realizado en el laboratorio LABSU.

 <b>LABSU</b> <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> Suelos, Aguas, Almasas, Emisiones, Ruido	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Vía P. de Villegorondo 5/ N y Av. Tachak E-mail: laboratorio@labso.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Teléfono: 03506 3881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	<b>INFORME DE          ENSAYO N°: 127.145</b>		
	SPS: 19 – 2 727	Análisis de agua	

Coca, 14 de agosto de 2019

**1. INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

Razón Social: N/A  
 Solicitado por: Ing. Jonathan Trujillo  
 Dirección: Lago Agrío.  
 Fecha hora de toma de muestra: 2 019 08 12 11:00      Responsable: Ing. Jonathan Trujillo  
 Identificación de la muestra: Agua, M2 Canal Municipal de Lago Agrío.

**2. INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

Fecha hora ingreso al Laboratorio: 2 019 08 12 15:05.  
 Fecha del análisis: 2 019 08 12 a 2 019 08 14.  
 Condiciones Ambientales de Análisis: T. Máx: 26,5°C T. Min: 21,5°C;  
 Código de Labso de la muestra: a 15 632

**2.1. Parámetros y métodos/referencias:**

Item	Análisis solicitados	Método de Referencia Normalizado/ PEE - LABSU	Unidad	Código a 15 632	Receptáculos (n=2)	Límite máximo permitido	Dentro de Especificaciones
1	Demanda química de oxígeno	HACH 8000/ PEE-LABSU-49	mg/l.	3 706,9	-	200	No Cumple

FUENTE: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la producción y control de la Contaminación Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes Recurso Agua. Registro oficial, Noviembre del 2015:  
 Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.  
 \*\* No establecido en la tabla.

**2.2. Declaración de Conformidad:**

El valor medido no cumple con el límite de especificación.

**Nota:**  
 La declaración de Conformidad con la especificación en esta informe se refiere solamente a la muestra de campo tal como ha sido analizada en base al Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la producción y control de la Contaminación Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes Recurso Agua. Registro oficial, Noviembre del 2015 Tabla # 9 y se ha emitido sin considerar la incineración.  
 La Declaración de Conformidad más amplia del laboratorio se otorga con el cliente y se realiza en base a la OAE LE 2C-07-003.  
 \*Cumple\*: el parámetro cumple con los requisitos.  
 \*\*No cumple\*: el parámetro no cumple con los requisitos.

**3. RESPONSABLES DEL INFORME**

  
**Téc. Andrés Solís Plaza**  
**DIRECTOR TÉCNICO**  
 Autorización



  
**Ing. Victoria Lara Ybarra**  
**RESPONSABLE CALIDAD**  
 Revisión

**Nota:** El informe sólo aplica a la muestra sometida o muestra conforma la indicada por el cliente.  
 Los ensayos marcados con (\*) no son válidos en el marco de la acreditación del SAE.  
 El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.  
 Prohibida la reproducción total o parcial sin evaluación previa del término escrito del laboratorio.

MC2201-05 Página 1 de 1

Anexo 20. Canal de recolección del camal municipal



Anexo 21. Medición de parámetros físicos mediante equipo multiparámetro portátil.



Anexo 22. Medición de DBO mediante equipo de oxitop.



