



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
MAESTRÍA EN GESTION AMBIENTAL**

**“TRABAJO DE TITULACIÓN ESPECIAL”  
PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER EN GESTION  
AMBIENTAL**

**“DISEÑO DE TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL DEL  
CENTRO DE FAENAMIENTO PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

**AUTOR: ING. JOHN ENRIQUE MONTENEGRO CARVAJAL  
TUTOR: ING. SANDRA EMPERATRIZ PEÑA MURILLO, MSc.**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AGOSTO 2016**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



### FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN ESPECIAL

**TÍTULO:** Diseño de tratabilidad del agua residual del centro de faenamiento Provincia de Santa Elena

**AUTOR/E:** John Enrique Montenegro Carvajal

**REVISORES:** Ing. Sandra Peña Murillo

**INSTITUCIÓN:** Universidad de Guayaquil

**FACULTAD:** Ingeniería Química

**PROGRAMA:** MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL

**FECHA DE PUBLICACIÓN:**

**N° DE PÁGS.:**

**ÁREA TEMÁTICA:** Contaminación ambiental

**PALABRAS CLAVES:** Tratamientos biológicos, Reactor Biológico, Estudio de tratabilidad, Caracterización, Enzimas

**RESUMEN:**

Las aguas residuales de los centros de faenamiento son los vertimientos líquidos que impactan los sistemas de alcantarillados sanitarios y los cuerpos receptores, con cargas orgánicas que representan en poblaciones pequeñas y medianas hasta el 80% del aporte contaminante municipal, por ende no cumple con las exigencias ambientales, por lo tanto debe ser tratada antes de su descarga hacia el cuerpo receptor. El presente trabajo, sugiere la alternativa de realizar un estudio de tratabilidad biológica previo al diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales del centro de faenamiento Provincia de Santa Elena. El estudio de tratabilidad consiste en recrear a nivel de laboratorio, un reactor biológico con aireación extendida y dosificación de catalizador enzimático para acelerar las reacciones microbiológicas en el mismo, con el fin de establecer de forma específica, el tiempo requerido por los microorganismos presentes en el agua para eliminar la materia oxidable y la relación concentración de alimento vs cantidad de microorganismos, y para remover la carga excedente se somete a un tratamiento terciario y filtración. A continuación se presenta una forma rápida y económica de realizar un estudio de tratabilidad que entrega resultados extrapolables al diseño óptimo de una planta. El estudio partió con la caracterización del agua residual, establecido por las concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrógeno (N) y Fósforo (P), para posteriormente someterla a los distintos métodos de tratabilidad expresados anteriormente.

Debido a este gran problema se han buscado medios biotecnológicos para darle un tratamiento adecuado a este tipo de aguas para recuperar sus propiedades naturales, eliminando la toxicidad que llegue a tener, entre estos métodos está el tratamiento enzimático.

Las enzimas son capaces de catalizar una amplia variedad de compuestos orgánicos principalmente los compuestos aromáticos, estas enzimas son producidas principalmente por microorganismos como bacterias y hongos, sin embargo estas fuentes son limitadas, actualmente se están buscando nuevas fuentes de obtención de estas enzimas como de las plantas, las enzimas tienen la capacidad de oxidar distintos contaminantes orgánicos para transformarlos a otros productos permitiendo un mejor tratamiento final de los residuos. Algunas otras enzimas mineralizan los contaminantes y de esta

manera son menos dañinos o incluso no perjudiciales a la salud.

Con el sistema de depuración aplicado experimentalmente el agua residual tratada cumple con los límites máximos permisibles exigidos por la normativa ambiental vigente.

<b>N° DE REGISTRO(en base de datos):</b>	<b>N° DE CLASIFICACIÓN: Nº</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR:</b>	<b>Teléfono:</b> 0969634030	<b>E-mail:</b> jomoncar_1622@hotmail.com
<b>CONTACTO DE LA INSTITUCIÓN</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Sandra Peña Murillo	
	<b>Teléfono:</b> 0999630391	

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del estudiante **John Enrique Montenegro Carvajal**, del Programa de **Maestría en Gestión Ambiental**, nombrado por el Decano de la Facultad de Ingeniería Química **CERTIFICO**: que el trabajo de titulación especial **“DISEÑO DE TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL DEL CENTRO DE FAENAMIENTO PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, en opción al grado académico de **Magíster en Gestión Ambiental**, cumple con los requisitos académicos, científicos y formales que establece el Reglamento aprobado para tal efecto.

**Atentamente**

**Ing. Sandra Peña Murillo, MSc.**

**TUTOR**

Guayaquil, 29 de Agosto del 2016

## **DEDICATORIA**

A mis padres, A mi esposa y A mis hijos

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente a Dios por ser siempre quien guía mi camino de la sabiduría y el entendimiento. A mis padres quienes siempre me han apoyado y motivado en mi formación académica. A mi esposa y a mis hijos por saber entenderme en aquellos momentos que no estaba junto ellos por encontrarme formando académicamente.

A mi tutora por sus buenos consejos y recomendaciones dadas para el desarrollo de este trabajo.

A los encargados del Centro de faenamiento por haberme dado las facilidades para el buen desenvolvimiento de este trabajo.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de titulación especial, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL”

---

**FIRMA**

**Ing. John Enrique Montenegro Carvajal**

### **Resumen:**

Las aguas residuales de los centros de faenamiento son los vertimientos líquidos que impactan los sistemas de alcantarillados sanitarios y los cuerpos receptores, con cargas orgánicas que representan en poblaciones pequeñas y medianas hasta el 80% del aporte contaminante municipal, por ende no cumple con las exigencias ambientales, por lo tanto debe ser tratada antes de su descarga hacia el cuerpo receptor. El presente trabajo, sugiere la alternativa de realizar un estudio de tratabilidad biológica previo al diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales del centro de faenamiento Provincia de Santa Elena. El estudio de tratabilidad consiste en recrear a nivel de laboratorio, un reactor biológico con aireación extendida y dosificación de catalizador enzimático para acelerar las reacciones microbiológicas en el mismo, con el fin de establecer de forma específica, el tiempo requerido por los microorganismos presentes en el agua para eliminar la materia oxidable y la relación concentración de alimento vs cantidad de microorganismos, y para remover la carga excedente se somete a un tratamiento terciario y filtración. A continuación se presenta una forma rápida y económica de realizar un estudio de tratabilidad que entrega resultados extrapolables al diseño óptimo de una planta. El estudio partió con la caracterización del agua residual, establecido por las concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrógeno (N) y Fósforo (P), para posteriormente someterla a los distintos métodos de tratabilidad expresados anteriormente.

Debido a este gran problema se han buscado medios biotecnológicos para darle un tratamiento adecuado a este tipo de aguas para recuperar sus propiedades naturales, eliminando la toxicidad que llegue a tener, entre estos métodos está el tratamiento enzimático.

Las enzimas son capaces de catalizar una amplia variedad de compuestos orgánicos principalmente los compuestos aromáticos, estas enzimas son producidas principalmente por

microorganismos como bacterias y hongos, sin embargo estas fuentes son limitadas, actualmente se están buscando nuevas fuentes de obtención de estas enzimas como de las plantas, las enzimas tienen la capacidad de oxidar distintos contaminantes orgánicos para transformarlos a otros productos permitiendo un mejor tratamiento final de los residuos. Algunas otras enzimas mineralizan los contaminantes y de esta manera son menos dañinos o incluso no perjudiciales a la salud.

Con el sistema de depuración aplicado experimentalmente el agua residual tratada cumple con los límites máximos permisibles exigidos por la normativa ambiental vigente.

**Palabras claves:** Tratamientos biológicos, Reactor Biológico, Estudio de tratabilidad, Caracterización, Enzimas

## Tabla de Contenido

Introducción .....	1
Delimitación y formulación del problema .....	1
Justificación .....	2
Objeto de estudio .....	3
Campo de acción o de investigación .....	3
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos .....	4
La novedad científica .....	4
Capítulo 1.....	5
Marco Teórico.....	5
1.1    Descripción del Proceso de Faenado en un camal .....	5
1.1.1    Recepción del ganado.....	5
1.1.2    Baño externo .....	5
1.1.3    Aturdimiento .....	5
1.1.4    Izado .....	6
1.1.5    Desangrado.....	6
1.1.6    Descuerado.....	6
1.1.7    Faenamamiento.....	6
1.1.8    Evisceración .....	6
1.1.9    Trozado en dos canales .....	6
1.1.10    Lavado.....	6
1.2    Agua Residual.....	7
1.2.1    Definición.....	7
1.2.2    Características de las aguas residuales de un centro de faenamamiento .....	8
1.2.3    Parámetros de calidad del agua residual de un Centro de faenamamiento.....	9
1.2.3.1    Descripción de los parámetros de calidad.....	9
1.2.4    Etapas del Tratamiento del Agua residual en Centros de Faenamamiento.....	12
1.2.4.1    Pretratamiento .....	12

1.2.4.1.1	Separación de grandes sólidos.....	13
1.2.4.1.2	Desbaste.....	13
1.2.4.1.3	Remoción de Sólidos.....	14
1.2.4.1.4	Remoción de Arena.....	14
1.2.4.2	Tratamiento Primario.....	15
1.2.4.2.1	Tratamiento físico – químico.....	16
1.2.4.2.2	Sedimentación.....	18
1.2.4.2.3	Flotación por aire disuelto.....	19
1.2.4.3	Tratamiento Secundario.....	20
1.2.4.3.1	Fundamentos de los procesos biológicos aerobios.....	20
1.2.4.4	Tratamiento Terciario.....	26
1.2.4.4.1	Métodos de tratamiento terciario.....	27
1.2.5	Diseño de Planta de tratamiento.....	30
1.2.5.1	Caudal.....	30
1.2.5.2	Consumo de Agua.....	30
1.2.5.3	Rejillas.....	31
1.2.5.3.1	Consideraciones de Diseño de Canal de rejillas.....	31
1.2.5.4	Tratamiento Biológico.....	34
1.2.5.4.1	Diseño del Reactor.....	34
1.2.5.5	Tratamiento terciario.....	37
1.2.5.5.1	Tanque secundario de sedimentación.....	37
1.3	Sitio de Estudio.....	38
1.3.1	Antecedentes.....	38
1.3.2	Ubicación del Proyecto.....	40
1.4	Legislación Aplicable.....	41
1.4.1	Ley de Aguas.....	42
1.4.2	Texto Único de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.....	42
1.4.2.1	Límites de descarga.....	43
1.4.3	Código Internacional Industrial Uniforme CIU.....	46

Capítulo 2.....	48
Marco Metodológico .....	48
2.1    Metodología.....	48
2.1.1    Situación actual del agua residual en el Centro de Faenamiento .....	48
2.1.2    Metodología a utilizarse .....	48
2.1.2.1    Identificación de la generación del agua residual .....	49
2.1.2.2    Determinación de caudal.....	51
2.1.2.3    Toma de muestra .....	52
2.1.2.4    Caracterización Inicial .....	52
2.1.2.5    Pruebas de Tratabilidad del afluyente para la determinación de la dosis óptima y simulación de procesos.....	53
2.2    Premisas o Hipótesis.....	55
2.3    Operacionalización de variables .....	55
2.3.1    Variable independiente .....	55
2.3.2    Variable dependiente .....	56
Capítulo 3.....	57
Análisis de Resultados .....	57
3.1    Antecedentes de la Unidad de Análisis.....	57
3.1.1    Resultados de la Caracterización inicial .....	57
3.2    Diagnóstico o estudio de campo.....	58
3.2.1    Resultados de las pruebas de tratabilidad .....	58
3.2.2    Eficiencia de remoción .....	65
3.2.3    Análisis por parámetro .....	65
Capítulo 4.....	75
Discusión.....	75
4.1    Contrastación empírica.....	75
4.2    Limitaciones .....	75
4.3    Líneas de investigación .....	75
4.3.1    Línea de investigación N° 1:.....	75
4.3.2    Línea de investigación N° 2.....	75

4.3.3	Línea de Investigación N°3 .....	75
4.3.4	Línea de investigación N° 4.....	75
4.3.5	Línea de investigación N° 5.....	76
4.4	Aspectos relevantes.....	76
Capítulo 5.....		77
Propuesta.....		77
5.1	Propuesta del diseño de tratabilidad del efluente .....	77
5.1.1	Pretratamiento o tratamiento preliminar .....	77
5.1.1.1	Diseño de Canal con Rejillas. ....	77
5.1.2	Tratamiento Biológico .....	81
5.1.2.1	Diseño del Reactor .....	81
5.1.3	Tratamiento terciario .....	85
5.1.3.1	Tanque secundario de sedimentación.....	85
Conclusiones.....		88
Recomendaciones.....		89
Bibliografía.....		90
ANEXOS.....		93

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual</i> .....	31
<i>Tabla 2. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público</i> .....	43
<i>Tabla 3. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce</i> .....	45
<i>Tabla 4. Parámetros de monitoreo de las descargas industriales</i> .....	47
<i>Tabla 5. Matriz CDIU Variable independiente</i> .....	55
<i>Tabla 6. Matriz CDIU Variable dependiente</i> .....	56
<i>Tabla 7. Caracterización inicial del afluente</i> .....	57
<i>Tabla 8. Activación de la enzima</i> .....	60
<i>Tabla 9. Test de jarras para la determinación de la dosis óptima de los productos químicos para la precipitación química</i> .....	61
<i>Tabla 10. Caracterización del efluente en cada etapa del tratamiento y comparación con la normativa</i> .....	63
<i>Tabla 11. Eficiencia de remoción del tratamiento</i> .....	65

## Índice de Gráficas

<i>Gráfica 1. Resultados de la Caracterización de Aceites y Grasas</i> .....	66
<i>Gráfica 2. Resultados de la Caracterización del Color</i> .....	66
<i>Gráfica 3. Resultados de la Caracterización de la DBO</i> .....	67
<i>Gráfica 4. Resultados de la Caracterización de la DQO</i> .....	68
<i>Gráfica 5. Resultados de la Caracterización de Nitratos</i> .....	69
<i>Gráfica 6. Resultados de la Caracterización de Nitritos</i> .....	69
<i>Gráfica 7. Resultados de la Caracterización del pH</i> .....	70
<i>Gráfica 8. Resultados de la Caracterización de Sólidos Totales</i> .....	71
<i>Gráfica 9. Resultados de la Caracterización de Sólidos Suspendidos Totales</i> .....	72
<i>Gráfica 10. Resultados de la Caracterización de Sulfatos</i> .....	73
<i>Gráfica 11. Resultados de la Caracterización de la Temperatura</i> .....	73
<i>Gráfica 12. Resultados de la Caracterización de la Turbiedad</i> .....	74

## Índice de Figuras

<i>Figura 1. Ubicación del centro de faenamiento en la Provincia de Santa Elena</i> .....	40
<i>Figura 2. Determinación de sólidos sedimentables mediante la prueba del cono Imhoff</i> .....	58
<i>Figura 3. Reactor para tratamiento biológico aerobio</i> .....	59
<i>Figura 4. Test de jarras - Precipitación química</i> .....	62
<i>Figura 5. Flóculos sedimentados, agua decantada y lodo residual después del proceso de precipitación química en el tratamiento terciario</i> .....	62
<i>Figura 6. Filtración a través de un lecho de adsorción con carbón activado</i> .....	63
<i>Figura 7. Muestras de las pruebas de tratabilidad en cada etapa del tratamiento</i> .....	64
<i>Figura 8 Diseño Planta de Tratamiento Aguas residuales del centro de Faenamiento Provincia de Santa Elena</i> .....	87
<i>Figura 9. Focalización de la contaminación ambiental generada por la descarga de aguas residuales del camal formando una vertiente de agua que desemboca en el estero Murciélagos de la comuna Chuyuipe</i> .....	93
<i>Figura 10. Determinación de DQO, Conductividad Eléctrica, pH y Test de jarras del agua residual</i> .....	93

## Índice de Diagramas

*Diagrama 1. Diagrama de Flujo del proceso de faenamiento* .....7

*Diagrama 2. Generación de agua residual en el Centro de Faenamiento* .....51

## **Introducción**

La contaminación ambiental es la introducción de contaminantes a un medio natural. Se puede decir que las actividades de origen antropogénico son las principales fuentes de contaminación y por ende las causantes de alteraciones a los factores ambientales (aire, agua y suelo). El tipo de contaminantes dependerá estrictamente de la actividad que la genera.

En el caso específico de las actividades realizadas en un Centro de Faenamiento genera una cantidad considerable de agua residual con altos contenidos de materia orgánica, que generalmente originaría contaminación a las aguas superficiales ya que es ahí donde finalmente se produce la descarga, lo cual originaría consecuencias negativas en el medio ambiente y por ende en el ecosistema.

En torno a esto, a nivel mundial y local existen varias normativas ambientales que rigen las descargas de aguas residuales a los distintos sistemas; de manera que estas presentan parámetros máximos permisibles que se deben cumplir con la finalidad de no alterar el ecosistema.

La presente investigación, evaluará la calidad del agua generada y descargada y posteriormente propondrá alternativas de tratamiento de los efluentes para cumplir con lo establecido en el TULSMA, previo a la descarga.

### **Delimitación y formulación del problema**

Aumento de la contaminación ambiental de las aguas superficiales del estero Murciélagos y posteriormente de la Playa Chuyuipe, provocado por la descarga de aguas residuales del Centro de faenamiento Regional Provincia de Santa Elena.

*Causas:*

- Inexistencia de una Planta de Tratamiento de aguas residuales en el Centro de faenamiento Regional Provincia de Santa Elena;
- Inadecuado manejo de las descargas de aguas residuales del Centro de faenamiento Regional Provincia de Santa Elena.

*Efectos:*

- Contaminación de componentes ambientales;
- Proliferación de vectores en focos infecciosos;
- Riesgo sanitario en la población de la Comuna Chuyuipe en el Cantón Santa Elena;
- Agotamiento de los recursos naturales afectados;
- Desaparición de la flora y fauna inmersa en el área de influencia por el desequilibrio ambiental.

