

Tratamiento avanzado del agua: Evaluación de la remoción de materia orgánica en el tratamiento de aguas residuales industriales provenientes de matadero a partir de lagunas de estabilización anaerobias.

Gustavo Adolfo Morales Escobar, gustavo-1223@hotmail.com

Monografía presentada para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor: Jacipt Alexander Ramón Valencia, Doctor (PhD) en Química.



Universidad de Pamplona Colombia
Facultad de Ingenierías y Arquitectura.
Ingeniería Ambiental
Pamplona Norte de Santander, Colombia.
2019.

Dedicatoria

A DIOS, por la vida que me ha concedido, por mi familia y por lograr la oportunidad de poder dar un paso más en mis aspiraciones y en mis sueños, gracias Señor te doy.

A mi familia, especialmente a mis padres, José Gustavo Morales Varón y Luz Marina Escobar Bareño; por sus sabias palabras, el sacrificio, la entrega, y por todo lo que han hecho por mí, la persona que soy se lo debo a ellos, por ser cómplices en mi vida, por su ayuda desinteresada y demostrarme lo mucho que me quieren.

A mis hermanas Jacqueline Morales y Jazmín Morales; y mi sobrina Sara María Cajigas, que siempre estuvieron apoyándome y creyendo en mí, que gracias a su amor me llenaron de energía para obtener este tan preciado logro.

A todos aquellos que de una u otra forma tuvieron para con nosotros la dedicación, cariño e interés en asistirnos en el desarrollo del presente trabajo.

A todos aquellos que una vez creyeron en mí, y quienes, con dedicación, hicieron posible que hubiese logrado un sueño de toda la vida: el de convertirme en profesional y en una persona útil a la sociedad en beneficio propio y ajeno.

A quienes compartieron con nosotros su experiencia en trabajos de similar naturaleza, y que con sus valiosas ayuda y asesoría, fue posible adelantar este trabajo presente, con mayor interés y facilidad.

Gustavo Morales.

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a nuestros profesores por su tiempo, su constante apoyo y la sabiduría transmitida en el desarrollo de nuestra formación profesional, en especial al director de trabajo de grado, Dr. Jacipt Alexander Ramón Valencia, por su asesoramiento, colaboración, dirección y haber guiado su desarrollo de este trabajo y propiciar su culminación.

A la Universidad de Pamplona, a la Facultad de Ingeniería y arquitectura, y a todos quienes forman parte de la misma, quienes impartieron sus conocimientos para mi formación profesional Y a todas aquellas personas que, de una manera u otra, aportaron en el desarrollo de este proyecto de grado.

Finalmente, a mi familia, por su incondicional apoyo y paciencia durante toda nuestra formación universitaria.

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
Objetivos	15
Objetivo general	15
Objetivos específicos.....	15
Capítulo I.....	16
1. Marco teórico	16
1.2 Generalidades de las aguas residuales.....	16
1.3 Clasificación según su origen:.....	17
1.3.1 Aguas residuales domésticas.....	17
1.3.2 Aguas Residuales Industriales:	17
1.3.3 Aguas Pluviales:.....	17
1.3.4 Aguas Agrarias:	17
1.4 Parámetros o Propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.	17
1.4.1 Características físicas.....	17
1.4.1.1 Temperatura	17
1.4.1.2 Color.....	17
1.4.1.3 Olor.....	18
1.4.1.4 Turbidez	18
1.4.1.5 Sólidos.....	18
1.4.2 Características químicas.....	18
1.4.2.1 Materia orgánica.....	18
• DBO5 (Demanda biológica de oxígeno a los cinco días):	18

• DQO (Demanda bioquímica de oxígeno):	19
1.4.2.2 Materia inorgánica.....	19
• Oxígeno disuelto (OD):.....	19
1.4.3 Características biológicas.....	19
1.4.3.1 Bacterias	19
• Bacterias Anaerobias:.....	19
• Bacterias Aerobias:	20
• Bacterias Facultativas:.....	20
• Bacterias coliformes:.....	20
1.5 Tratamiento de las aguas residuales	21
1.5.1 Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR):	21
1.5.2 Principios de tratamiento de aguas residuales	21
1.5.2.1 Tratamiento Anaerobio	21
1.5.3 Degradación anaerobia de la materia orgánica	22
1.5.4 Diferentes sistemas de tratamiento anaerobio.....	23
1.5.4.1 UASB (Reactor Anaerobio de Cama de Lodos y Flujo Ascendente)	23
1.5.4.2 EGSB (Reactor Anaerobio de Cama de Lodo Granular Expandida)	23
1.5.4.3 AnMBR (Biorreactor Anaerobio de Membrana)	24
1.5.4.4 Reactor anaerobio de contacto	24
1.5.4.5 Digestión Anaerobia de Lodos	24
1.5.4.6 Tanque séptico.....	25
1.5.4.7 Tanque Imhoff.....	25
1.5.4.8 Lagunas anaerobias	25
1.6 Sistema de tratamiento del agua residual.	26
1.6.1 Niveles de Tratamiento:	26