**Justificación**

En los últimos años ha aumentado la conciencia sobre la importancia de la conservación del ambiente ya que todas las actividades que realiza el hombre se ven estrechamente relacionadas con la utilización de los recursos naturales por lo cual es imprescindible cuidar y mantener el ambiente.

Más allá de los problemas generados por las grandes capitales, las pequeñas ciudades se han preocupado más por valorar la necesidad de preservar su ambiente, la generación de residuos y la producción de efluentes históricamente se ha resuelto considerando la concepción de que la naturaleza es un gran vertedero con la infinita capacidad de depurar y asimilar cualquier residuo que a ella sea arrojado, con el transcurrir del tiempo esta

concepción no ha cambiado mucho ya que en la actualidad pocas son los países y ciudades que se preocupan por la preservación del ambiente.

Las actividades propias del Centro de Faenamiento Regional Provincia de Santa Elena genera una serie de vertidos líquidos procedentes del sacrificio del ganado ya sea bovino como porcino, constituyendo una fuente importante de contaminación de las aguas superficiales del estero Murciélagos y posteriormente a la playa de Chuyuipe, si no se le da un manejo adecuado para su disposición final.

Tomando en cuenta estos aspectos es necesario darle un manejo adecuado a estos vertidos contaminantes, razón por la cual se realizará el “Diseño de tratabilidad del agua residual del Centro de Faenamiento Provincia de Santa Elena” para disminuir la producción de contaminantes generados en el mismo, cumpliendo con las normativas de vertido de las aguas hacia los cuerpos receptores.

### **Objeto de estudio**

Medio Ambiente

### **Campo de acción o de investigación**

Problemáticas ambientales – Contaminación Ambiental de las aguas superficiales del estero Murciélagos y posteriormente de la Playa Chuyuipe

### **Objetivo general**

- Realizar el diseño de tratabilidad del agua residual del Centro de Faenamiento Regional Provincia de Santa Elena.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar las aguas residuales del Centro de Faenamiento Regional Provincia de Santa Elena;
- Realizar las pruebas de Tratabilidad para identificar los productos químicos y las concentraciones idóneas para tratar el agua residual, determinando los tratamientos físicos-químicos y biológicos necesarios para tratar la misma.
- Realizar una propuesta del diseño de tratabilidad del agua residual del centro de faenamiento regional Provincia de Santa Elena.

### **La novedad científica**

Este trabajo de investigación no aporta necesariamente a la ciencia con investigaciones nuevas o diferentes a las ya realizadas, la garantía de este trabajo es teórica y de una significación práctica.

## **Capítulo 1**

### **Marco Teórico**

#### **1.1 Descripción del Proceso de Faenado en un camal**

Las etapas del proceso de faenamamiento en un camal son las siguientes:

##### **1.1.1 Recepción del ganado**

Los animales son descargados de los camiones a través de rampas hacia los corrales donde permanecen de 12 a 24 h antes de su faena. En los corrales el ganado no es alimentado con el fin de reducir el volumen de rumen y estiércol, tan sólo se le suministra agua.

##### **1.1.2 Baño externo**

El ganado en pie es bañado para retirar tierra y estiércol, y así garantizar la higiene en la posterior operación de sacrificio

##### **1.1.3 Aturdimiento**

Generalmente se les aplica un disparo con pistola neumática (administre un golpe en el cráneo) y/o una descarga eléctrica (Provoca una parálisis general de los animales y su caída al suelo y una disminución de la presión arterial). Los movimientos respiratorios se paralizan y la sangre circulante cargada de CO<sub>2</sub> produce la asfixia) el de bajo voltaje (70-150V), que es aplicado de 3 a 7 segundos, durante los cuales el animal puede sufrir una descarga dolorosa antes de quedar aturdido; y el de alto voltaje (150-700V). Posteriormente se aplica su muerte por desangrado.

#### **1.1.4 Izado**

Las reses se suspenden de una pata con un gancho a un riel; el propósito es evitar la contaminación por el contacto del animal con el piso, facilitar las acciones de los operarios y contribuir a un mejor sangrado.

#### **1.1.5 Desangrado**

En este proceso mediante un corte en las arterias del cuello se provoca su muerte por desangrado.

#### **1.1.6 Descuerado**

Luego de desangrar al animal se le corta la cabeza y cuernos y se procede a descuerar con la precaución de no desgarrar músculos ni ocasionar cortes en el cuello.

#### **1.1.7 Faenamiento**

Corte longitudinal en el pecho para extraer viseras y demás órganos.

#### **1.1.8 Evisceración**

Clasificación inspección y lavado de viseras desinfección y enfriamiento.

#### **1.1.9 Trozado en dos canales**

Corte longitudinal con sierra eléctrica a lo largo de la columna del animal en dos partes.

#### **1.1.10 Lavado**

Inspección y pesaje: se lava, clasifica y se pesa al animal.

*Diagrama 1. Diagrama de Flujo del proceso de faenamiento*



Fuente: Camal Regional Provincia de Santa Elena

## 1.2 Agua Residual

### 1.2.1 Definición

Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual. Al incorporar materias extrañas o formas de energía en el agua, induce a que esta, de modo directo o indirecto, implique una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. De manera general se puede decir que las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad ha sido afectada por actividades antropogénicas, sean estas de actividades comunes domésticas o de procesos industriales.

Por ende, la generación de aguas residuales es un producto inevitable de las actividades humanas, las cuales no pueden ser vertidas sin previo tratamiento que disminuya la concentración de contaminantes, ya que constituyen un foco de contaminación importante de los sistemas acuáticos. La eliminación de estas aguas sin tratamiento o uno inadecuado genera graves problemas de contaminación.

El agua residual que pasa por un tratamiento previo a su vertimiento disminuye el grado de contaminación del cuerpo receptor y hasta en algunos casos puede ser reutilizables.

El tratamiento y disposición final apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas de dichas aguas; así como de su significado y de sus efectos principales sobre las fuentes receptoras.

### **1.2.2 Características de las aguas residuales de un centro de faenamiento**

Las aguas residuales que se generan en un centro de faenamiento, poseen una elevada concentración de materia orgánica, tanto disuelta como en suspensión, que fundamentalmente está constituida por proteínas y sus productos de descomposición, como ácidos orgánicos volátiles, aminos y otros compuestos orgánicos nitrogenados. También posee una concentración importante de grasas, que pueden interferir negativamente en su tratamiento biológico, así como una concentración variable de productos lignocelulósicos.

Las características de las aguas residuales de un centro de faenamiento dependen de los siguientes factores:

- Grado de procesado; en particular estómagos, rumen e intestinos y de la posible elaboración de harinas. El contenido ruminal por lo general se gestiona como

subproducto sólido, sin embargo, por lo general el contenido de estómagos y las mucosidades intestinales se incorpora a las aguas residuales;

- Equipamiento de retención de líquidos y sólidos;
- Protocolo de limpieza y uso de agua.

### **1.2.3 Parámetros de calidad del agua residual de un Centro de faenamiento**

Por el contenido de las aguas residuales generadas en un centro de faenamiento (excretas, sangre, cueros, pelos, grasa y huesos), los parámetros importantes a evaluar son: DBO5, DQO, pH, SST, ST, Aceites y grasas, Turbiedad, Color, Nitritos, Nitratos y Sulfatos.

#### ***1.2.3.1 Descripción de los parámetros de calidad.***

- *Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO*

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

La materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO5) y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO<sub>2</sub>/l). El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos.

- *Demanda Química de Oxígeno DQO*

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO<sub>2</sub>/l).

El incremento de la DBO y DQO inciden en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua.

- *pH*

Es la concentración de iones o cationes de hidrógeno (H<sup>+</sup>). Es un parámetro importante de considerar en cada etapa del tratamiento de las aguas. Aguas residuales en concentración adversa del ion hidrogeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos.

- *Sólidos Totales*

Es la suma de los sólidos disueltos y en suspensión que se encuentran en el agua residual. Los “sólidos totales” se definen como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103 - 105 °C. El valor de los sólidos totales incluye materias disueltas (sólidos disueltos totales: porción que pasa a través del filtro) y no disuelto (sólidos suspendidos totales: porción de sólidos totales retenidos por un filtro).

- *Sólidos suspendidos*

Los sólidos suspendidos indican la cantidad de sólidos en suspensión presentes y que pueden ser separados por métodos mecánicos como filtración al vacío. Los sólidos en

suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar el entorno acuático. En algunas ocasiones de la asociación a la turbidez del agua.

- *Sólidos Sedimentables*

Están formados por partículas más densas que el agua cuyos tamaños corresponden a 10 micras o más que se mantienen dispersas dentro de ella en virtud de la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de la corriente. Sedimentan rápidamente por acción de la gravedad, cuando la masa de agua se mantiene en reposo.

- *Aceites y grasas*

Los compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual y recubren las superficies con las cuales entran en contacto son consideradas como aceites y grasas causan iridiscencia y problemas de mantenimiento, y son difíciles de biodegradar pues interfieren en la actividad biológica. (Jairo Alberto Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Primera Reimpresión junio 2001)

- *Turbiedad*

La turbiedad es una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas. Es causada por partículas en suspensión o materia coloidal que obstruye la transmisión de la luz a través del agua. La puede ocasionar materia orgánica o inorgánica o la combinación de las dos.

- *Color*

El color en las aguas residuales industriales es indicativo del origen de la contaminación ambiental. Esta es causada por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución.

#### **1.2.4 Etapas del Tratamiento del Agua residual en Centros de Faenamiento**

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente de uso humano e industrial, antes de verterlos al sistema de alcantarillado. Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- *Pretratamiento* (separación de grandes sólidos)
- *Tratamiento primario* (asentamiento de sólidos);
- *Tratamiento secundario* (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente);
- *Tratamiento terciario* (pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección).

##### **1.2.4.1 Pretratamiento**

Con un pretratamiento pretendemos separar del agua residual tanto por operaciones físicas como por operaciones mecánicas, la mayor cantidad de materias que por su naturaleza (grasas, aceites, etc.) o por su tamaño (ramas, latas, etc.) crearían problemas en los tratamientos posteriores (obstrucción de tuberías y bombas, depósitos de arenas, rotura de equipos). Dentro de las operaciones de pretratamiento tenemos:

#### *1.2.4.1.1 Separación de grandes sólidos*

Cuando se prevé la existencia de sólidos de gran tamaño o de una gran cantidad de arenas en el agua bruta, se debe incluir en cabecera de instalación un sistema de separación de estos grandes sólidos, este consiste en un pozo situado a la entrada del colector de la depuradora, de tronco piramidal invertido y paredes muy inclinadas, con el fin de concentrar los sólidos y las arenas decantadas en una zona específica donde se puedan extraer de una forma eficaz.

A este pozo se le llama Pozo de Muy Gruesos, dicho pozo tiene una reja instalada, llamada Reja de Muy Gruesos, que no es más que una serie de vigas de acero colocadas en vertical en la boca de entrada a la planta, que impiden la entrada de troncos o materiales demasiado grandes que romperían o atorarían la entrada de caudal en la planta.

La extracción de los residuos se realiza, generalmente, con cucharas anfibas o bivalvas de accionamiento electrohidráulico. Los residuos separados con esta operación se almacenan en contenedores para posteriormente transportarlos a un vertedero o llevarlos a incineración.

En este sistema nuestra tarea consistirá en la retirada de estos grandes sólidos, para evitar que estos dificulten la llegada del agua residual al resto de la planta, y la de limpiar el fondo del pozo para que no se produzca anaerobiosis, y consecuentemente malos olores. También debemos de vaciar el contenedor de forma regular, si esto no es posible, utilizar un contenedor tapado.

#### *1.2.4.1.2 Desbaste.*

Consiste habitualmente en la retención de los sólidos gruesos del agua residual mediante una reja, manual o auto limpiante, o un tamiz, habitualmente de menor paso o luz de

mallas. Esta operación no sólo reduce la carga contaminante del agua a la entrada, sino que permite preservar los equipos como conducciones, bombas y válvulas, frente a los depósitos y obstrucciones provocados por los sólidos.

#### *1.2.4.1.3 Remoción de Sólidos.*

En el tratamiento mecánico, el afluente es filtrado en cámaras de rejillas para eliminar todos los objetos grandes que son depositados en el sistema de alcantarillado. Este tipo de basura se elimina porque esto puede dañar equipos sensibles en la planta de tratamiento de aguas residuales, además los tratamientos biológicos no están diseñados para tratar sólidos.

#### *1.2.4.1.4 Remoción de Arena.*

Esta etapa típicamente incluye un canal de arena donde la velocidad de las aguas residuales es cuidadosamente controlada para permitir que la arena y las piedras de ésta tomen partículas, pero todavía se mantiene la mayoría del material orgánico con el flujo. Este equipo es llamado colector de arena. La arena y las piedras necesitan ser quitadas a tiempo en el proceso para prevenir daño en las bombas y otros equipos en las etapas restantes del tratamiento.

La remoción, se debe a procesos físicos y solo está influida por la temperatura a través de los efectos de la viscosidad en el flujo del agua. Dado que la distancia de sedimentación para la materia particulada es relativamente pequeña y que el tiempo de residencia del agua en el humedal es muy largo, estos efectos de la viscosidad pueden omitirse. La remoción de SST en este tipo de sistemas no es un parámetro limitante en el diseño y dimensionamiento del humedal, ya que la remoción de SST es muy rápida en comparación con la de DBO o nitrógeno.

Muchos de los sólidos en aguas residuales domésticas municipales e incluso muchas industriales, son de naturaleza orgánica y pueden ser descompuestos con el tiempo, dejando un mínimo de residuos. Un tratamiento primario similar al requerido para la DBO, dará un nivel aceptable para este tipo de aguas residuales. La consecuente descomposición de los sólidos que quedan y que, por tanto, pasan al humedal, puede dejar un mínimo de residuos que resultará en un atascamiento pero mínimo.

Los humedales diseñados para tratamiento de aguas de lluvia, de alcantarillado unitario y aguas residuales de algunos tipos de industrias que contienen altas concentraciones de sólidos inorgánicos pueden no necesitar un tratamiento primario, pero en cambio pueden necesitar un tanque o laguna de sedimentación antes del humedal, para evitar una rápida acumulación de sólidos inorgánicos en el humedal.

Para los dos tipos de humedales, se pueden esperar rendimientos en remoción de DBO similares, ya que ambos son muy eficaces en este campo. Aquí también, al igual que con la DBO, la remoción de SST está influida por la producción de materiales orgánicos residuales que pueden aparecer en el efluente final como SST, por tanto, no se debe esperar encontrar menos de 5 mg/l a la salida.

#### ***1.2.4.2 Tratamiento Primario.***

Con el tratamiento primario principalmente se pretende la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual.

Dentro de los sólidos sedimentables pueden distinguirse:

- *Sólidos sedimentables*: Son los que sedimentan al dejar el agua residual en condiciones de reposo durante una hora, este tiempo también depende del tamaño del sedimentador;
- *Sólidos flotantes*: Definibles por contraposición a los sedimentables;
- *Sólidos Coloidales*: (tamaño entre 3 - 10 micras).

Como, en general, parte de los sólidos en suspensión están constituidos por materia orgánica, consecuencia del tratamiento primario, suele ser la reducción de la DBO.

Los principales procesos del tratamiento primario son:

#### *1.2.4.2.1 Tratamiento físico – químico*

El tratamiento físico- químico del agua residual tiene como finalidad mediante la adición de ciertos productos químicos la alteración del estado físico de estas sustancias que permanecerían por tiempo indefinido de forma estable para convertirlas en partículas susceptibles de separación por sedimentación. Mediante este tratamiento puede llegar a eliminarse del 80% al 90% de la materia total suspendida, del 40 al 70% de la DBO5 y del 30 al 40% de la DQO.

##### *1.2.4.2.1.1 Etapas del tratamiento físico – químico*

Para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar dos operaciones: coagulación y floculación.

##### *1.2.4.2.1.1.1 Coagulación*

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo.

La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro (cloruro férrico) y de aluminio.

Se pueden considerar dos mecanismos básicos en este proceso:

- a) Neutralización de la carga del coloidal. El electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga.
- b) Inmersión en un precipitado o floculo de barrido. Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

#### *1.2.4.2.1.1.2 Floculación*

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos.

Básicamente, existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto:

- a) Por el propio movimiento de las partículas (difusión browniana). En este caso se habla de Floculación pericinética o por convección natural. Es muy lenta.

- b) Por el movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas. Esto se consigue mediante agitación de la mezcla. A este mecanismo se le denomina Floculación ortocinética o por convección forzada.

Existen además ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación como es el caso de los polielectrolitos. Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del floculo (floculo más pesado y voluminoso).

#### *1.2.4.2.2 Sedimentación.*

El objetivo de la sedimentación es la reducción de los sólidos en suspensión de las aguas residuales bajo la exclusiva acción de la gravedad. Muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios. Los tanques son lo suficientemente grandes, tal que los sólidos fecales pueden situarse y el material flotante como la grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie y desnatarse. El propósito principal de la etapa primaria es producir generalmente un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que puede ser tratado separadamente.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituyendo de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

Según la clasificación de Fitch, basada en la concentración y tendencia a la interacción de las partículas, existen cuatro tipos de sedimentación diferenciadas:

- Sedimentación clase 1 ó de partículas discretas Ejemplo: Desarenado
- Sedimentación clase 2 ó de partículas flocculantes Ejemplo: Decantación primaria
- Sedimentación clase 3 o zonal Ejemplo: Decantación Secundaria en proceso Fangos Activos
- Sedimentación clase 4 ó por compresión Ejemplo: Espesamiento de Fangos por gravedad

#### *1.2.4.2.3 Flotación por aire disuelto*

La flotación por aire disuelto además de eliminar materia sólida y/o líquida de densidad inferior a la del agua, es capaz de eliminar sólidas de densidad superior. El proceso de flotación por aire disuelto consiste en la creación de micro burbujas de aire en el seno del agua residual, las cuales se unen a las partículas a eliminar formando agregados capaces de flotar por tener una densidad inferior a la del agua.

Por tanto, se puede decir que el objetivo de este proceso en el tratamiento primario es doble: reducción de materias flotantes y reducción de sólidos en suspensión.

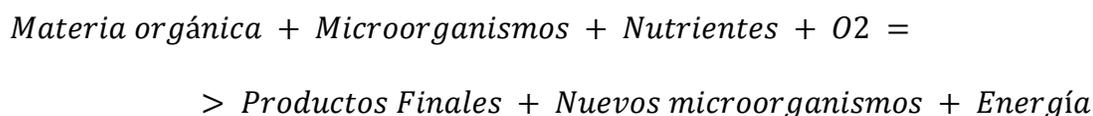
#### ***1.2.4.3 Tratamiento Secundario.***

El tratamiento secundario es designado para substancialmente degradar el contenido biológico de las aguas residuales. La materia orgánica que queda disuelta y en suspensión así como el resto de las partículas sólidas que no se han eliminado en el tratamiento primario, son eliminados mediante los denominados “Procesos biológicos de depuración aerobia”, lo cual constituyen los tratamientos secundarios. Para que sea efectivo el proceso biótico, requiere oxígeno y un substrato en el cual vivir. Los objetivos que persigue este tipo de tratamiento son la transformación de la materia orgánica y la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables, además de la eliminación de Nitrógeno y de Fósforo, así como también la disminución de los microorganismos patógenos y fecales que habitan en el agua residual.

##### *1.2.4.3.1 Fundamentos de los procesos biológicos aerobios*

###### *1.2.4.3.1.1 Los procesos de oxidación biológica*

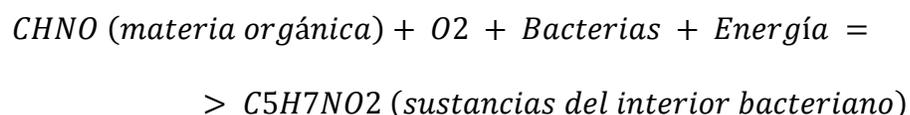
La oxidación biológica es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo con la siguiente reacción:



Para que lo anteriormente expuesto se produzca, son necesarias dos tipos de reacciones fundamentales totalmente acopladas: de síntesis o asimilación y de respiración endógena u oxidación.

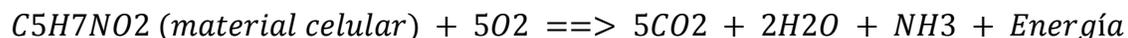
*Reacciones de síntesis o asimilación*

Consisten en la incorporación del alimento (materias orgánicas y nutrientes) al interior de los microorganismos. Estos microorganismos al obtener suficiente alimento no engordan, sino que forman nuevos microorganismos reproduciéndose rápidamente. Parte de este alimento es utilizado como fuente de Energía. La reacción que ocurre es la siguiente:



*Reacciones de oxidación y respiración endógena*

Los microorganismos al igual que nosotros, necesitan de Energía para poder realizar sus funciones vitales (movimiento, reproducción, síntesis de biomoléculas, etc.), dicha energía la obtienen transformando la materia orgánica asimilada y aquella acumulada en forma de sustancias de reserva en gases, agua y nuevos productos de acuerdo con la siguiente reacción:



Como podemos observar, después de un tiempo de contacto suficiente entre la materia orgánica del agua residual y los microorganismos (bacterias), la materia orgánica del medio disminuye considerablemente transformándose en nuevas células, gases y otros productos.

A todo este conjunto de reacciones se les denomina de oxidación biológica, porque los microorganismos necesitan de oxígeno para realizarlas.

Dado que las reacciones de carácter aeróbico contribuyen a la generación de una gran cantidad de energía en forma de Adenosín Trifosfato, las células microbianas tienden a aumentar su concentración considerablemente, y en consecuencia aumenta la tasa de formación del Floc biológico.

#### *1.2.4.3.1.2 Factores que intervienen en la oxidación biológica*

Los factores principales que hay que tener en cuenta para que se produzcan las reacciones biológicas y por tanto, la depuración del agua residual son:

- *Las características del sustrato*

Las características físico-químicas del agua residual, determinan el mejor o peor desarrollo de los microorganismos en este sistema, existiendo compuestos contaminantes que son degradables biológicamente y otros que no lo son.

- *Los nutrientes*

El interior celular, aparte de C, H y O, elementos característicos de la materia orgánica, contiene otros elementos como son el N, P, S, Ca, Mg, etc., denominados nutrientes y que a pesar de que muchos de ellos se encuentran en el organismo sólo en pequeñas cantidades, son fundamentales para el desarrollo de la síntesis biológica.

Se ha determinado a nivel medio que los microorganismos para sobrevivir necesitan por cada 1000 g. de C, 43 de N y 6 de P, y que en las aguas residuales urbanas existen por cada 1000 g. de C, 200 g. de N y 16 g. de P.

Si comparamos lo que necesitan los microorganismos para sobrevivir, con las cantidades existentes de dichos elementos en el agua residual, podemos concluir que a título general dichos microorganismos pueden desarrollarse en el agua residual perfectamente.

Es interesante comentar que en el caso de determinadas aguas con vertidos industriales, las proporciones de dichos elementos no están equilibradas, siendo necesario a veces dosificar N y P en el agua, para que pueda darse el desarrollo bacteriano y exista depuración biológica.

#### *1.2.4.3.1.3 Tipos de tratamientos biológicos aerobios*

Básicamente existen dos tipos de tratamientos biológicos aerobios:

- *Procesos de cultivo en suspensión* (Fangos Activados)
- *Procesos de cultivo fijo* (Lechos Bacterianos)

##### *1.2.4.3.1.3.1 Fangos activados*

El proceso de fangos activados es un sistema de tratamiento de las aguas residuales en el que se mantiene un cultivo biológico formado por diversos tipos de microorganismos y el agua residual a tratar. Los microorganismos se alimentarán de las sustancias que lleva el agua residual para generar más microorganismos y en el proceso se forman unas partículas fácilmente decantables que se denominan flóculos y que en conjunto constituyen los denominados fangos activos o biológicos.

En el proceso de fangos activados pueden distinguirse dos operaciones claramente diferenciadas: la oxidación biológica y la separación sólido-líquido.

La primera tiene lugar en el denominado reactor biológico o cuba de aireación, donde vamos a mantener el cultivo biológico en contacto con el agua residual. El cultivo biológico,

denominado licor de mezcla, está formado por gran número de microorganismos agrupados en flóculos conjuntamente con materia orgánica y sustancias minerales. Dichos microorganismos transforman la materia orgánica mediante las reacciones de oxidación biológica anteriormente mencionadas.

La población de microorganismos debe de mantenerse a un determinado nivel, concentración de sólidos en suspensión en el licor de mezcla (SSLM), para llegar a un equilibrio entre la carga orgánica a eliminar y la cantidad de microorganismos necesarios para que se elimine dicha carga.

En esta fase del proceso que ocurre en la cuba de aireación, es necesario un sistema de aireación y agitación, que provoque el oxígeno necesario para la acción depuradora de las bacterias aerobias, que permita la homogenización de la cuba y por tanto que todo el alimento llegue igual a todos los organismos y que evite la sedimentación de los flóculos y el fango.

Una vez que la materia orgánica ha sido suficientemente oxidada, lo que requiere un tiempo de retención del agua en el reactor, el licor mezcla pasará al denominado decantador secundario o clarificador. Aquí, el agua con fango se deja reposar y por tanto, los fangos floculados tienden a sedimentarse, consiguiéndose separar el agua clarificada de los fangos.

El agua clarificada constituye el efluente que se vierte al cauce y parte de los fangos floculados son recirculados de nuevo al reactor biológico para mantener en el mismo una concentración suficiente de organismos. El excedente de fangos, se extrae del sistema y se evacua hacia el tratamiento de fangos.

#### *1.2.4.3.1.3.1.1 Método Enzimático*

El método enzimático correspondiente a uno de los tratamientos biológicos de fangos activados, se usa para mejorar el efluente por suministro de enzimas ya sea por uso directo (donde se vierte una fuente biológica ya sea célula o tejido las cuales producen alguna enzima), uso de células microbianas (para metabolización enzimática que degrada contaminantes, esta se limita ya que tarda mucho tiempo en comparación de otras), uso de plantas enteras/tejidos (donde enzimas de raíces degradan colorantes además tiene ventajas económicas y desventajas al aumentar la demanda química y biológica de oxígeno).

- *Características de las enzimas*

La tecnología enzimática consiste en la obtención, manipulación y modificación de enzimas para su aplicación y utilización con fines industriales, clínicos o analíticos en diversos campos.

El éxito de la tecnología enzimática se debe a las propias características que contienen las enzimas:

- Son catalizadores biológicos, es decir, proteínas producidas por los seres vivos que aceleran las reacciones químicas y no se consumen durante el proceso;
- Son altamente eficaces y específica, ya que poseen gran poder catalítico y un elevado rendimiento, no forman subproductos indeseados y tienen la capacidad de reconocer a su sustrato, incluso entre sus isómeros;
- Funcionan en condiciones suaves, a presión atmosférica, temperatura ambiente y pH neutro;

- Actúan tanto dentro como fuera de las células que las producen, por lo que pueden utilizarse in vitro para fines analíticos, sanitarios o industriales;
- Están sometidas a regulación, por lo que los procesos enzimáticos se pueden controlar fácilmente;
- Por todas estas razones, se puede afirmar que las enzimas forman parte de un medio ambiente sostenible, ya que son sustancias naturalmente biodegradables, su utilización no requiere equipos resistentes a presión, calor o corrosión, ahorrando dinero y energía, pueden sustituir o reducir la utilización de sustancias químicas contaminantes en distintos tipos de industrias y se producen ecológicamente a partir de organismos vivos. Además, las modernas técnicas de la biología molecular permiten mejorar los procesos de producción y desarrollar nuevas enzimas y nuevos campos de aplicación.

#### ***1.2.4.4 Tratamiento Terciario.***

Técnicas de tratamiento aplicadas a la reducción adicional de sustancias suspendidas y disueltas después de un tratamiento secundario que logra 85-95% de remoción de DBO y SST. Complemento al proceso convencional de depuración biológica, para eliminar contaminantes disueltos o en suspensión, elementos nutritivos, metales específicos, y otros componentes peligrosos. Este tratamiento consiste en un proceso físico-químico que utiliza la precipitación, la filtración y/o la cloración para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final.

El interés de disponer de un tratamiento terciario es:

- Eliminación de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), para evitar la eutrofización (exceso de crecimiento de algas en embalses);

- Eliminación de compuestos nitrogenados para mejorar las condiciones de los cuerpos receptores de agua;
- Tratamientos físico-químicos para la reducción de cargas excepcionales de tipo puntual o estacional, la eliminación de compuestos provenientes de vertidos industriales que pudieran perjudicar el funcionamiento del sistema biológico;
- Filtración, bien para mejorar las condiciones del vertido con vistas a su reutilización, bien para su uso como agua industrial dentro de la propia planta de tratamiento.

#### *1.2.4.4.1 Métodos de tratamiento terciario*

##### *1.2.4.4.1.1 Sistema de coagulación floculación*

Consiste en añadir productos químicos al agua para desestabilizar (reducir) la carga superficial de las partículas (arcillas, coloides, virus, bacterias y ácidos húmicos). De esta manera se forman aglomeraciones de partículas de mayor tamaño llamadas flóculos que pueden sedimentar.

##### *1.2.4.4.1.2 Decantación*

Los decantadores se emplean para eliminar los flóculos químicos formados en las etapas de coagulación y floculación del tratamiento terciario. El objetivo principal es obtener un efluente clarificado y transparente.

##### *1.2.4.4.1.3 Filtración*

Proceso de tratamiento consistente en hacer pasar el agua a través de un medio poroso para eliminar la materia en suspensión. Constituye una de las principales barreras para los agentes infecciosos ya que contribuye a reducir la carga microbiana en el proceso de desinfección.

#### *1.2.4.4.1.4 Adsorción*

La adsorción es un proceso de separación y concentración de uno o más componentes de un sistema sobre una superficie sólida o líquida, constituyendo uno de los procesos más utilizados dentro de los sistemas de tratamiento terciario de las aguas residuales. Se emplea fundamentalmente, para retener contaminantes de naturaleza orgánica, presentes, en general, en concentraciones bajas, lo que dificulta su eliminación por otros procedimientos.

##### *1.2.4.4.1.4.1 Lecho de adsorción*

En la práctica, la adsorción sobre carbón activado se lleva a cabo en forma continua o forma discontinua. En la operación discontinua, el carbón activado, en polvo, se mezcla con el agua residual y se deja decantar. La operación continua se lleva a cabo en columnas conteniendo carbón activado granulado (de 40 a 80 mallas); es más económica que la operación discontinua y ha encontrado más aplicaciones.

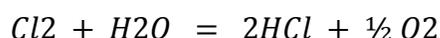
La eliminación de contaminantes en las columnas de carbón activado se lleva a cabo mediante tres mecanismos:

- Adsorción;
- Retención de las partículas grandes;
- Deposición de material coloidal.

El grado de eliminación depende básicamente del tiempo de contacto entre el agua a tratar y el carbón activado.

Un lecho compacto cumple cuatro funciones:

- *Filtración:* Normalmente, esta función debe reducirse al mínimo, para evitar el atascamiento del filtro, que se produce irremisiblemente en ausencia de sistemas de lavado eficaces, que provocan en cada ciclo una importante perturbación de las capas. Por otra parte, el carbón tiende a extraer de los flocos con los que se pone en contacto productos adsorbibles que contribuyen a su prematura saturación. Frecuentemente se recomienda, por estos motivos, efectuar una filtración previa del agua a través de arena;
- *Soporte bacteriano:* La superficie del carbón activado ofrece condiciones ideales para la colonización bacteriana. Este fenómeno puede contribuir a la depuración, pero si no se realiza de forma perfecta, puede resultar peligroso (fermentación anaerobia causante de olores, atascamiento del lecho, etc.);
- *Acción catalítica:* Una propiedad muy utilizada de los carbones activados es su acción catalítica y, más concretamente, la que ejerce sobre la reacción de oxidación del agua con cloro libre:



Se realiza así la eliminación de cloro de un agua que haya sufrido un tratamiento de cloración en exceso. Esta acción eliminadora de cloro se caracteriza por la longitud de semi-decloración, que es la altura de lecho filtrante que, a una velocidad dada, provoca una reducción a la mitad de la dosis de cloro en el agua.

Se produce una acción catalítica del mismo tipo frente a las cloraminas, que se descomponen en nitrógeno y ácido clorhídrico.

- *Adsorción:* Esta es la principal misión del carbón; por lo tanto, debe prestarse especial atención al contacto agua-carbón.

## 1.2.5 Diseño de Planta de tratamiento

### 1.2.5.1 Caudal.

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. El caudal se puede calcular de la siguiente manera

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

Dónde:

V = volumen (m<sup>3</sup>)

t = tiempo (segundos)

Esta fórmula permite saber la cantidad de líquido que pasa por un conducto en cierto intervalo de tiempo. Para el dimensionamiento de la planta de tratamientos se necesita conocer la cantidad de agua por cabeza de ganado que se utiliza para lo cual se tomó los respectivos caudales.

### 1.2.5.2 Consumo de Agua.

Para calcular la cantidad de agua residual generada se tiene que multiplicar la cantidad de agua consumida por cabeza de ganado por la cantidad de ejemplares faenados y se tiene:

$$Q_{medio} = (NR) \times (CA)$$

Dónde:

NR = Número de cabezas de ganado faenados por día

CA = Consumo de Agua por cabeza de ganado

### 1.2.5.3 Rejillas.

Generalmente tienen aberturas (separación entre barras) superiores a ½ pulgadas (12,5 mm). En los procesos de tratamiento del agua residual, las rejillas se utilizan para proteger bombas, válvulas, tuberías y otros elementos, contra posibles daños y obstrucciones ocasionados por objetos de gran tamaño como trapos y palos.

#### 1.2.5.3.1 Consideraciones de Diseño de Canal de rejillas.

La información básica para el diseño convencional de rejillas manual o mecánica se presenta en la siguiente tabla.

*Tabla 1 Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Limpieza Manual</b>	<b>Limpieza Automática</b>
Tamaño de la barra	-	-	-
Ancho	Pulgadas	0,2 - 0,6	0,2 – 0,6
Profundidad	Pulgadas	1,0 – 1,5	1,0 -1,5
Espaciamiento entre barras	Pulgadas	1,0 -2,0	0,6 -3,0
Inclinación con la vertical	Grados	30 -45	0 – 30
Velocidad de aproximación	Pies/segundo	1,0 -2,0	2,0 – 3,25
Pérdidas admisibles	Pulg	6	6

Fuente: CRITES R/TCHOBONOGLOUS G, Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones

El canal recibirá el efluente de todas las áreas del proceso de matanza: aguas grasas y sanguinolentas.