1.6.1.1 Tratamiento preliminar o Pretratamiento:	26
• Rejillas:.....	26
• Tamizado:.....	26
1.6.1.2 Tratamiento primario.....	27
1.6.1.3 Tratamiento secundario	27
1.6.1.4 Tratamiento avanzado o terciario	28
1.7 Marco Legal	28
1.7.1 Normas colombianas Generales.....	28
1.7.1.2 Base legal para matadero.....	29
• Decreto número 1036 DE 1991.....	29
• Decreto número 2270 del 2012	29
• Decreto 1286 del 2016:	29
• Decreto Departamental 0064 de 2010:.....	29
• Ley 09 de 1979:.....	29
• Resolución 2905 de 2007:.....	29
1.7.1.3 Base legal para vertimientos de las aguas residuales	30
• Decreto 1594 de 1984:	30
• Decreto 2667 de 2012:	30
• La Resolución 0631 de 2015.....	30
1.7.1.4 Permisos ambientales	32
• Decreto 3930 de 2010	32
• Licencias Ambientales:	32
• Legislación Tasas Retributivas.....	32
Capítulo II	33
2 Mataderos	33

2.1 Etapas de un faenado.....	33
2.2 Construcción y Operación.....	36
2.2.1 Medición de nivel:	36
2.2.2 Adecuación del terreno:	36
2.2.3 Construcción e instalación de las unidades de tratamiento:.....	36
2.2.4 Impermeabilización:	36
2.2.4 Ubicación de los medios de soporte:	36
2.2.5 Instalación de mangueras y válvulas:	36
2.2.6 Aforo de caudal:.....	36
2.3 Clasificación según su capacidad de sacrificio	37
2.4 Valores característicos de efluente del matadero sin tratamiento	37
Capitulo III	38
3 Lagunas de estabilización:	38
3.1 Clasificación de lagunas y mecanismos.....	39
3.1.1 Lagunas de Oxidación:	40
3.1.2 Lagunas aeróbicas:.....	40
3.1.3 Lagunas anaeróbicas:	40
3.1.4 Lagunas facultativas:	42
3.1.5 Lagunas de maduración o pulimiento:.....	43
3.2 Procedimiento de Diseño del Proceso de un Sistema de Lagunas	43
3.2.1 Diseño de una laguna anaeróbica.....	45
3.3 Eficiencias de tratamientos de las aguas residuales.	46
3.3.1 Eficiencias de las lagunas de estabilización.....	46
Capitulo IV	48
4 Resultados de estudio	48

4.1 Antecedentes	48
Discusión.....	56
Conclusiones	57
Recomendaciones.....	58
Referencias	60

Lista de tablas

Tabla 1. Características de las aguas residuales y fuentes de origen.	20
Tabla 2. Objetivo de los procesos de pretratamiento.	27
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de (ARD) y (ARnD).....	30
Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en plantas de beneficio del ganado (mataderos).	31
Tabla 5. Clasificación de los mataderos según su capacidad de sacrificio	37
Tabla 6. Valores característicos de los vertidos de un matadero (sin depuración)	37
Tabla 7. Eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales (Expresado en porcentaje).	46
Tabla 8. Relación entre Temperatura, Tiempo de Retención Hidráulica, e Eficiencia en Lagunas Anaeróbica.	46
Tabla 9. Las principales ventajas y desventajas de los sistemas de lagunas de estabilización.	47

Lista de figuras

Figura 1. Composición típica de las aguas residuales. (Villacis Proaño, 2011).	16
Figura 2. La interacción de bacterias y algas en las zonas aeróbicas y anaeróbicas en una laguna facultativa de estabilización. (Stewart, 2005, p. 83).	40
Figura 3. Un diagrama de una laguna anaeróbica. (Stewart, 2005, p. 86).	41
Figura 4. Un diagrama de una laguna facultativa con la zona aeróbica, donde las algas consumen CO_2 y producen O_2 y la bacteria consume O_2 y produce CO_2 , y la zona anaeróbica donde los lodos acumulan y digieren, produciendo los gases de CO_2 y CH_4 . (Stewart, 2005, p. 91).	42

Resumen

En los países en vías de desarrollo, incluido Colombia, las descargas orgánicas provenientes de la actividad de los mataderos generan una considerable cantidad de aguas residuales ricas en proteínas, lípidos, fibras, y carbohidratos; además de altos niveles de contaminación en importantes fuentes de agua. Esta situación es especialmente difícil donde las limitaciones técnicas y económicas no permiten poner en funcionamiento medidas de manejo ambiental complejas que solucionen el problema de forma definitiva.