- *Caudal Medio de Diseño.*

$$Q_{\text{medio}} = (NR) \times (CA)$$

Dónde:

NR = Número de cabezas de ganado faenados por día

CA = Consumo de Agua por cabeza de ganado

- *Caudal Máximo Diario.*

Aplicando un factor de seguridad de 1.2, el caudal es:

$$Q_{\text{máximo}} = 1,2 \times Q_{\text{medio}}$$

- *Porcentaje de área de flujo (E)*

$$E = \frac{b}{(b + w)}$$

Dónde:

b = Espacio entre barras

w = Espesor de la barra

- *Área útil del canal (Au)*

$$Au = \frac{Q \text{ máx}}{v}$$

- *Área Total (At)*

$$At = \frac{Au}{E}$$

- *Profundidad aguas abajo de rejilla (de lámina de fluido) (Po)*

$$Po = \left( \frac{Q \text{ máx LPS}}{1376 \times Wc} \right)^{\frac{2}{3}}$$

- *Ancho de rejilla (Wr)*

$$Wr = \frac{At}{Po}$$

- *Ancho útil de rejillas (Wu)*

$$Wu = \frac{Au}{Po}$$

- *Ancho total barras (Wb)*

$$Wb = Wr - Wu$$

- *Número de barras (Nb)*

$$Nb = \frac{Wb}{w}$$

- *Cálculo de la Pérdida de Carga en la Rejilla.* La pérdida de Carga para rejillas limpias según la Fórmula de Kirshmer, está dada por:

$$hf = k \times \left( \frac{w}{b} \right)^{\frac{3}{4}} \times \text{sen } \alpha \times \frac{v^2}{2g}$$

Donde K es un factor que depende de la forma de la sección de las barras. En este caso sección rectangular:  $K = 2,42$

Cuando las rejillas están sucias, la velocidad puede duplicarse y la velocidad de acceso aguas arriba quedaría inalterada. Por lo tanto, la pérdida de carga sería:

$$hf = k \times \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{3}{4}} \times \text{sen } \alpha \times \frac{2v^2}{2g}$$

- *Dimensiones finales de la Rejilla*

- Altura Total (T)

$$T = \frac{Y + hf + \text{Borde libre}}{\text{Tan } 45^\circ}$$

- Largo de la rejilla

$$L = \frac{T}{\text{Cos } 45^\circ}$$

#### **1.2.5.4 Tratamiento Biológico.**

##### *1.2.5.4.1 Diseño del Reactor.*

- *Eficiencia del reactor (Es)*

$$Es = \frac{So - S}{So} \times 100$$

Dónde:

So = Concentración de DBO5 en el afluente

S = Concentración de DBO5 en el efluente

- *Volumen del reactor (Vr)*

$$Vr = \frac{tc \times Q \text{ máx} \times Y \times (So - S)}{X[1 + (kd \times tc)]}$$

Dónde:

tc = Tiempo de retención celular

Y = mg SSV/mg DBO5

kd = Coeficiente de degradación endógena

X = Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles

- *Fango a purgar diariamente*
  - Cálculo del fango a purgar diariamente (Yobs):

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + kd \times tc}$$

- Cálculo de la masa de fango activado volátil purgado (Px).

$$Px = Y_{obs} \times Q_{máx} \times (So - S)$$

- Cálculo de la masa total de fango en base a los sólidos totales en suspensión (Px(ss)).

$$Px(ss) = \frac{Px}{0,8}$$

Masa a purgar = incremento SSLM – SS perdidos en el efluente

- *Fango a purgar en el reactor*

$$t_c = \frac{V_r \times X}{[Q_w \times X] + [Q_e \times X_e]}$$

$Q_e = Q_{\text{máx}}$

SSV del efluente = 80% SS del efluente

- *Tiempo de retención hidráulica del reactor ( $t_r$ )*

$$t_r = \frac{V_r}{Q_{\text{máx}}}$$

- *Demanda de oxígeno*

$$DBO_5 = f \times DBOL$$

Siendo  $f = 0,68$ .

$$\text{Masa. DBOL. utilizada} = \frac{Q (S_o - S)}{f}$$

$$\text{Kg} \frac{\text{O}_2}{\text{día}} = \text{Masa. DBOL. utilizada} - [1,42 \times Px]$$

- *Caudal de aire necesario*
- Cálculo de la cantidad teórica de aire necesario.

$$\text{Cantidad teórica} = x \frac{\text{Kg O}_2}{\text{día}} \times \frac{100 \text{ Kg Aire}}{23,2 \text{ Kg O}_2} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1,210 \text{ Kg Aire}}$$

- Cálculo de la cantidad real de aire necesario

$$\text{Cantidad. real} = \frac{\text{Cantidad teórica de Aire}}{0,08}$$

- Cálculo de la demanda de aire proyectada para la EDAR

Se debe tener en cuenta el factor de seguridad igual a 2.

$$\text{Cantidad. Aire. Proyectada} = 2 \times \text{Cantidad real de Aire}$$

### **1.2.5.5 Tratamiento terciario.**

#### *1.2.5.5.1 Tanque secundario de sedimentación.*

- *Área del sedimentador (A)*

$$A = \frac{Q_{\text{máx}}}{\text{Carga Superficial}}$$

- *Diámetro del sedimentador  $\emptyset$*

$$\emptyset = \sqrt{\left(\frac{4 \times A}{\pi}\right)}$$

El 25% del diámetro es el reparto central, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{\text{central}} = \emptyset \times 0,25$$

- *Altura del sedimentador*

La profundidad de acuerdo a los parámetros es 4 m.

La altura de reparto se toma  $\frac{1}{4}$  de la profundidad, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H_{\text{reparto}} = \frac{1}{4} \text{Profundidad}$$

Inclinación del fondo para sedimentadores secundarios se toma el 15%

$$\frac{r}{\text{sen}75^\circ} = \frac{x}{\text{sen}90^\circ}$$

$$\frac{h}{\text{sen}75^\circ} = \frac{x}{\text{sen}90^\circ}$$

$$H_{\text{total sedimentador}} = 4 + h$$

- *Volumen del sedimentador:*

$$V = A \times h$$

- *Carga sobre el vertedero*

$$\text{Carga vertedero} = \frac{Q_{\text{máx}}}{\pi \times \emptyset}$$

- *Tiempo de retención hidráulico*

$$Trh = \frac{V}{Q_{\text{máx}}}$$

## 1.3 Sitio de Estudio

### 1.3.1 Antecedentes

Los habitantes de la provincia de Santa Elena no poseen en la actualidad con un Centro de Faenamiento para procesar el ganado vacuno y porcino en óptimas condiciones. La insalubridad en el expendio de carnes ha sido un gran problema en la Península, pues su faenamiento no garantiza la mínima calidad sanitaria. Con las utilidades generadas por la explotación marginal de petróleo en el campamento minero de Ancón, la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL) construyó hace más de una década un centro de faenamiento en el cantón

La Libertad –que servía a los tres cantones peninsulares– cuyo proyecto original constaba de tres fases, pero solo se ejecutó una.

El crecimiento poblacional y la avalancha de turistas en cada temporada playera incrementaron la demanda de carnes, por lo tanto, hizo que este sistema colapsara.

El Centro de Faenamiento Regional Santa Elena fue clausurado por la estatal AGROCALIDAD, por atentar contra la salud y afectar el medioambiente, hasta que las condiciones sanitarias y ambientales mejoren; los productos cárnicos que consumen actualmente los peninsulares son procesados en los camales de Nobol o Daule. Esta es la triste realidad que acontece en la Provincia de Santa Elena.

El personal encargado de la administración del Centro de Faenamiento es muy consciente de que en el camal se generan una gran cantidad de contaminantes ya que todas las actividades que aquí se desarrollan contribuyen al aumento de la contaminación ambiental.

Todas las descargas del proceso de faenamiento van al canal recolector de aguas servidas, para finalmente llegar a una poza abierta ubicada en la parte exterior del Centro de Faenamiento Regional, que por las características de relieve del terreno forma de quebrada desemboca en el estero Murciélagos que en marea alta se comunica con la Playa de Chuyuipe, esta acción contribuye directamente a la contaminación del agua, aumentando considerablemente los niveles de DBO y DQO, en el agua, en el aire generación de malos olores y a la presencia de insectos portadores de enfermedades y parásitos.

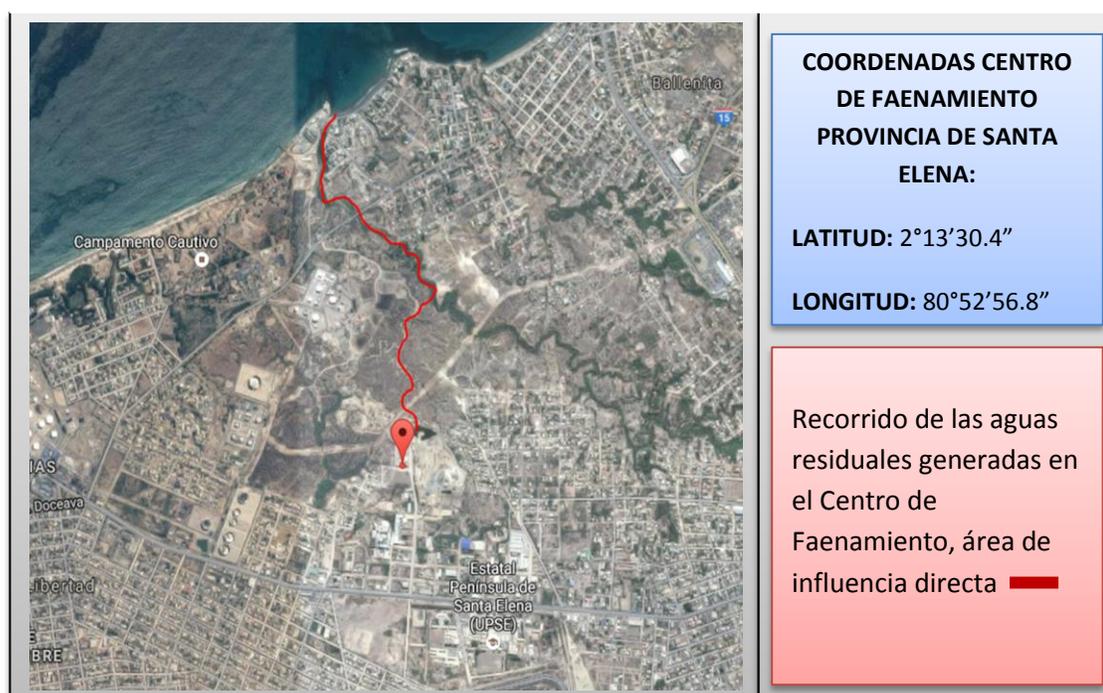
Para disminuir la carga contaminante presente en la descarga del centro de faenamiento regional Provincia de Santa Elena, se hace necesario realizar el diseño del sistema de

tratamiento de aguas residuales con el fin de obtener el agua tratada bajo límites de normativos ambientales establecidos para la descarga hacia cuerpos de agua dulce.

### 1.3.2 Ubicación del Proyecto

El Proyecto de Investigación se desarrolló en el Centro de Faenamiento Regional Provincia de Santa Elena ubicado en la zona industrial del Cantón La Libertad, en el sector ZE-P2 de la manzana 1, Provincia de Santa Elena.

*Figura 1. Ubicación del centro de faenamiento en la Provincia de Santa Elena*



Fuente: Google Maps

- *La Libertad*

La Libertad es uno de los tres cantones que conforman la Provincia de Santa Elena. La Libertad fue creada como cantón el 24 de Marzo de 1993 por el Congreso Nacional. Anteriormente pertenecía al cantón Salinas.

Sus límites son:

- *Norte:* Desde el término del carretero que une la Represa VELASCO IBARRA con el sitio Punta Suche, en la Bahía de Santa Elena, por la línea de Costa hacia el Este, hasta la desembocadura del Estero Murciélago. En la población de Ballenita.
- *Este:* Del Estero Murciélago, aguas arriba, hasta sus nacientes. De estas nacientes la línea imaginaria al Sur, hasta alcanzar la confluencia de los ríos Hondo y Pinargoti.
- *Sur:* Desde la confluencia de los ríos Hondo y Pinargoti, la línea latitudinal al Oeste, pasando por los campamentos mineros de San Francisco y Achallán, alcanza la bifurcación de los carreteros que conectan el sitio Punta de Suche, con Punta Carnero y el sitio Punta de Suche con la Represa Velasco Ibarra.
- *Oeste:* Desde este punto de bifurcación de los carreteros indicados, sigue por la carretera hacia el norte, hasta alcanzar el sitio Punta de Suche en la Bahía de Santa Elena.

La actividad económica de La Libertad se basa en la pesca y turismo que inicia desde enero a abril periodo en el que se recibe turismo de la Costa y de julio a septiembre en el que se recibe turismo de la Sierra.

Otra actividad económica que se desarrolla en el cantón es la comercialización de alimentos en base a carne porcina y bovina.

#### **1.4 Legislación Aplicable**

La legislación ambiental vigente en nuestro país, circunscribe normas de calidad ambiental para cada uno de los recursos naturales. En lo que respecta al recurso agua, en

Ecuador existen varias entidades que tienen la competencia de regular el uso adecuado de este recurso.

La legislación vigente hace mucho énfasis en prácticas para la conservación, protección y aprovechamiento del agua. Dentro de las leyes asociadas al tema del agua potable se encuentran las que a continuación se citan las siguientes:

#### **1.4.1 Ley de Aguas**

El Estado Ecuatoriano mediante La Ley de Aguas determina disposiciones para regular la conservación (Título I), contaminación (Título II), adquisición de derechos de aprovechamiento (Título III), Usos (Título IV), concesiones y demás temas relacionados con la utilización racional del agua.

#### **1.4.2 Texto Único de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente**

Asimismo, el Texto Único de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, tiene a su haber en el Libro VI, Anexo 1 la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes para el Recurso Agua. Esta norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de estos. En ésta se determinan criterios de calidad de agua para los distintos usos, entre otros temas relacionados al este recurso.

El objetivo principal de esta Norma técnica es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Asimismo establece las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar este recurso.

Para cumplir con sus objetivos, el Anexo 1 establece los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos, así como también las normas generales de descarga de efluentes tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos receptores.

#### ***1.4.2.1 Límites de descarga.***

En torno a esto, en la Tabla 2 de la Reforma al Anexo 1 del Libro VI de la Ley de Gestión Ambiental, presenta los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público.

*Tabla 2. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público*

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivas o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico Total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro Total	CN	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos Fenólicos	Expresado como Fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados Totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	250,0

Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro Total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso Total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio Total	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de Hidrógeno	pH		6 - 9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	20,0
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> -2	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de Carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

---

Fuente: Reforma al Anexo 1 del Libro VI del TULSMA

En la tabla 3 se define las cargas máximas permisibles de descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce, en forma temporal, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente.

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

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico Total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro Total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cloruros	Cl-	mg/l	1000
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color Real 1	Color Real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos Fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo Hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	100,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo total	P	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0

Hierro Total	Fe	mg/l	10,0
Manganeso Total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio Total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados Totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de Hidrógeno	pH		6 - 9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130,0
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> -2	mg/l	1000,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición Natural +-3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de Carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

---

I La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

---

Fuente: Reforma al Anexo 1 del Libro VI del TULSMA

### 1.4.3 Código Internacional Industrial Uniforme CIIU

Cada país tiene por lo general una clasificación industrial propia, de forma más conveniente para responder a sus necesidades acorde a su desarrollo económico. La Clasificación Internacional Industrial Uniforme de las actividades económicas permite que los países generen datos que sean comparativos a escala internacional.

Nuestro país no se queda también forma parte de esto, por lo que, en la Reforma al Anexo 1 del Libro VI, presenta en la tabla 12 los parámetros de monitoreos sugeridos para las industrias, de acuerdo al código Internacional Industrial Uniforme (CIIU).

De acuerdo a esta tabla la actividad del centro de faenamiento regional Provincia de Santa Elena encaja en la sección de Industrias manufactureras.

*Tabla 4. Parámetros de monitoreo de las descargas industriales*

CIIU	Actividad Industrial	Parámetros de monitoreo
<b>D. INDUSTRIAS MANUFACTURERAS</b>		
1511	Producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos	Caudal, DBO, DQO, SST, SAAM, Grasas y aceites, Cloruros (CL), Sulfatos (SO <sub>4</sub> )

Fuente: Reforma al Anexo 1 del Libro VI del TULSMA

## Capítulo 2

### Marco Metodológico

#### 2.1 Metodología

##### 2.1.1 Situación actual del agua residual en el Centro de Faenamiento

El centro de faenamiento en la actualidad no posee una planta de tratamiento para las aguas residuales producto de los procesos propios de la misma.

Estas aguas antes de que el centro de faenamiento sea clausurado eran descargadas hacia un canal recolector de aguas servidas sin recibir un tratamiento adecuado, para finalmente llegar a una poza abierta ubicada en la parte exterior del Centro de Faenamiento, que por las características de relieve del terreno forma de quebrada desemboca en el estero Murciélagos que en marea alta se comunica con la Playa de Chuyuipe, causando un impacto al medio ambiente e incumpliendo con la normativa ambiental vigente.

Con la implementación del alcantarillado público en dicho sector, el recurso hídrico más importante que podría ser afectado por las actividades del centro de faenamiento serían las playas de Mar Bravo, como producto de las descargas de origen doméstico e industrial que llegaría él a través del sistema de alcantarillado.

##### 2.1.2 Metodología a utilizarse

La metodología para el desarrollo de este estudio consiste en:

1. Identificación de la generación del agua residual en los procesos del centro de faenamiento;
2. Determinación del caudal generado durante el proceso de faenamiento;
3. Toma de muestra en los canales de desagüe;

4. Caracterización inicial del afluente;
5. Pruebas de tratabilidad del afluente para la determinación de la dosis óptima y simulación de procesos en el Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química.

### ***2.1.2.1 Identificación de la generación del agua residual***

Para identificar los puntos de generación de agua residual, hay que hacer una inspección en cada una de las etapas del proceso de faenamiento, el cual consiste en:

*Recepción e inspección de las reses:* Las reses son transportadas en camiones desde los diferentes puntos; se las mantienen durante doce horas en los corrales del camal antes del sacrificio, donde se realiza la inspección para determinar si el animal presenta o no algún síntoma de existencia de la presencia de alguna enfermedad y que las misma estén debidamente relajadas para ser sometidas al siguiente proceso;

*Aturdimiento:* El animal es conducido desde la manga del corral hacia el cajón de aturdimiento donde se realiza el sacrificio, el cual es realizado con el casco de una pistola neumática que dispara un perno que perfora la piel y el hueso frontal sin dañar la masa cerebral con este método el animal no sufre y permite una excelente desangrado;

*Desangrado:* El desangrado se realiza en un periodo de 3 a 5 minutos, el animal es colgado en el área de recolección de sangre (pozo de desangrado) y degollado a través de la introducción de una cánula o cuchillo, así drenar toda la sangre;

*Separación de partes y desollado:* esta parte del proceso se lleva a cabo en rieles suspendidos en carriles, ubicados en serie; donde se inicia con la separación de la cabeza y las patas, estas son llevadas hacia el otra área para la extracción de partes de la cabeza como

lengua y cerebro y lavado de las mismas. Luego se desprende la piel del cuello para poder realizar un corte a lo largo de la línea ventral para el desollado del tórax, brazo, antebrazo, pecho, espalda y paleta;

*Evisceración:* Al abrir la cavidad torácica se extrae las vísceras pélvicas, abdominales y torácicas, para la separación de los órganos (subproductos) como corazón, estomago, riñones, hígado, entre otros y el respectivo lavado con agua potable;

*Deshuese:* se procede a la separación de la carne y huesos;

*El lavado de áreas de proceso:* Una vez terminado el proceso se procede al lavado de todas las áreas del camal. Las descargas del afluyente son hacia un cuerpo de agua dulce.

En el Diagrama 2 se esquematiza los procesos que generan el agua residual del centro de faenamiento Provincia de Santa Elena.

Diagrama 2. Generación de agua residual en el Centro de Faenamiento



Fuente: Centro de Faenamiento Regional Provincia de Santa Elena

### 2.1.2.2 Determinación de caudal

El Caudal se determina en base al consumo de agua aproximado para procesar cada cabeza de ganado. El camal actualmente opera una vez a la semana y se consume 0,5 m<sup>3</sup> por cabeza de ganado sometida al proceso de faenamiento.

Número de cabezas de ganado procesadas: 42/día

Consumo de agua por cabeza: 0.5 m<sup>3</sup>

$$Q = NR \times CA = 42 \frac{\text{Cabezas}}{\text{día}} \times 0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{cabeza}} = 21\text{m}^3/\text{día}$$

El caudal es 21 m<sup>3</sup>/día (en 4 horas de trabajo)

Se proyecta que el camal a futuro faenará 100 cabezas de ganado por día, por tanto:

$$Q = NR \times CA = 100 \frac{\text{Cabezas}}{\text{día}} \times 0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{cabeza}} = 50\text{m}^3/\text{día}$$

El caudal es 50 m<sup>3</sup>/día (en 8 horas de trabajo)

### **2.1.2.3 Toma de muestra**

El muestreo y caracterización del afluente líquido que se va a tratar es fundamental para determinar, en primera instancia, los contaminantes que contiene el agua residual además de su cantidad y posible afectación al medio ambiente, así como para proponer el método más idóneo para la remoción de dichos contaminantes.

El muestreo se realiza en la tubería de descarga del afluente, realizándolo manualmente. La metodología para la toma de las muestras se basa en las Normas Técnica Ecuatoriana (NTE) así como su manejo y conservación:

- NTE INEN 2176: 1998. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo
- NTE INEN 2169: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras

### **2.1.2.4 Caracterización Inicial**

En este estudio el número de CIU aplicable para el efluente a tratar según la Reforma del Acuerdo Ministerial 028, se identifica con el código CIU (028) 1511, el mismo que

representa la actividad “Producción, procesamiento y conservación de carnes y productos cárnicos”, donde se indica el monitoreo de los siguientes parámetros:

1. Caudal (Q);
2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO);
3. Demanda Química de Oxígeno (DQO);
4. pH;
5. Sólidos Suspendidos Totales (SST);
6. Sólidos Totales;
7. Aceites y grasas;
8. Sulfatos (SO<sub>4</sub>).

#### ***2.1.2.5 Pruebas de Tratabilidad del afluente para la determinación de la dosis óptima y simulación de procesos***

Las pruebas de jarras se utilizaron como herramienta para diseñar la planta de tratamiento de aguas residuales del centro de faenamiento y como simulador para la determinación de la dosis de insumos químicos que deben aplicarse a nivel de laboratorio.

El objetivo de las pruebas de jarras es determinar las condiciones de operación óptimas tales como los tiempos de retención del agua en cada uno de los procesos de tratamiento, esto se logra realizando múltiples pruebas en el equipo de prueba de jarras, con el propósito de que el producto químico a utilizarse tenga un excelente rendimiento y mejore la calidad del agua,

asegurando la reacción completa de los productos químicos antes de pasar a cada una de las siguientes etapas.

El estudio consiste inicialmente en caracterizar el afluente para determinar la carga contaminante presente en la misma y de acuerdo a dichos resultados definir el tipo y la dosis de insumos químicos que deben aplicarse. La prueba de laboratorio radica en adicionar diferentes dosis químicas, con diferentes gradientes de velocidad y tiempo de decantación hasta estimar la dosis y concentración óptima de coagulante y/o floculante requerida para conseguir el agua más clara posible y alcanzar sus objetivos de calidad.

Luego el agua decantada del tratamiento primario es colocada en un reactor biológico aerobio de 22 litros de capacidad, al cual se le dosifica catalizador enzimático Bioenzimar seguido de nutrientes tales como urea y fosfatos disueltos a determinadas concentraciones con el objeto de que las poblaciones microbianas desarrollen su actividad, realizándose el monitoreo día a día de los parámetros recomendados por el CIU hasta degradar y descomponer la materia orgánica.

Después que la carga orgánica ha sido degradada mediante el tratamiento biológico, se procede a eliminar el excedente de materia residual del efluente del proceso del tratamiento biológico, mediante un tratamiento terciario a través inicialmente de un proceso físico-químico de coagulación, floculación, y sedimentación, seguido de una filtración a través de un lecho de adsorción con carbón activado, consiguiéndose la reducción de los niveles de nutrientes inorgánicos del efluente final.

Como último punto, se realizará la caracterización de los distintos parámetros del efluente final cuyos resultados se compararán con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente verificándose su cumplimiento.

## 2.2 Premisas o Hipótesis.

Mediante pruebas de tratabilidad que incluyen tratamiento primario, tratamiento biológico por método enzimático, y tratamiento terciario se consigue la remoción de la carga contaminante presente en el agua residual del centro de faenamiento Provincia de Santa Elena, cuya agua tratada cumplirá con los límites máximos permisibles exigidos por la normativa ambiental vigente, disminuyendo la contaminación ambiental provocada por la descarga de las mismas hacia cuerpo de agua dulce.

## 2.3 Operacionalización de variables

### 2.3.1 Variable independiente

*Medidas de producción más limpia: Limpieza en seco de los corrales, recogida de la sangre durante el desangrado y separación de los sólidos de rumen generados durante el proceso de eviscerado*

*Tabla 5. Matriz CDIU Variable independiente*

<b>Categorías</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Unidad de análisis</b>
<b>Cultural</b>	Cultura Ambiental	Observación de campo	Trabajadores Centro de Faenamiento

Fuente: Ing. John Montenegro

### 2.3.2 Variable dependiente

*Contaminación del agua*

*Tabla 6. Matriz CDIU Variable dependiente*

<b>Categorías</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Unidad de análisis</b>
<b>Química</b>	Propiedades físicas y químicas del agua residual	Informe de análisis físico-químico del agua	Unidad de control de calidad Laboratorios Aguas, Petróleo y Medio Ambiente
<b>Biológicos</b>	Proliferación de vectores Agotamiento de recursos naturales	Observación de campo	Área de influencia directa

Fuente: Ing. John Montenegro

## Capítulo 3

### Análisis de Resultados

#### 3.1 Antecedentes de la Unidad de Análisis

##### 3.1.1 Resultados de la Caracterización inicial

En la Tabla 7 se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica efectuada al agua residual, cuyos parámetros de monitoreo fueron establecidos por la normativa ambiental vigente.

*Tabla 7. Caracterización inicial del afluente*

Parámetros	Unidades	Expresado como	Resultados	Límite Máx. permisible (1)
Aceites y Grasas*	mg/l	Sustancias solubles en hexano	25	30
Color**	Pt-Co	Color	7375	Inapreciable en disolución 1/20
Demanda Bioquímica de Oxígeno*	mg/l	DBO	1020	100
Demanda Química de Oxígeno**	mg/l	DQO	2332	200
Nitrato**	mg/l	NO <sub>3</sub>	161	-
Nitrito**	mg/l	NO <sub>2</sub>	960	-
Potencial de Hidrógeno**	-	pH	7.04	6 - 9
Sólidos Suspendedos Totales**	mg/l	SST	550	130
Sólidos Totales**	mg/l	ST	1705	1600
Sulfatos**	mg/l	SO <sub>4</sub> -2	480	1000
Temperatura**	°C	°C	26	Condiciones normales de ambiente
Turbiedad**	NTU	Turbiedad	1550	-

1 Acuerdo Ministerial No. 97 R.O. 30 de Julio 2015, Anexos del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente reformado mediante Acuerdo Ministerial No. 61. Anexo 1, Norma de Calidad

---

Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

\*Análisis realizado por Laboratorio Acreditado de Aguas, Petróleo y Medio Ambiente de la Universidad de Guayaquil Facultad de Ingeniería Química

\*\*Análisis realizados por autor de Tesis en el Laboratorio de Aguas Facultad de Ingeniería Química

---

Fuente: Ing. John Montenegro

Observaciones: Mediante la caracterización de la muestra se observa que el afluente no cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.

### 3.2 Diagnóstico o estudio de campo

#### 3.2.1 Resultados de las pruebas de tratabilidad

La prueba de tratabilidad consiste en tratar el afluente inicialmente por un tratamiento primario, seguido de un tratamiento biológico o secundario, y finalmente un tratamiento terciario. No se realiza el tratamiento primario en vista que la muestra de agua residual no presenta sólidos sedimentables en la prueba realizada del cono Imhoff, por consiguiente no se hace necesario realizar la sedimentación convencional ver figura 2.

*Figura 2. Determinación de sólidos sedimentables mediante la prueba del cono Imhoff*



Fuente: Ing. John Montenegro

El agua residual es tratada inicialmente en un reactor biológico aerobio de choque de 22 litros Figura 3, denominado de esta manera por la dosificación inicial de 100 ml y 100 ml durante el proceso de catalizador enzimático BIOENZIMAR al 5%, y el aporte de una cantidad adicional de nitrógeno y fósforo, adicionando urea y fosfatos disueltos nutrientes necesarios para que las comunidades microbianas desarrollen la actividad necesaria para la depuración biológica, hasta degradar y descomponer la materia orgánica.

*Figura 3. Reactor para tratamiento biológico aerobio*



Fuente: Ing. John Montenegro

Durante el proceso Biológico se realiza el monitoreo día a día de los parámetros, los mismos que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Activación de la enzima

Fecha	Día	Observación	Color** Pt-Co	Turbiedad** NTU	pH** -	T** °C	Aceites y Grasas* mg/l	DBO* mg/l	DQO** mg/l	SST** mg/l	ST** mg/L	Nitrito** mg/l	Nitrato* * mg/l	Sulfato* * mg/l
22/07/2016	0	Análisis inicial del agua cruda. No presenta sólidos sedimentables. Instalación del agua cruda en un reactor con aireación. Adición de 100 ml enzimas al 5%, 0,5 gr de urea y 0,5 gr de fosfatos disueltos	7375	1550	7.04	26	25	1020	2332	550	1705	960	161	480
23/07/2016	1	Análisis del agua. Adición de 100 ml de enzimas al 10%, 0,7 gr de urea y 0.7 gr de fosfatos disueltos	7250	1450	7.40	24	-	-	1948	282	1576	1000	165	180
26/07/2016	4	Análisis del agua. Presencia de lodos en el fondo del reactor. Adición de 100 ml de enzimas al 5%	5430	580	7.78	25.1	-	-	772	80	1792	820	99	510
27/07/2017	5	Análisis del agua	5350	510	8.17	26	-	-	854	250	1746	870	106	450
28/07/2016	6	Análisis del agua	5320	510	8.12	25.5	6	190	795	520	1932	840	100	120

Fuente: Ing. John Montenegro

**Observaciones:** Mediante el monitoreo realizado se observa que durante el proceso el color, la turbiedad, la DBO, la DQO, los nitritos y los nitratos disminuyen, se visualiza una variación del pH, debido a la adición de nutrientes. La carga orgánica es degradada en 6 días.

Después que la carga orgánica ha sido degradada mediante el tratamiento biológico, se procede a eliminar el excedente de materia residual del efluente del proceso del tratamiento biológico mediante un tratamiento terciario a través de un proceso físico-químico que utiliza la precipitación química (coagulación, floculación y sedimentación) seguido de una filtración a través de un lecho de adsorción de carbón activado. La tabla 9 presenta la determinación de la dosis óptima de productos químicos para la precipitación química.

*Tabla 9. Test de jarras para la determinación de la dosis óptima de los productos químicos para la precipitación química*

Volumen	1 Litro del efluente del proceso de tratamiento biológico		Agitación	
	Coagulante.	Floculante.	Rápida: 250 rpm	Lenta: 40 rpm
Jarra	Sulfato de aluminio. Solución 1cc=100ppm	Polímero FL492 Solución 1cc=1ppm	Tiempo de formación del floc.	pH
1	1300	15	7'3"	6.77
2	<b>1500</b>	<b>15</b>	<b>4'7" *</b>	<b>5.88</b>

\*Flóculos más grandes y en menor tiempo de sedimentación

Fuente: Ing. John Montenegro

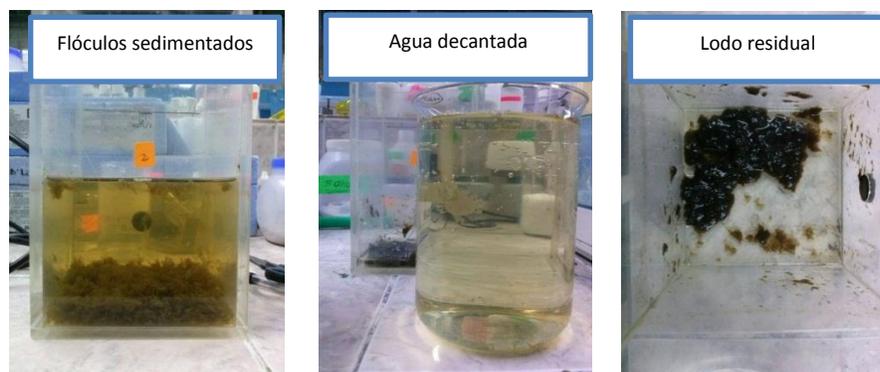
Observaciones: De acuerdo a la prueba realizada la dosis óptima para precipitar la muestra de efluente del proceso de tratamiento biológico es de 1500 ppm de sulfato de aluminio y 15 ppm de floculante.

*Figura 4. Test de jarras - Precipitación química*



Fuente: Ing. John Montenegro

*Figura 5. Flóculos sedimentados, agua decantada y lodo residual después del proceso de precipitación química en el tratamiento terciario*



Fuente: Ing. John Montenegro

El agua decantada luego de la precipitación química es filtrada a través de un lecho de adsorción con carbón activado, para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos del efluente final ver figura 6.

*Figura 6. Filtración a través de un lecho de adsorción con carbón activado*



Fuente: Ing. John Montenegro

Este proceso retiene sustancias no polares, sustancias halogenadas, sustancias generadoras de malos olores y gustos en el agua, residuos de la fermentación de la materia orgánica y microorganismos, todo ello sin alterar la composición original del agua.

El análisis de resultados se realiza en base a los datos obtenidos durante la experimentación. En la Tabla 10, se presenta la caracterización del efluente después de cada una de las etapas de depuración del proceso de tratabilidad, con los distintos resultados esperados.

*Tabla 10. Caracterización del efluente en cada etapa del tratamiento y comparación con la normativa*

Parámetros	Unidades	Expresado como	Tratamiento Biológico	Tratamiento Terciario	Límite Máx. permisible (1)
Aceites y Grasas*	mg/l	Sustancias solubles en hexano	6	6	30
Color**	Pt-Co	Color	5320	228	Inapreciable en disolución 1/20
Demanda Bioquímica de Oxígeno*	mg/l	DBO	190	72	100
Demanda Química de	mg/l	DQO	795	39	200

Oxígeno**					
Nitrato**	mg/l	NO3	100	5.1	-
Nitrito**	mg/l	NO2	840	52	-
Potencial de Hidrógeno**	-	pH	8.12	5.88	6 - 9
Sólidos Suspendidos Totales**	mg/l	SST	520	45	130
Sólidos Totales**	mg/l	ST	1932	1615	1600
Sulfatos**	mg/l	SO4 -2	120	310	1000
Temperatura**	°C	°C	25.5	25	Condiciones normales de ambiente
Turbiedad**	NTU	Turbiedad	510	39	-

1 Acuerdo Ministerial No. 97 R.O. 30 de Julio 2015, Anexos del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente reformado mediante Acuerdo Ministerial No. 61. Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

\*Análisis realizado por Laboratorio Acreditado de Aguas, Petróleo y Medio Ambiente de la Universidad de Guayaquil Facultad de Ingeniería Química

\*\*Análisis realizados por autor de Tesis en el Laboratorio de Aguas Facultad de Ingeniería Química

Fuente: Ing. John Montenegro

Observaciones: Se observa que el efluente tratado cumple con los límites permisibles de descarga hacia cuerpos de agua dulce exigidos por la normativa ambiental vigente, a excepción del pH y los sólidos totales.