Numerosas tecnologías como la electrocoagulación, separación de membrana, la oxidación avanzada, procesos físico-químicos, y el tratamiento biológico se han implementado para disminuir efectos sobre la salud e impactos ambientales. Sin embargo, se tiene como objetivo proporcionar amplia información en el tratamiento biológico (anaeróbico) de aguas residuales de matadero específicamente lagunas de estabilización. Las ventajas de tratamiento anaeróbico son: Excelente eliminación de materia orgánica, baja producción de lodos, requerimiento de poca energía, y la producción considerable de biogás. Sin embargo, la selección de una tecnología en particular depende de las características de las aguas residuales, la tecnología disponible, y el cumplimiento de la normativa.

Palabras clave: Aguas residuales de matadero, eficiencia de remoción, lagunas de estabilización anaerobias, materia orgánica.

Abstract

In developing countries, including Colombia, organic discharges from slaughterhouse activity generate a considerable amount of wastewater rich in proteins, lipids, fibers, and carbohydrates; In addition to high levels of pollution in important water sources. This situation is especially difficult where technical and economic limitations do not allow the implementation of complex environmental management measures that solve the problem definitively.

Numerous technologies such as electrocoagulation, membrane separation, advanced oxidation, physical-chemical processes, and biological treatment have been implemented to reduce health effects and environmental impacts. However, it is intended to provide extensive information on the biological (anaerobic) treatment of slaughterhouse wastewater specifically stabilization ponds. The advantages of anaerobic treatment are: Excellent elimination of organic matter, low sludge production, low energy requirement, and considerable biogas production. However, the selection of a particular technology depends on the characteristics of the wastewater, the available technology, and compliance with the regulations.

Keywords: Slaughterhouse wastewater, removal efficiency, anaerobic stabilization lagoons, organic matter.

Introducción

Durante las últimas décadas la humanidad ha venido creando conciencia en lo referente a la contaminación del medio ambiente, el cambio climático y la protección del recurso hídrico, para así retribuir con la naturaleza el impacto tan grande que se ha generado a partir de las prácticas y tecnologías tradicionales. Es por esto que se ha buscado y puesto en marcha soluciones para mitigar y proteger nuestro entorno.

Como consecuencia de ello, el Ministerio del Medio Ambiente en conjunto con la Sociedad de Agricultores de Colombia y con el apoyo de Fedefondos, la Asociación Colombiana de Porcicultores, así como las Corporaciones Autónomas Regionales, formularon la Guía Ambiental para las plantas de beneficio del ganado. La comunidad y los mercados vienen exigiendo que se establezcan prácticas y procesos que protejan los recursos naturales y el medio ambiente, que preserven dichos recursos y aseguren una oferta de bienes de consumo limpios para las presentes y futuras generaciones. Por otra parte, se genera una considerable cantidad de aguas residuales de los mataderos, como resultado del sacrificio, procesamiento de carne, y limpieza del equipo. Por lo tanto, se requiere la mitigación adecuada antes de su disposición final de descarga en las alcantarillas, suelo, e incluso fuente de aguas directamente. (Guerrero & Ramirez, 2004)

Las centrales de sacrificio en Colombia enfrentan una seria problemática ambiental: el 99% de los mataderos no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado; el 93% vierte sus aguas residuales directamente a un cuerpo de agua, al alcantarillado o a campo abierto; el 84% vierte el contenido ruminal directamente a los cuerpos de agua o en campo abierto, el 33% no hace en lo absoluto ningún uso de la sangre resultante de los procesos de sacrificio y faenado, y el 57% no cuenta con rubro presupuestal propio. (Chaux, Rojas, & Bolaños, 2009, p. 103).

Los mataderos generan grandes cantidades de desechos líquidos siendo la principal fuente de contaminación de las aguas residuales, emitiendo olores muy desagradables. Todos los

efluentes, contienen orina, sangre, estiércol, pelos, huesos, grasas, proteínas y otros contaminantes solubles.

Sin embargo, La normatividad colombiana exige un tratamiento de estos desechos antes de ser destinados a cuerpos de agua o a sistemas de alcantarillado. La Resolución 0631 de 2015 reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010 y actualiza el Decreto 1594 de 1984 (vigente desde hace 30 años) respondiendo a la nueva realidad urbana, industrial y ambiental del país.