*Figura 7. Muestras de las pruebas de tratabilidad en cada etapa del tratamiento*



Fuente: Ing. John Montenegro

### 3.2.2 Eficiencia de remoción

Tabla 11. Eficiencia de remoción del tratamiento

Parámetros	Tratamiento Biológico	Tratamiento Terciario	Remoción total del sistema
Aceites y Grasas	76%	-	76%
Color	27.86%	95.71%	96.91%
Demanda Bioquímica de Oxígeno	81.37%	62.1%	92.94%
Demanda Química de Oxígeno	65.91%	95.09%	98.32%
Nitrato	37.88%	94.9%	96.83%
Nitrito	12.5%	93.8%	94.58%
Sólidos Suspendidos Totales	5.45%	91.34%	91.81%
Sólidos Totales	-	16.40%	5.28%
Sulfatos	75%	-	35.41%
Temperatura	-	-	-
Turbiedad	67.09%	92.35%	97.48%

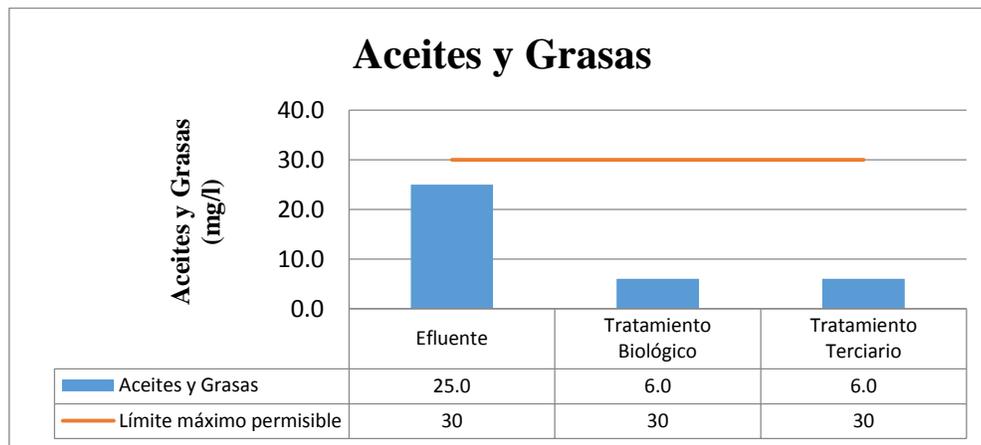
Fuente: Ing. John Montenegro

### 3.2.3 Análisis por parámetro

- *Aceites y grasas*

Conforme los resultados obtenidos de las pruebas de tratabilidad a la que fue sometida la muestra de agua residual, en lo referente a la cantidad de aceites y grasas podemos indicar que la misma fue removida en un 76%. A pesar que su valor inicial cumple con el límite máximo permisible en relación a este parámetro para la descarga hacia un cuerpo de agua dulce.

Gráfica 1. Resultados de la Caracterización de Aceites y Grasas

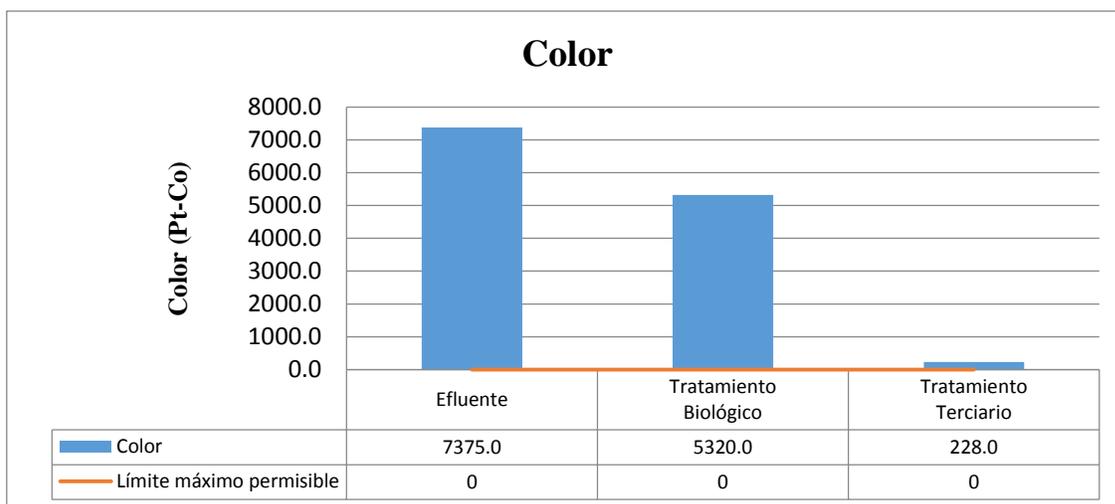


Fuente: Ing. John Montenegro

- *Color*

Acorde los resultados obtenidos de las pruebas de tratabilidad a la que fue sometida la muestra de agua residual, podemos indicar que el color fue removido en un 96,91%. Su mayor remoción se da en el tratamiento terciario con una eficiencia del 95,71%.

Gráfica 2. Resultados de la Caracterización del Color



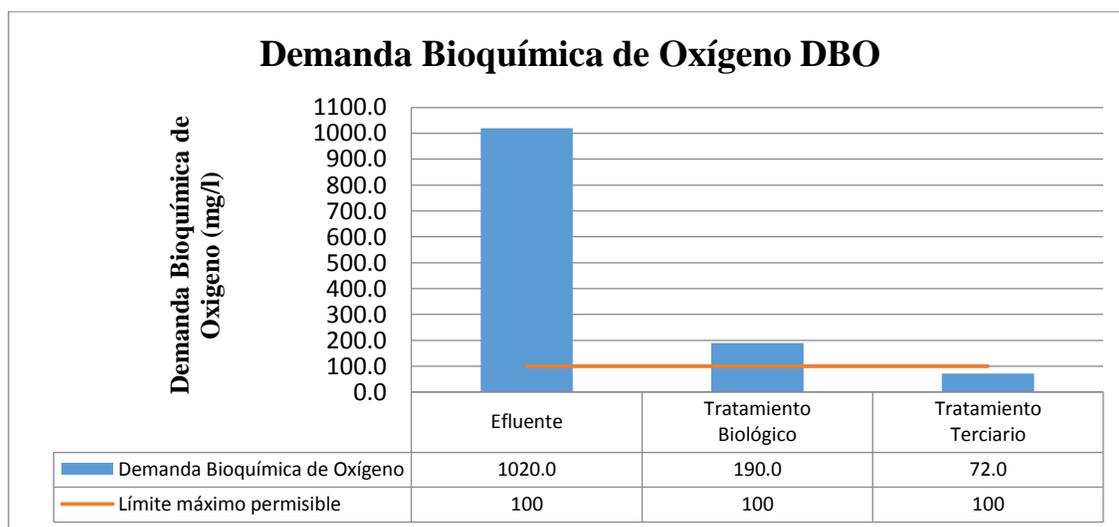
Fuente: Ing. John Montenegro

- *Demanda Bioquímica de Oxígeno*

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de tratabilidad a la que fue sometida la muestra de agua residual, referente a la DBO podemos indicar que el tratamiento biológico remueve el 81,37% y el tratamiento terciario el 62,1% en relación a este parámetro; todo el sistema remueve 92,94% de la carga contaminante; el efluente tratado cumple con el límite máximo permisible para la descarga hacia un cuerpo de agua dulce.

Este parámetro determina el tiempo en que la carga orgánica contaminante contenida en el afluente es degradada por el proceso biológico, por consiguiente resulta de mucha importancia.

*Gráfica 3. Resultados de la Caracterización de la DBO*



Fuente. Ing. John Montenegro

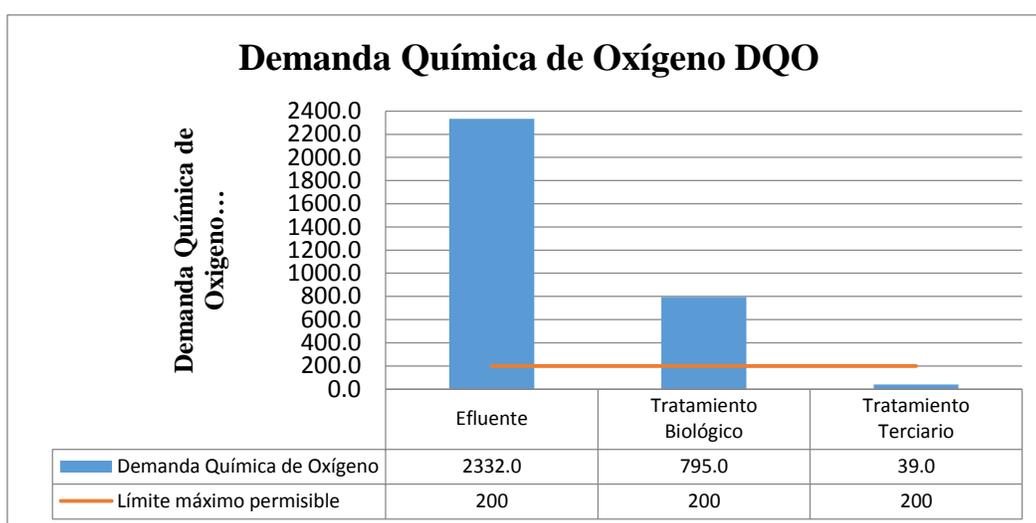
- *Demanda Química de Oxígeno*

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de tratabilidad a la que fue sometida la muestra de agua residual, referente al DQO podemos indicar que el tratamiento biológico remueve el 65,91% y el tratamiento terciario el 95,09% en relación a este parámetro;

todo el sistema remueve 98,32% de la carga contaminante; el efluente tratado cumple con el límite máximo permisible para la descarga hacia un cuerpo de agua dulce.

Este parámetro es el otro factor que indica la degradación de la materia orgánica al igual que la DBO5; el proceso de tratabilidad al cual la muestra fue sometida tuvo un tiempo de 6 días con lo cual se consigue degradar la carga contaminante.

Gráfica 4. Resultados de la Caracterización de la DQO

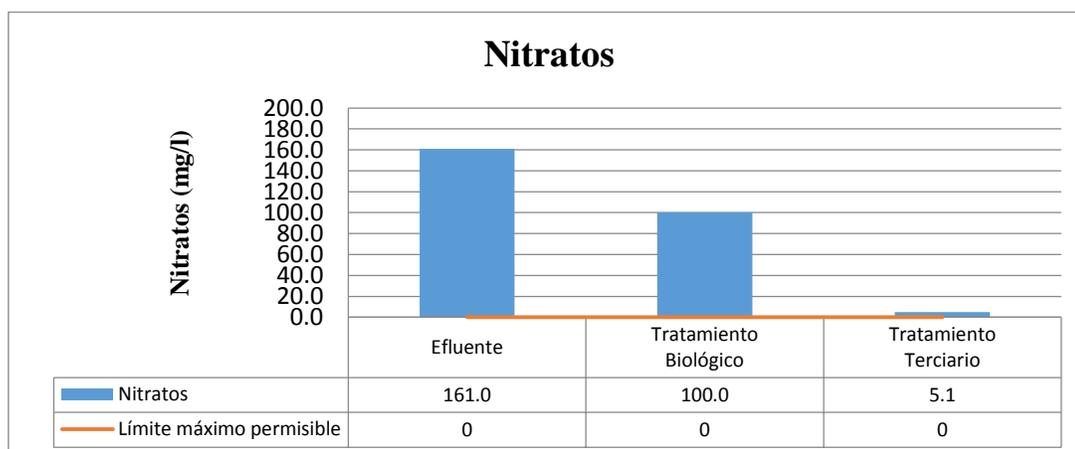


Fuente: Ing. John Montenegro

- *Nitratos*

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de tratabilidad a la que fue sometida la muestra de agua residual, referente a los nitratos se puede apreciar que la concentración de los mismos disminuyen tanto en el tratamiento biológico como en el tratamiento terciario, consiguiéndose porcentajes de remoción del 37,88% y 94,90% respectivamente.

Gráfica 5. Resultados de la Caracterización de Nitratos

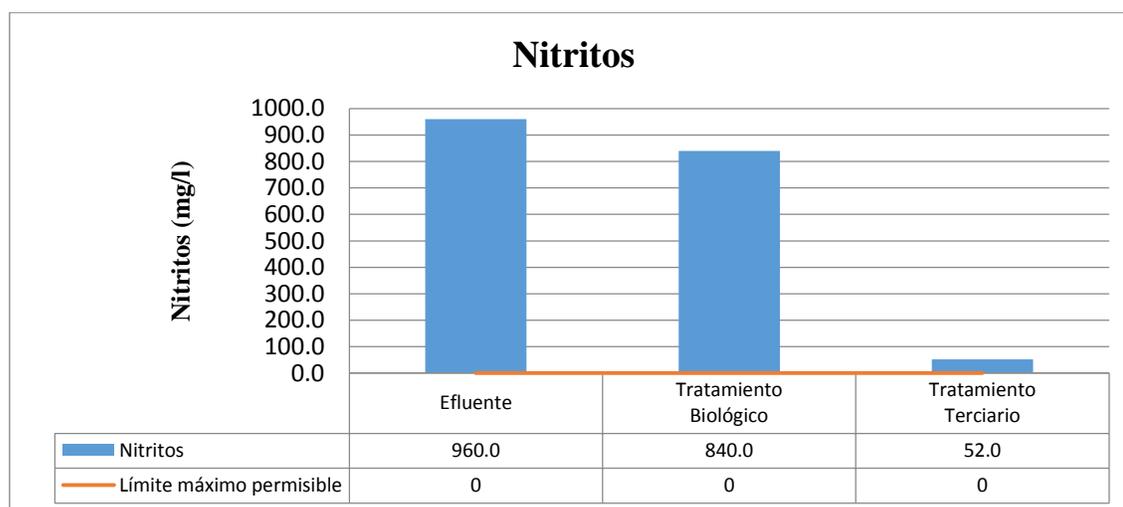


Fuente: Ing. John Montenegro

- *Nitritos*

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de tratabilidad a la que fue sometida la muestra de agua residual, referente a los nitratos se puede apreciar que la concentración de los mismos disminuyen tanto en el tratamiento biológico como en el tratamiento terciario, consiguiéndose porcentajes de remoción del 12,5% y 93,8% respectivamente.

Gráfica 6. Resultados de la Caracterización de Nitritos

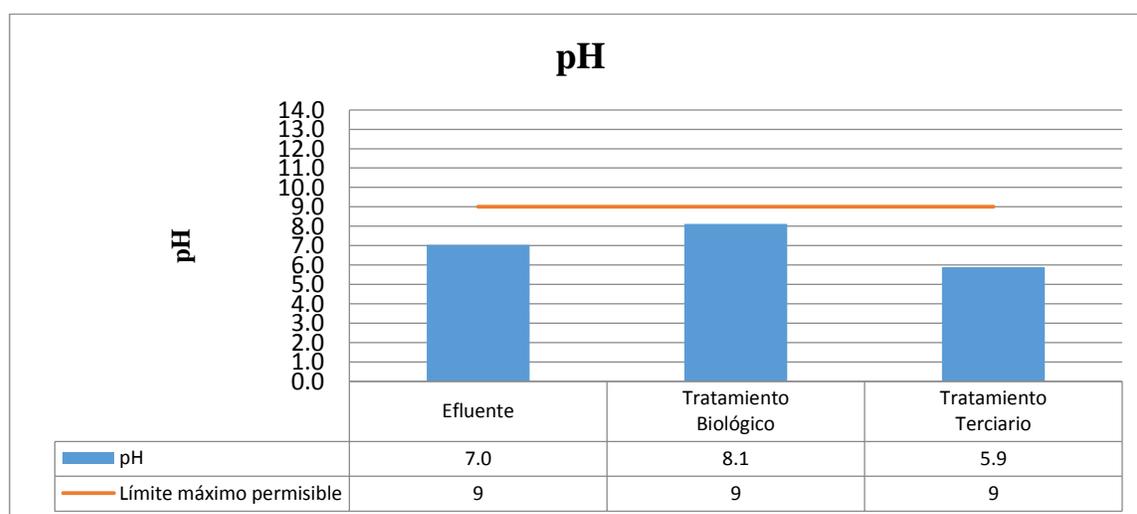


Fuente: Ing. John Montenegro

- *Potencial de Hidrógeno*

Los valores del pH obtenidos durante los procesos de tratabilidad se mantienen dentro de los límites máximos permisibles 6 – 9, considerado para la descarga hacia un cuerpo de agua dulce, a excepción del efluente final cuyo pH está en 5.88 debido a la dosificación de sulfato de aluminio.

*Gráfica 7. Resultados de la Caracterización del pH*

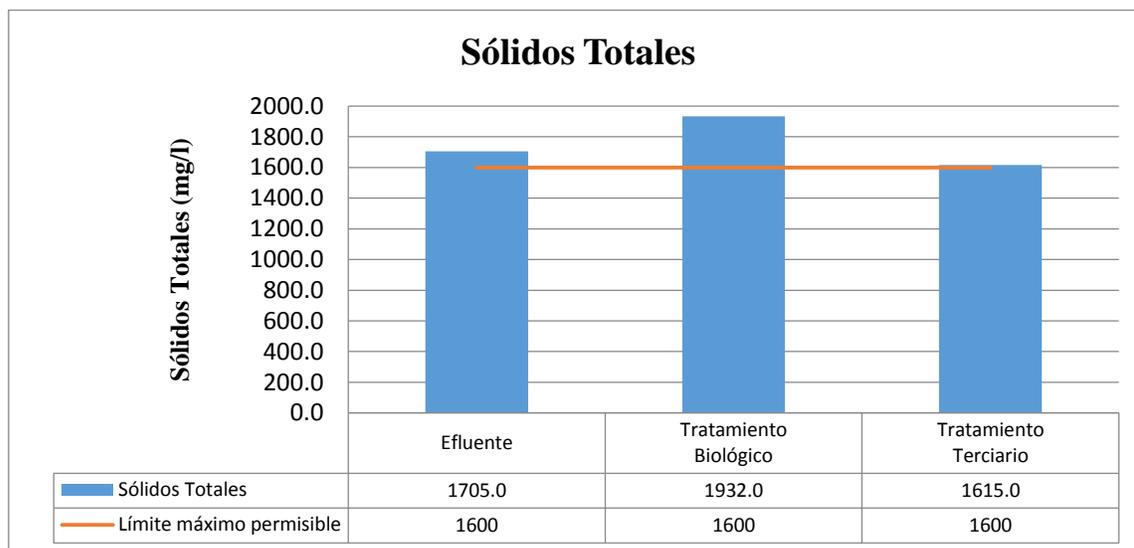


Fuente: Ing. John Montenegro

- *Sólidos Totales*

Los sólidos totales tienden a aumentar en el tratamiento biológico debido al crecimiento microbiano, el tratamiento terciario remueve el 16,40%, cuyo efluente final presenta 1615 mg de ST/l excediendo apenas su cantidad en relación al límite máximo permisible exigido por la normativa ambiental vigente.