Las autoridades ambientales son las responsables de hacer un seguimiento y control al cumplimiento de esta Resolución a través de los permisos de vertimientos sobre quienes desarrollen actividades de sacrificio y/o beneficio (mataderos) y que en el desarrollo de las mismas generen aguas residuales que son vertidas sobre cuerpos de agua superficiales o al alcantarillado público. (Colombia. Congreso de la Republica., 2015).

Ahora bien, los métodos de tratamiento del agua residual en mataderos se pueden dividir en dos grupos: métodos anaerobios y métodos aerobios.

Los tratamientos anaerobios permiten un alto grado de reducción de la materia orgánica debido a que estas lagunas son las que tienen la capacidad de soportar más carga; producen una menor cantidad de lodos y permiten la obtención de biogás que puede ser reutilizado en el propio matadero; los tratamientos aerobios ayudan a la transformación del nitrógeno orgánico y amoniacal en nitrato y no generan fuertes olores como los anaerobios. Sin embargo, los que generan menores costos y al mismo tiempo pueden proporcionar eficiencias de tratamiento muy altos generando un efluente altamente purificado son los procesos anaerobios, por esta razón hacen que estos sean una opción más adecuada. (Chaux, Rojas, & Bolaños, 2009).

Por esta razón uno de los objetivos es evaluar la eficiencia en la implementación de lagunas anaerobias como tratamiento biológico para la remoción de materia orgánica y demás contaminantes que se generan en una industria de benéfico (matadero).

Objetivos

Objetivo general

- Evaluar la remoción de materia orgánica en el tratamiento de aguas residuales industriales provenientes de matadero por medio de lagunas de estabilización anaerobias.

Objetivos específicos

- Analizar el porcentaje de remoción de DQO, DBO, SS, patógenos a partir de sistemas de lagunas de estabilización.
- Identificar los problemas sanitarios que se presentan en las plantas de sacrificios.
- Evaluar la viabilidad ambiental y económica del sistema de tratamiento propuesto para el manejo de los vertimientos derivados del proceso de faenado.
- Determinar el grado de contaminación de las aguas residuales producidas por mataderos.

Capítulo I

1. Marco teórico

1.2 Generalidades de las aguas residuales

Las aguas residuales son generadas por actividades de los seres humanos y se desarrollan en residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Se define como aguas que se descargan después de haber sido usadas en un proceso. De la misma forma los contaminantes que describen el agua residual son generalmente una mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos. A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado. (Villacis Proaño, 2011).

En general, las aguas residuales contienen aproximadamente un 99.9% de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas. (Rojas, 2002).

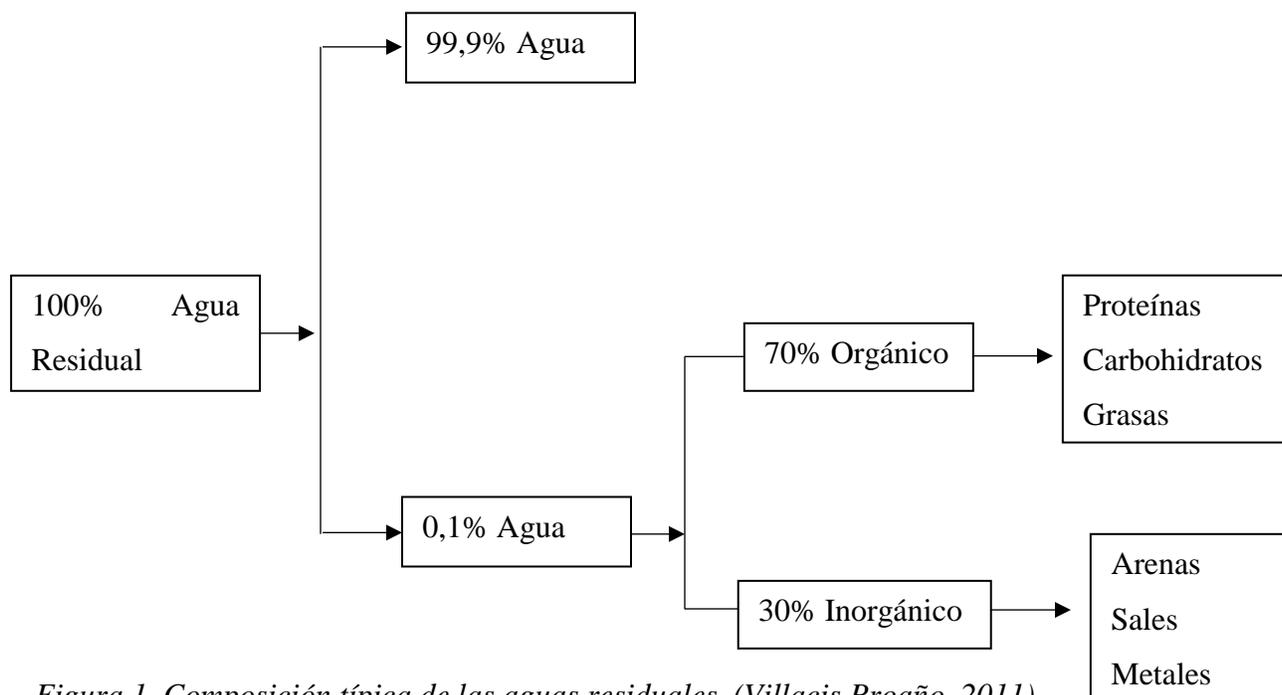


Figura 1. Composición típica de las aguas residuales. (Villacis Proaño, 2011).

1.3 Clasificación según su origen:

De acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

1.3.1 Aguas residuales domésticas: Son desechos Líquidos Provenientes de viviendas, Instituciones y establecimientos comerciales. Se originan como consecuencia de las distintas actividades que Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos cómo, (lavado de vajillas, desechos humanos, grasas, etc.). Es una fuente de agua indirecta, contaminada, dada su procedencia. También son conocidas como aguas negras. (Alvaro, 2013).

1.3.2 Aguas Residuales Industriales: Proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales, dependiendo de las diferentes actividades industriales pueden contener aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. (Amador, Veliz, & Bataller, 2015).

1.3.3 Aguas Pluviales: Son las aguas de la escorrentía superficial, provocada por las precipitaciones atmosféricas (lluvia, nieve, granizo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. Parte de esta agua es drenada y otro escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo. (Buenaventura & Rojas, 2010).

1.3.4 Aguas Agrarias: Son aguas procedentes de actividades agrícolas y ganaderas. La denominación de aguas agrarias se debe reservar a las procedentes exclusivamente de la actividad agrícola, aunque está muy generalizada (impropiamente) su aplicación también a las procedentes actividades ganaderas. La contaminación de las aguas agrarias es muy importante, perjudicando sensiblemente las características del cauce o medio. (Becerra & Pulido, 2014).

1.4 Parámetros o Propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.

1.4.1 Características físicas

1.4.1.1 Temperatura

“Parámetro básico para el funcionamiento adecuado de los sistemas de tratamiento en su fase secundaria (tratamiento biológico)”. (Villacis Proaño, 2011, p. 196).

1.4.1.2 Color

“Determina cualitativamente el tiempo de las aguas residuales. Las aguas residuales recientes toman un color gris, en cambio en períodos prolongados de conservación, las aguas

residuales se tornan de color negro (ausencia de oxígeno, proliferación de microorganismo anaeróbico)". (Cerón, Madera, & Peña, 2015, p. 106).

1.4.1.3 Olor

Los olores son debidos a los gases liberados durante procesos de descomposición de la materia orgánica. Estos tienen relación directa con la concentración de materia orgánica presente en aguas contaminadas y el entorno de degradación en que se descompone (entorno anaeróbico genera sulfuro de hidrogeno, componente característico de olores sépticos). (Sánchez & Matsumoto, 2012, p. 14).

1.4.1.4 Turbidez

Se debe a la cantidad de materias en suspensión que hay en las aguas residuales (limo, materia orgánica y microorganismos). Esta turbidez, en las masas de aguas receptoras, afecta a la penetración de la luz, lo que redundaría en una menor productividad primaria. (Muñoz, 2005).

1.4.1.5 Sólidos

Existen diferentes tipos de sólidos que se encuentran en las aguas negras. Los sólidos totales son aquellos que se quedan después de evaporar toda el agua; los sólidos disueltos son las moléculas orgánicas e inorgánicas; los sólidos en suspensión, los retiene el decantador y pueden diferenciarse en sedimentables (se separan por sedimentación) y no sedimentables (coloides). Eventualmente aparecen en la superficie de las lagunas anaeróbicas sólidos flotantes, que son producidos por el desprendimiento del metano en el fondo de la laguna. (Moret, 2014).

1.4.2 Características químicas

1.4.2.1 Materia orgánica

Es importante este parámetro porque puede generar la desoxigenación, y consecuentemente la muerte de seres aeróbicos en los cuerpos de agua receptores. Las formas de denominaciones más conocidas, son:

- *DBO5 (Demanda biológica de oxígeno a los cinco días)*: Es la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable durante cinco días y a 20°C y corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica. (Rojas, 2002).