Gráfica 8. Resultados de la Caracterización de Sólidos Totales

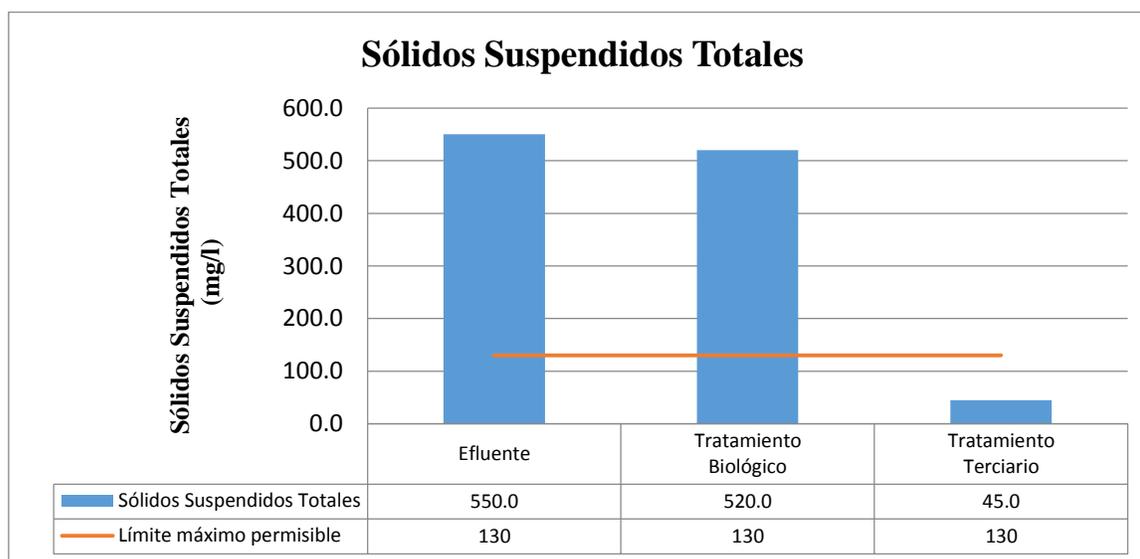


Fuente: Ing. John Montenegro

- *Sólidos Suspendidos Totales*

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de tratabilidad a la que fue sometida la muestra de agua residual, referente a los sólidos suspendidos totales podemos indicar que el tratamiento biológico remueve el 5,45% y el tratamiento terciario el 91,34% en relación a este parámetro; todo el sistema remueve 91,81% de la carga contaminante; el efluente tratado cumple con el límite máximo permisible para la descarga hacia un cuerpo de agua dulce.

Gráfica 9. Resultados de la Caracterización de Sólidos Suspendidos Totales

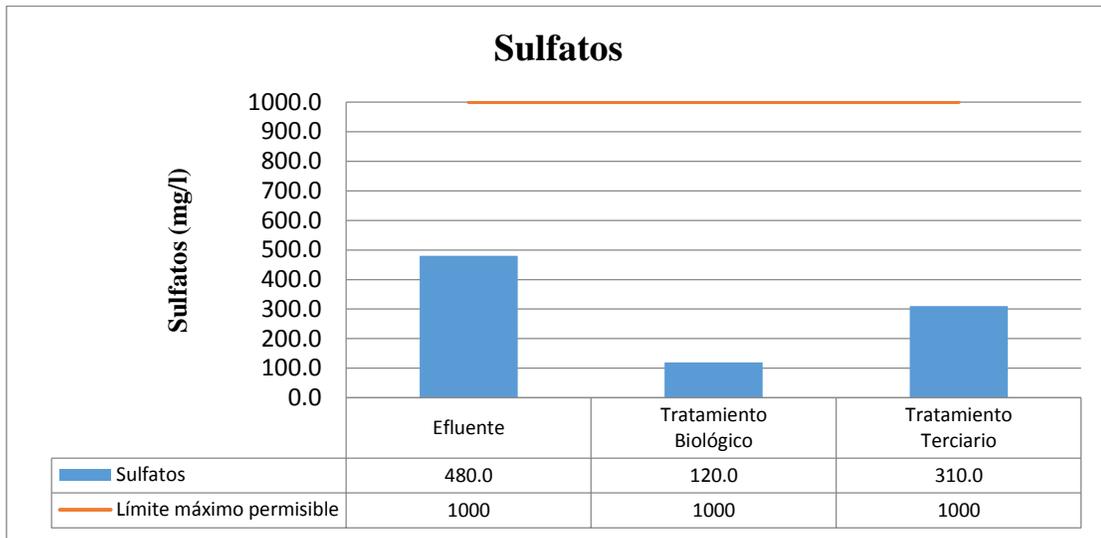


Fuente: John Montenegro

- *Sulfato*

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de tratabilidad a la que fue sometida la muestra de agua residual, referente a los sulfatos se puede apreciar que la concentración de los mismos disminuye en el tratamiento biológico consiguiéndose un porcentaje de remoción del 75%; en el tratamiento terciario dicha concentración tiende a aumentar debido a la dosificación de sulfato de aluminio utilizado en la precipitación química.

Gráfica 10. Resultados de la Caracterización de Sulfatos

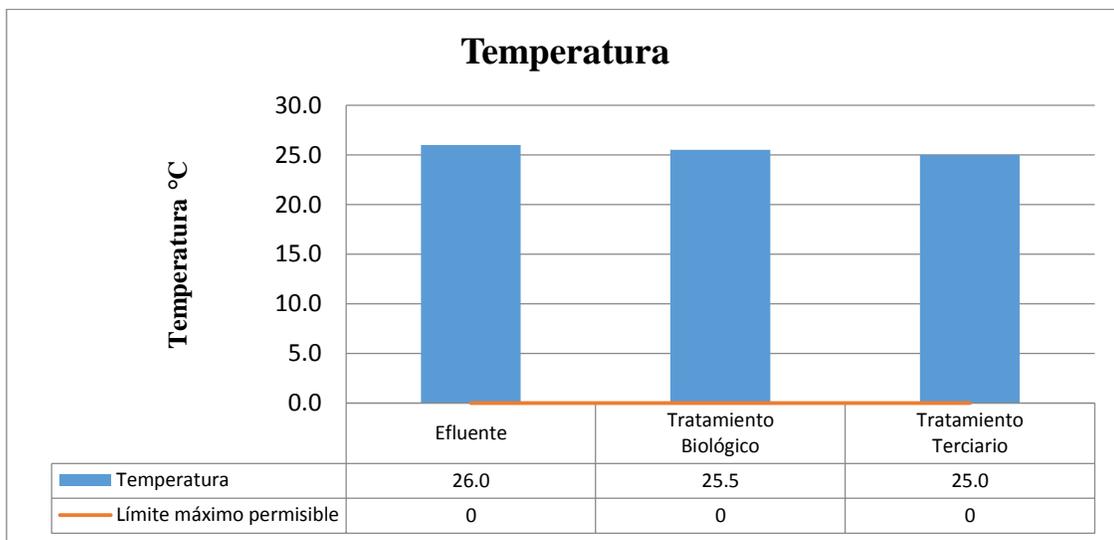


Fuente: Ing. John Montenegro

- *Temperatura*

Durante las pruebas de tratabilidad utilizadas la temperatura del agua residual en cada una de las etapas se encuentra dentro de las condiciones ambientales óptimas.

Gráfica 11. Resultados de la Caracterización de la Temperatura

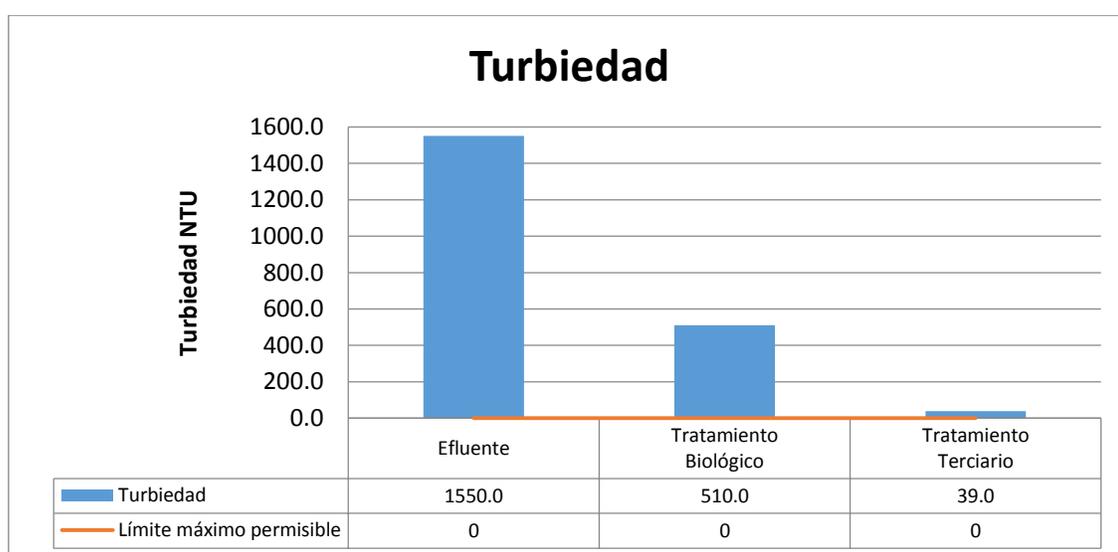


Fuente: Ing. John Montenegro

- *Turbiedad*

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de tratabilidad a la que fue sometida la muestra de agua residual, referente a la turbiedad podemos indicar que el tratamiento biológico remueve el 67,09% y el tratamiento terciario el 92,35% en relación a este parámetro; todo el sistema remueve 97,48% de la carga contaminante.

*Gráfica 12. Resultados de la Caracterización de la Turbiedad*



Fuente: Ing. John Montenegro

## **Capítulo 4**

### **Discusión**

#### **4.1 Contratación empírica**

Acorde a los resultados obtenidos mediante las pruebas de tratabilidad propuestas, se consigue una elevada remoción de la carga orgánica inicial, cuyo efluente tratado cumple con los límites permisibles de descarga hacia cuerpos de agua dulce exigidos por la normativa ambiental vigente, por consiguiente se proyectará el diseño de tratabilidad del agua residual del centro de faenamiento Regional Provincia de Santa Elena.

#### **4.2 Limitaciones**

La principal limitación para el desarrollo de este estudio fue la falta de operatividad del centro de faenamiento, en vista que se encontraba clausurado por AGROCALIDAD, lo cual influyó mucho en la obtención de la muestra para su debida prueba de tratabilidad.

#### **4.3 Líneas de investigación**

##### **4.3.1 Línea de investigación N° 1:**

Procesos de faenado en bovinos

##### **4.3.2 Línea de investigación N° 2**

Origen y composición de las aguas residuales en mataderos

##### **4.3.3 Línea de Investigación N°3**

Sistemas de tratamiento de las aguas residuales de un centro de faenamiento o matadero de ganado

##### **4.3.4 Línea de investigación N° 4**

Tratamiento de aguas por método enzimático

#### **4.3.5 Línea de investigación N° 5**

Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales de camal

#### **4.4 Aspectos relevantes**

Valorar la importancia de las enzimas y sus aplicaciones en el tratamiento biológico mediante la biotransformación de contaminantes de las aguas residuales de los centros de faenamiento.

En comparación con otros métodos de tratamiento de aguas residuales como lo es el carbón activado, las tecnologías enzimáticas ofrecen diversos beneficios, como la disminución o eliminación de toxicidad del agua mediante la transformación de los contaminantes.

## Capítulo 5

### Propuesta

#### 5.1 Propuesta del diseño de tratabilidad del efluente

En la actualidad la actividad de faenamiento se realiza una vez por semana debido a que se encuentra en la fase de pruebas, generando un caudal 21 m<sup>3</sup> de agua residual/día, pero se tiene proyectado realizar el faenamiento de 100 cabezas de ganado/día. Debido a lo expuesto se propone un diseño de tratabilidad del agua residual tipo Bach la misma que se encuentra compuesta por un sistema de tratamiento biológico con aireación extendida y dosificación en choque de catalizador enzimático, seguida de una tratamiento terciario que conlleva procesos físico-químico de precipitación química y filtración a través de un filtro a presión con retrolavado.

El sistema de tratamiento estará compuesto por las siguientes unidades:

##### 5.1.1 Pretratamiento o tratamiento preliminar

Es el tratamiento básico que se da a los vertimientos con el fin de remover sólidos gruesos y objetos que puedan impedir el funcionamiento de bombas y equipos o causar taponamiento en las redes de drenaje internas, o para evitar el deterioro de las estructuras posteriores. Para el caso de mataderos, este material lo compone residuos de lavado de panzas, lavado de corrales, carnazas, entre otros.

##### *5.1.1.1 Diseño de Canal con Rejillas.*

El canal recibirá el efluente de todas las áreas del proceso de matanza: aguas grasas y sanguinolentas.

- *Caudal Medio de Diseño.*

$$Q_{medio} = (NR) \times (CA)$$

Dónde:

NR = Número de cabezas de ganado faenados por día

CA = Consumo de Agua por cabeza de ganado

$$Q_{medio} = (100 \text{ CDG/Día}) \times (0,5 \text{ m}^3/\text{CDG})$$

$$Q_{medio} = 50 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para un día de operación de 8 horas, se tiene:

$$Q_{medio} = \left(50 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right) \times \left(\frac{1000 \text{ litros}}{1 \text{ m}^3}\right) \times \left(\frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ seg}}\right) =$$

$$Q_{medio} = 1,73611 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} \text{ (LPS)}$$

- *Caudal Máximo Diario.*

Aplicando un factor de seguridad de 1.2, el caudal es:

$$Q_{máximo} = 1,2 \times Q_{medio} = 1,2 \times 1,73611 \text{ LPS} = 2,0833 \text{ LPS} = 0,0020833 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

- *Diseño de la rejilla.*

➤ Espacio entre barras (b) = 1.5 cm

De acuerdo a lo establecido en la norma RAS 2000, numeral E.4.4.2.3, se recomienda un espaciamiento entre las barras de la rejilla de 15 a 50 mm para rejillas limpiadas manualmente.

- Espesor de barra ( $w$ ) = 1 cm
- Porcentaje de área de flujo ( $E$ )

$$E = \frac{b}{(b + w)} = \frac{1,5 \text{ cm}}{(1,5 \text{ cm} + 1 \text{ cm})} = 0,6$$

- Velocidad mínima entre barras ( $v$ )  $v = 0,6 \text{ m/s}$

De acuerdo con lo establecido en la norma RAS 2000, en el numeral E.4.4.2.5, se debe usar un rango de velocidades entre 0.3 y 0.6 m/s y entre 0.6 y 1.2 m/s para rejillas limpiadas manualmente y mecánicamente respectivamente.

- Área útil del canal ( $A_u$ )

$$A_u = \frac{Q \text{ máx}}{v} = \frac{0,0020833 \text{ m}^3/\text{seg}}{0,6 \text{ m/seg}} = 0,0034722 \text{ m}^2$$

- Área Total ( $A_t$ )

$$A_t = \frac{A_u}{E} = \frac{0,0034722 \text{ m}^2}{0,6} = 0,00578 \text{ m}^2$$

- Ancho del Canal ( $W_c$ )  $W_c = 0,5 \text{ m}$
- Profundidad aguas abajo de rejilla (de lámina de fluido) ( $P_o$ )

$$P_o = \left( \frac{Q \text{ máx LPS}}{1376 \times W_c} \right)^{\frac{2}{3}} = \left( \frac{2,0833 \text{ LPS}}{1376 \times 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,02093 \text{ m} = Y$$

- Ancho de rejilla ( $W_r$ )

$$Wr = \frac{At}{Po} = \frac{0,00578 \text{ m}^2}{0,02093 \text{ m}} = 0,27615 \text{ m}$$

- Ancho útil de rejillas (Wu)

$$Wu = \frac{Au}{Po} = \frac{0,0034722 \text{ m}^2}{0,02093 \text{ m}} = 0,1659 \text{ m}$$

- Ancho total barras (Wb)

$$Wb = Wr - Wu = 0,27615 \text{ m} - 0,1659 \text{ m} = 0,11025 \text{ m}$$

- Número de barras (Nb)

$$Nb = \frac{Wb}{w} = \frac{0,11025 \text{ m}}{0,01 \text{ m}} = 11 \text{ barras}$$

- Inclinación con la horizontal:  $\alpha = 45^\circ$

- *Cálculo de la Pérdida de Carga en la Rejilla.* La pérdida de Carga para rejillas limpias según la Fórmula de Kirshmer, está dada por:

$$hf = k \times \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{3}{4}} \times \text{sen } \alpha \times \frac{v^2}{2g}$$

Donde K es un factor que depende de la forma de la sección de las barras. En este caso sección rectangular:  $K = 2,42$

$$hf = 2,42 \times \left(\frac{0,01 \text{ m}}{0,015}\right)^{\frac{3}{4}} \times \text{sen } 45 \times \frac{(0,6 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/seg}^2} = 0,023 \text{ m}$$

Cuando las rejillas están sucias, la velocidad puede duplicarse y la velocidad de acceso aguas arriba quedaría inalterada. Por lo tanto, la pérdida de carga sería:

$$hf = 2,42 \times \left(\frac{0,01 \text{ m}}{0,015}\right)^{\frac{3}{4}} \times \text{sen } 45 \times \frac{(2 \times 0,6 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/seg}^2} = 0,09275 \text{ m}$$

- *Dimensiones finales de la Rejilla*

- *Altura Total (T)*

$$T = \frac{Y + hf + \text{Borde libre}}{\text{Tan } 45^\circ} = \frac{0,02089 \text{ m} + 0,09275 \text{ m} + 0,4 \text{ m}}{\text{Tan } 45^\circ} = 0,51364 \text{ m}$$

- *Largo de la rejilla*

$$L = \frac{T}{\text{Cos } 45^\circ} = \frac{0,51354 \text{ m}}{\text{Cos } 45^\circ} = 0,72639 \text{ m}$$

- *Consideraciones de Diseño de las rejillas.*

- *Ancho del canal: 0,5 metros*
- *Número de barras: 11*
- *Espesor de barras: 1 centímetro*
- *Espacio entre barras: 1.5 centímetros*

## 5.1.2 Tratamiento Biológico

### 5.1.2.1 Diseño del Reactor

- *Eficiencia del reactor (Es)*

$$Es = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 = \frac{1020 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} - 190 \text{ mg/lit}}{1020 \text{ mg/lit}} = 81,37\%$$

- *Volumen del reactor (Vr)*

En caso que las actividades de faenamiento se digan realizando una vez por semana el Volumen del Reactor esperado será de 60 m<sup>3</sup>.