- *DQO (Demanda bioquímica de oxígeno)*: Cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente toda la materia orgánica contenida en la muestra de agua. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante en medio ácido (dicromato potásico). El ensayo debe realizarse a temperatura elevada. Los valores de DQO de un agua residual son, por lo general, mayores que la DBO porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente. (Moret, 2014).

1.4.2.2 Materia inorgánica

- *Oxígeno disuelto (OD)*: Indica el grado de contaminación de un agua. Es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida aerobia. El oxígeno es solo ligeramente soluble en el agua. (Espigares García & Pérez López, 2009).
- *pH*: El pH es un indicador de la concentración del ion hidrógeno, es un parámetro importante de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales. El valor óptimo para el crecimiento de los organismos oscila entre 6,5 y 7,5. Si no se encuentra entre dichos valores, puede que sea más difícil el tratamiento por medios biológicos. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales. (Espigares García & Pérez López, 2009).

1.4.3 Características biológicas

Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden llevar en su cavidad gran cantidad de organismos. También influyen en su presencia la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse. (Caldera, Gutiérrez, Luengo, Chávez, & Ruesga, 2010).

1.4.3.1 Bacterias

Los organismos más importantes en la descomposición y estabilización de la materia orgánica se clasifican como cocos, bacilos, vibriones, espiroquetas y filamentosas.

- *Bacterias Anaerobias*: Son aquellas que consumen el oxígeno procedente de los sólidos orgánicos.

- *Bacterias Aerobias*: Son aquellas que necesitan oxígeno del agua para poder alimentarse y respirar, a éstas les sirve el oxígeno libre del agua (molecular) proveniente del oxígeno disuelto (OD).
- *Bacterias Facultativas*: Son aquéllas que pueden adaptarse a ambos medios.
- *Bacterias coliformes*: Estas sirven como indicadores de contaminación y patógenos.

En resumen, las características de las aguas residuales según fuentes de origen son:

Tabla 1. Características de las aguas residuales y fuentes de origen.

Propiedades físicas	Origen
Sólidos	Suministro de agua, residuos industriales y domésticos
Temperatura	Residuos industriales y domésticos
Color	Residuos industriales y domésticos
Olor	Descomposición de residuos líquidos
Propiedades químicas	Origen
Orgánicos	
Proteínas	Residuos comerciales y domésticos
Carbohidratos	Residuos comerciales y domésticos
Aceites y grasas	Residuos comerciales, industriales y domésticos
Tenso-activos	Residuos industriales y domésticos
Fenoles	Residuos industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Inorgánicos	
pH	Residuos industriales
Cloruros	Suministro de agua, residuos industriales e infiltraciones
Nitrógeno	Residuos agrícolas y domésticos
Fósforo	Residuos agrícolas, industriales y domésticos
Azufre	Suministro de agua y residuos industriales
Tóxicos	Residuos industriales
Metales pesados	Residuos industriales
Gases	
pH	Suministro de agua e infiltraciones
Cloruros	Residuos domésticos
Nitrógeno	Residuos domésticos
Propiedades biológicas	Origen
Virus	Residuos domésticos
Bacterias	Residuos domésticos
Protozoarios	Residuos domésticos
Nematodos	Residuos domésticos

Fuente: (Rojas, 2002, p. 7).

1.5 Tratamiento de las aguas residuales

Es el conjunto de actividades y operaciones de tipo físico, químico o biológico, cuyo principal objetivo es la remoción o eliminación de la contaminación en el agua, generados por vertimientos industriales, de uso doméstico o naturales. (Benavides, 2006). Simultáneamente el propósito es velar por la salud pública y evitar efectos negativos provocados por la descarga del agua residual al medio ambiente; haciendo énfasis en la determinación y eliminación de las sustancias contaminantes y compuestos de traza que pueden ser responsables de problemas sanitarios a largo plazo. (Rojas Gutiérrez, Rivas, & Orjuela Zamora, 2007, p. 46).

1.5.1 Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): Es un sistema en el cual intervienen varios dispositivos de acuerdo con parámetros establecidos, cuyo fin es proporcionar al medio ambiente un proceso claro y limpio. (Rojas Gutiérrez, Rivas, & Orjuela Zamora, 2007, p. 69).

1.5.2 Principios de tratamiento de aguas residuales

- Tratamientos Aerobios.
- Tratamientos Anaerobios.

Debido a la investigación nos vamos a centrar en los tratamientos anaerobios.

1.5.2.1 Tratamiento Anaerobio

Los tratamientos anaerobios consisten en procesos de transformación de la materia orgánica, donde al no haber presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. Muchos de los tratamientos anaerobios no requieren sedimentación primaria, pero se hace conveniente remover previamente el material inerte y la arena del proceso con el fin de evitar acumulaciones en el lodo, lo cual desplaza biomasa. (Becerra & Pulido, 2014, p. 33).

El tratamiento anaerobio es aquel en el cual se degrada la materia orgánica por medio de Microorganismos que trabajan en ambientes con ausencia total de Microorganismos Aerobios oxígeno, generando como productos finales metano, materia celular y dióxido de carbono. (Becerra & Pulido, 2014, p. 32).

En forma general el tratamiento anaerobio se caracteriza porque puede eliminar fácilmente picos de concentración de materia orgánica, sin que esto repercuta en la estabilidad de

su operación. La eficiencia de este tipo de tratamiento esta entre “70 y 90% de reducción en términos de la DQO y entre un 75 y 95% de reducción en términos de la DBO. (Cansino & Martínez, 2016).

1.5.3 Degradación anaerobia de la materia orgánica

La degradación de la materia orgánica requiere de la intervención cuatro tipos de bacterias en cuatro pasos de transformación:

El proceso inicia con la hidrólisis, donde se realiza la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles como polisacáridos, proteínas y lípidos, por la acción de enzimas extracelulares producidas por las bacterias hidrolíticas. Los productos que resultan de esta reacción son compuestos más sencillos y solubles en agua como los azúcares, ácidos grasos, aminoácidos, y alcoholes. Esta etapa se hace fundamental para proveer los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de las etapas siguientes.

Posteriormente sigue el proceso de fermentación Ácida (acidogénesis), donde los compuestos orgánicos más sencillos provenientes del proceso anterior, son utilizados por las bacterias fermentativas, las cuales generan ácidos orgánicos de cadena corta, tales como ácido acético ($\text{CH}_3\text{-COOH}$), propiónico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) y butírico ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$). Hay una gran variedad de bacterias capaces de efectuar la etapa de formación de ácidos, y además esta conversión ocurre con gran rapidez.

En seguida se realiza el proceso de acetogenesis, en donde los productos de la fermentación del proceso anterior se convierten a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias acetogénicas.

Finalmente se concluye con el proceso de metanogénesis, en donde una vez formados los ácidos orgánicos y acetato, las bacterias metanogénicas los convierte en metano y dióxido de carbono. En esta fase es donde se consigue la eliminación de la materia orgánica, ya que los productos finales no contribuyen a la DBO5 o DQO del medio. (Álvarez, Vega, Pérez, Bermúdez, & Rodríguez, 2012, p. 35).

1.5.4 Diferentes sistemas de tratamiento anaerobio

1.5.4.1 UASB (Reactor Anaerobio de Cama de Lodos y Flujo Ascendente)

Corresponde a Lettinga el desarrollo de este reactor que por su simplicidad se ha difundido en varios países. Su gran ventaja consiste en que no requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa, lo que implica un ahorro importante. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos o flóculos. Estos granos o flóculos cuentan además con una actividad metanogénica, muy elevada, lo que explica los buenos resultados del proceso. El reactor es de flujo ascendente y en la parte superior cuenta con un sistema de separación gas líquido- sólido, el cual evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas y la decantación de los flóculos que eventualmente llegan a la parte superior del reactor. Un punto importante en su diseño es la distribución de las entradas del agua residual, ya que una mala repartición puede provocar que ciertas zonas del manto de lodos no sean alimentadas, desperdiciando así su actividad. Esto es particularmente cierto en las aguas residuales municipales, pues la limitada materia orgánica presente forma sólo pequeñas cantidades de biogás y por tanto la agitación del lecho, provocada por las burbujas, se ve reducida. El punto débil del proceso consiste en la lentitud del arranque del reactor (generalmente de 6 meses); por otro lado, en desagües diluidos como son las aguas residuales domésticas, las variables críticas de diseño son las hidráulicas (velocidad ascensional, velocidad de paso a través del separador de fases, dispositivos de entrada y salida) y no así la carga orgánica. (Contreras Osorio, 2007, p. 22).