Si las actividades se realizan de manera continua se estima los siguientes cálculos tomando en cuenta los siguientes datos:

- Caudal máximo diario:  $Q \text{ máx. (} Q \text{ medio} \times \text{coeficiente punta)} = 60 \text{ m}^3/\text{día}$
- Tiempo de retención celular:  $t_c = 6 \text{ días}$
- Concentración de DBO5 en el afluente:  $S_o = 1120 \text{ mg/lit}$
- Concentración de DBO5 en el efluente:  $S = 190 \text{ mg/lit}$
- mg SSV/mg DBO5:  $Y = 0,6$
- Coeficiente de degradación endógena:  $K_d = 0,06 \text{ días}^{-1}$
- Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles:  $X = 550 \text{ mg/l}$ .

$$V_r = \frac{t_c \times Q \text{ máx} \times Y \times (S_o - S)}{X[1 + (k_d \times t_c)]}$$

$$V_r = \frac{6 \text{ días} \times 60 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 0,6 \text{ mgSSV/mgDBO5} \times (1020 - 190) \text{ mgDBO5/lit}}{550 \text{ mg/lit} \left[ 1 + \left( \frac{0,06}{\text{día}} \times 6 \text{ días} \right) \right]} = 240 \text{ m}^3$$

- *Fango a purgar diariamente*
- Cálculo del fango a purgar diariamente:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \times t_c} = \frac{0,6}{1 + (0,06 \times 6)} = 0,4411$$

- Cálculo de la masa de fango activado volátil purgado.

$$Px = Y_{obs} \times Q_{m\acute{a}x} \times (S_o - S) = 0,4411 \times 60 \frac{m^3}{d\acute{a}a} \times \left[ \frac{(1020 - 190)g}{m^3} \right] \times \frac{1Kg}{1000gr} =$$

$$Px = 21,96 \frac{Kg}{d\acute{a}a}$$

➤ Cálculo de la masa total de fango en base a los sólidos totales en suspensión.

$$Px(ss) = \frac{Px}{0,8} = \frac{21,96 \text{ Kg/d\acute{a}a}}{0,8} = 27,45 \text{ Kg/d\acute{a}a}$$

Masa a purgar = incremento SSLM – SS perdidos en el efluente

$$\text{Masa a Purgar} = \frac{27,45Kg}{d\acute{a}a} - \left[ 60 \frac{m^3}{d\acute{a}a} \times 190 \frac{g}{m^3} \times \frac{1Kg}{1000gr} \right] = 16,05 \text{ Kg/d\acute{a}a}$$

- *Fango a purgar en el reactor*

$$tc = \frac{Vr \times X}{[Q_w \times X] + [Q_e \times X_e]}$$

$$Q_e = Q_{m\acute{a}x} = 60 \text{ m}^3/\text{d\acute{a}a}$$

SSV del efluente = 80% SS del efluente

$$6 \text{ d\acute{a}as} = \frac{240 \text{ m}^3 \times 550g/m^3}{[Q_w \times 550g/m^3] + \left[ 60 \frac{m^3}{d\acute{a}a} \times 190 \frac{g}{m^3} \times 0,80 \right]}$$

Aislando se obtiene:

$$Q_w = 23,42 \frac{m^3}{d\acute{a}a}$$

- *Tiempo de retención hidráulica del reactor (tr)*

$$tr = \frac{Vr}{Q_{m\acute{a}x}} = \frac{240 \text{ m}^3}{60 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}} = 96 \text{ h}$$

- *Demanda de oxígeno*

$$DBO5 = f \times DBOl$$

Siendo  $f = 0,68$ .

$$\text{Masa. } DBOl. \text{ utilizada} = \frac{Q (S_o - S)}{f} = \frac{60 \text{ m}^3/\text{seg} \left[ (1020 - 190) \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right]}{0,68}$$

$$\text{Masa. } DBOl. \text{ utilizada} = 73,23 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

$$\text{Kg} \frac{\text{O}_2}{\text{día}} = \text{Masa. } DBOl. \text{ utilizada} - [1,42 \times Px]$$

$$\text{Kg} \frac{\text{O}_2}{\text{día}} = \frac{73,23 \text{ Kg}}{\text{día}} - \left[ 1,42 \times \frac{21,96 \text{ Kg}}{\text{día}} \right] = 42,04 \frac{\text{KgO}_2}{\text{día}}$$

- *Caudal de aire necesario*

➤ Cálculo de la cantidad teórica de aire necesario.

$$\text{Cantidad teórica} = 42,04 \frac{\text{KgO}_2}{\text{día}} \times \frac{100 \text{ Kg Aire}}{23,2 \text{ Kg O}_2} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1,210 \text{ Kg Aire}} = 149,75 \frac{\text{m}^3 \text{ Aire}}{\text{día}}$$

➤ Cálculo de la cantidad real de aire necesario

Se supone una eficiencia en la transferencia de los equipos de aireación del 8%

$$Cantidad.real = \frac{149,75 \frac{m^3 Aire}{día}}{0,08} = 1871,87 \frac{m^3 Aire}{día} \times \frac{1 día}{1440 min} = 1,299 m^3 Aire/min$$

- Cálculo de la demanda de aire proyectada para la EDAR

Se debe tener en cuenta el factor de seguridad igual a 2.

$$Cantidad.Aire.Proyectada = 2 \times 1,299 \frac{m^3 Aire}{min} = 2,598 \frac{m^3 Aire}{min}$$

### 5.1.3 Tratamiento terciario

#### 5.1.3.1 Tanque secundario de sedimentación

- Área del sedimentador (A)

$$A = \frac{Q_{máx}}{Carga Superficial} = \frac{60 m^3/día}{16 m^3/m^2 \times día} = 3,75 m^2$$

- Diámetro del sedimentador  $\emptyset$

$$\emptyset = \sqrt{\left(\frac{4 \times A}{\pi}\right)} = \sqrt{\left(\frac{4 \times 3,75 m^2}{\pi}\right)} = 2,18 m$$

El 25% del diámetro es el reparto central, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{central} = \emptyset \times 0,25 = 2,18 m \times 0,25 = 0,545 m$$

- Altura del sedimentador

La profundidad de acuerdo a los parámetros es 4 m.

La altura de reparto se toma  $\frac{1}{4}$  de la profundidad, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H_{\text{reparto}} = \frac{1}{4} \text{Profundidad} = \frac{1}{4} \times 4m = 1m$$

Inclinación del fondo para sedimentadores secundarios se toma el 15%

$$\frac{r}{\text{sen}75^\circ} = \frac{x}{\text{sen}90^\circ}$$

$$\frac{1,09}{\text{sen}75^\circ} = \frac{x}{\text{sen}90^\circ} \quad x = 1,128m$$

$$\frac{h}{\text{sen}75^\circ} = \frac{x}{\text{sen}90^\circ}$$

$$\frac{h}{\text{sen}75^\circ} = \frac{1,128}{\text{sen}90^\circ} \quad h = 1,089m$$

$$H_{\text{total sedimentador}} = 4 + 1,089 = 5,089m$$

- *Volumen del sedimentador:*

$$V = A \times h = 3,75m^2 \times 5,089m = 19,08m^3$$

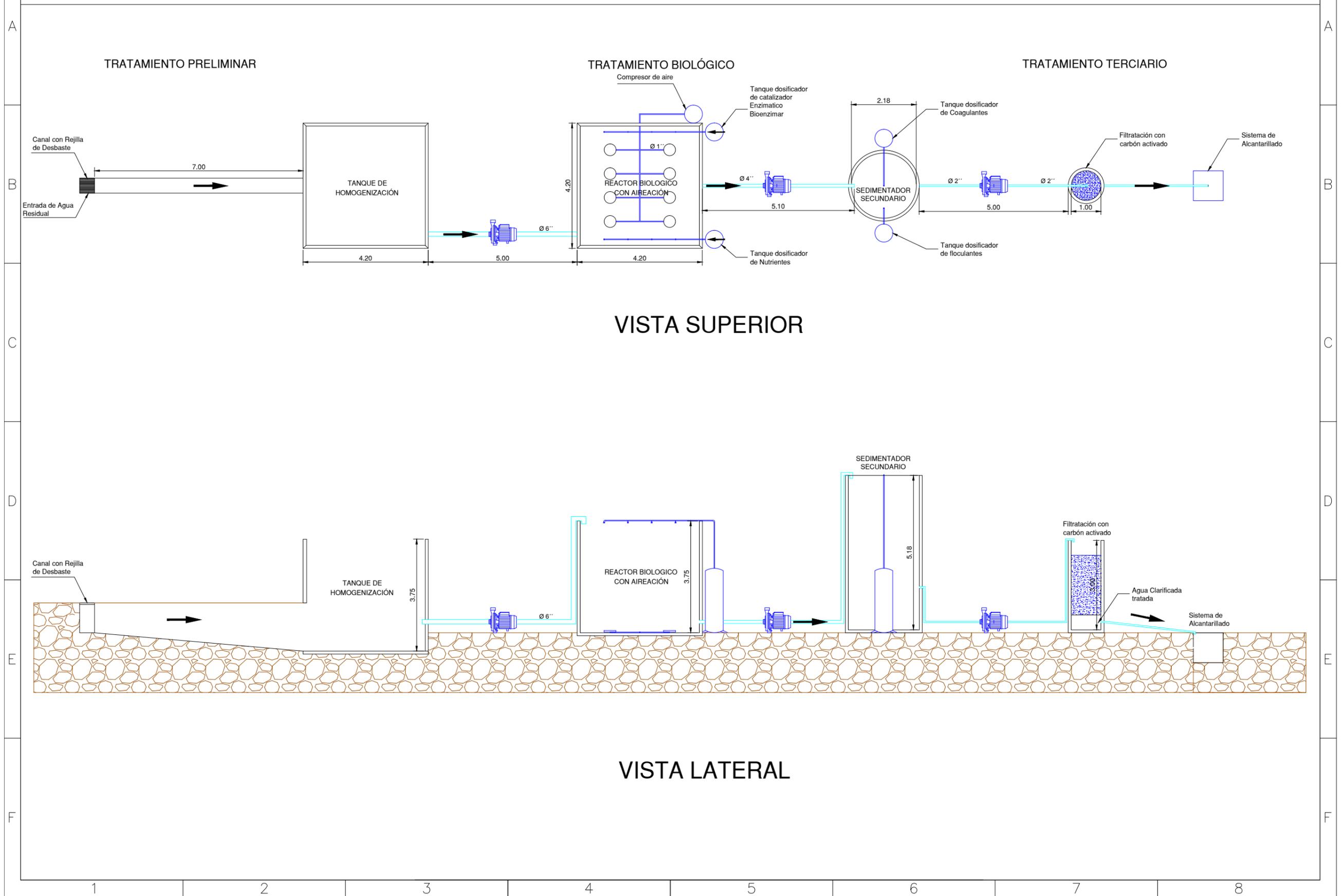
- *Carga sobre el vertedero*

$$\text{Carga vertedero} = \frac{Q_{\text{máx}}}{\pi \times \emptyset} = \frac{0,0020833m^3/\text{seg}}{\pi \times 2,18m} = 0,00030419 \frac{m^2}{\text{seg}}$$

- *Tiempo de retención hidráulico*

$$Trh = \frac{V}{Q_{\text{máx}}} = \frac{19,08m^3}{\frac{60m^3}{\text{día}}} = 0,318 \text{ días} = 7,632 \text{ horas}$$

FIGURA 8. DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CENTRO DE FAENAMIENTO PROVINCIAL DE SANTA ELENA



## Conclusiones

Se caracterizó las aguas residuales del Centro de Faenamiento Regional Provincia de Santa Elena, estableciéndose las concentraciones iniciales de los contaminantes presentes en la misma, para su respectivo tratamiento.

Mediante las pruebas de tratabilidad realizadas se concluye que los procesos para tratar del agua residual del centro de faenamiento son: tratamiento biológico con aireación extendida y adición en choque de catalizador enzimático (Bioenzimar), precipitación química (tratamiento terciario) y filtración. Procesos mediante los cuales se remueve un total del 76% de aceites y grasas, 96,91% de color, 92,94% de DBO5, 98,32% de DQO, 96,83% de Nitrato, 94,58% de Nitrito, 91,81% de sólidos suspendidos totales, 5,28% de sólidos totales, 35,41% de sulfato y 97,48% de turbiedad, comprobándose que la muestra de agua tratada cumple con los límites máximos permisibles exigidos por la normativa ambiental vigente en la mayoría de sus parámetros, a excepción del pH y los sólidos totales que apenas salen de dichos rangos, siendo quizás necesario la aplicación de otros métodos como la filtración en grava y arena y la cloración como métodos sustitutivos de los utilizados en este estudio.

Se propone el diseño de tratabilidad del agua residual del centro de faenamiento Provincia de Santa Elena, la misma que consiste en un sistema de desbaste mediante canal de rejillas (pretratamiento), seguido de un reactor biológico aerobio por adición de catalizador enzimático (tratamiento secundario) y finalmente precipitación química y filtración a través de un lecho de adsorción con carbón activado (tratamiento terciario).

### **Recomendaciones**

Se recomienda tratar el afluente de faenamiento mediante el sistema aplicado en la prueba de tratabilidad de este estudio, utilizando enzimas para la degradación de la materia orgánica como nueva alternativa biotecnológica en el tratamiento de aguas residuales, controlando sus variables como son pH, temperatura y cantidad de nutrientes, factores importantes para el desarrollo microbiano.

Se proponen medidas de producción más limpias durante el proceso de faenado como son: limpieza en seco de los corrales, eliminación por separado de sólidos y recogida de la sangre durante el desangrado, reduciendo en el origen el volumen y la carga contaminante del agua residual a tratar y por consiguiente, el tamaño de la planta de tratamiento y los costos operativos.

## Bibliografía

Acuerdo Ministerial 061. (2015). Reforma del Texto Unificado de la Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA). Quito: Ministerio de Ambiente

Acuerdo Ministerial 097-A. (2016). Acuerdo Ministerial 097-A. Quito: Ministerio de Medio Ambiente

Alasino, N. (2009). Síntesis y Diseño de Plantas de Tratamientos de Agua Residuales. Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Litoral

Marín Ocampo, A., & Óses Pérez, M. (2012). Operación Mantenimiento de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados. Jalisco, México: Comisión Estatal del Agua de Jalisco

Metcalf, & Eddy. (1998). Ingeniería en Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. España: Tercera edición: Editorial McGraw Hill

PHD. Valencia M., G. (2000). Tratamientos Primarios. Cali- Colombia: Universidad del Valle

Romero Rojas, J. (2004). Tratamientos de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería

Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico (2000). Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS – 2000: Sección II Título E. Tratamiento de aguas residuales. Bogotá D.C. Colombia

NTE INEN 2176: 1998. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo

NTE INEN 2169: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras

Ramalho, R.S., (1990). Tratamiento de aguas residuales. Quebec, Canadá: Editorial Reverte S.A.

Muñoz, D. (2004). Sistema de Tratamiento de aguas residuales de matadero. Popayán: Universidad del Cauca

Gonzáles, L.L. (2013). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Chupaca (Tesis de Grado). Universidad Nacional del Centro de Perú Facultad de Ingeniería Química. Huancayo, Perú

Orozco, J. (2005). Bioingeniería de aguas residuales: teoría y diseño. Colombia: Editorial Acodal

Gavidia, J. (2011). Propuesta de una planta de tratamiento para las aguas residuales del camal municipal. (Tesis de Grado). Universidad Estatal Amazónica Carrera de Ingeniería Ambiental. Puyo, Ecuador

Lara, L. (2011). Las aguas residuales del camal municipal del Cantón Baños y su incidencia en la contaminación del río Pastaza en la Provincia de Tungurahua. (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato, Ecuador

Valencia, J. (2012). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el área de bovinos en el camal frigorífico municipal de Riobamba. (Tesis de Grado). Escuela

Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química.  
Riobamba, Ecuador

Espín, A. (2012). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el camal municipal del Cantón Alausí. (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador

Reyes, P. E. (2013). Diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales provenientes del camal municipal del Cantón Machala. (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Machala Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud Carrera de Ingeniería Química. Machala. Ecuador

## ANEXOS

*Figura 9. Focalización de la contaminación ambiental generada por la descarga de aguas residuales del camal formando una vertiente de agua que desemboca en el estero Murciélagos de la comuna Chuyuipe*



Fuente: Google Maps

*Figura 10. Determinación de DQO, Conductividad Eléctrica, pH y Test de jarras del agua residual*



Fuente: Ing. John Montenegro