1.5.4.2 EGSB (Reactor Anaerobio de Cama de Lodo Granular Expandida)

Variante del reactor UASB, generalmente alto y de diámetro pequeño, requiriendo así un área reducida. Un rasgo que lo distingue del proceso UASB, es la proporción más rápida de velocidad del flujo ascendente, permitiendo la expansión parcial (fluidización) de la cama de lodo granular, mejorando de esta manera el contacto entre agua residual-lodo, así como la segregación de las partículas suspendidas inactivas de la cama de lodos, lo cual se consigue utilizando reactores altos, o incorporando en el efluente un recycle (o ambos). Es apropiado para el tratamiento de agua residual de baja carga soluble, es decir, que contenga partículas suspendidas inertes o pobremente biodegradables, pero sin permitir que estas partículas aumenten en la cama de lodos. (Almeida Oñate, 2013, p. 31).

1.5.4.3 AnMBR (Biorreactor Anaerobio de Membrana)

Los biorreactores anaerobios de membranas combinan los procesos anaerobios de degradación de materia orgánica con un sistema físico de separación por membranas. El objetivo principal de esta combinación es minimizar el volumen de reacción necesario. El proceso de separación física por membranas se destaca por tener una elevada capacidad de retención de sólidos y como resultado el efluente obtenido se caracteriza por una concentración despreciable de sólidos, y en algunos casos exento de bacterias y de patógenos, en función del tamaño de poro de la membrana empleada. Mediante la utilización de membranas es posible incrementar el tiempo de retención celular sin necesidad de incrementar el volumen del reactor. Gran parte de los Microorganismos quedan confinados dentro del sistema, proporcionando un control perfecto de su tiempo de permanencia en el reactor y una alta calidad en el efluente obtenido. Además, esta elevada retención de sólidos permite crecimientos de diversas especies de Microorganismos no comunes, ya que a pesar de que no formen flóculos, no son lavados con el efluente como ocurre en las tecnologías basadas en la separación por gravedad. Este hecho aumenta las posibilidades de aplicación de esta tecnología para una gran diversidad de aguas residuales, incluso con contaminantes persistentes o difíciles de degradar. (Durán Pinzón, 2013, p. 12).

1.5.4.4 Reactor anaerobio de contacto

Este reactor fue desarrollado para el tratamiento de aguas residuales con tiempos de retención más bajos y con edades de lodos prolongados, es un reactor de mezcla completa que luego de pasar por un decantador, separa líquidos y sólidos permitiendo el reciclado de una parte de la biomasa, la utilización de este sistema se ve condicionada para aguas con una alta tasa de carga orgánica, para que sea posible la separación de Microorganismos en fase líquido sólido y la recirculación de una parte. (Almeida Oñate, 2013, p. 44).

1.5.4.5 Digestión Anaerobia de Lodos

Proceso en ausencia de oxígeno. Comprende diversas fases en las que se forman ácidos volátiles para luego ser degradados y producir biogás con una concentración en metano elevada y dióxido de carbono. Se deberán alcanzar las mismas condiciones que la digestión termófila aerobia, 55 grados durante 4 horas después de la última adición de fango. Con ellas, se asegura la fermentación completa de la materia orgánica y la eliminación de la mayor parte de los organismos patógenos.

El proceso se lleva a cabo en un digestor completamente cerrado y los fangos se introducen en él de forma continua o intermitente, permaneciendo en el interior durante tiempos de residencia de entre 15 y 20 días.

La temperatura es el parámetro de control del proceso más importante, ya que un valor óptimo supone una actividad óptima y con ello mejores rendimientos. El 90% de las plantas de digestión anaerobia para la estabilización de los fangos lo hacen en condiciones mesófilas, es decir, entre 35 y 40 grados. (Rodríguez Antolín, 2019, p. 12).

1.5.4.6 Tanque séptico

El tanque séptico puede ser entendido como una cámara hermética, generalmente rectangular, que facilitará la descomposición de la materia orgánica y propenderá por la separación de la misma a través de sus procesos de retención de espumas, sedimentación de sólidos y almacenamiento de lodos, por la acción de bacterias presentes en la naturaleza del vertimiento, como consecuencia hay una transformación de la materia y se genera gas, lodos y líquidos. Este tipo de sistema funciona muy bien si es complementado por el filtro anaerobio. Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de una vivienda o conjunto de viviendas que combina la separación y digestión de lodos. (Durán Pinzón, 2013, p. 42).

1.5.4.7 Tanque Imhoff

El tanque imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Para comunidades de 5000 habitantes o menos, los tanques imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y a digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se les llama tanques de doble cámara (Organización panamericana de la salud, 2005).

Los tanques imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado remoción de arena. (Vela Rios, 2018, p. 12).

1.5.4.8 Lagunas anaerobias

Este tipo de tratamiento, consiste en una laguna artificial en la que, debido a las cargas orgánicas elevadas, imperan condiciones de ausencia de oxígeno. La profundidad para este tipo de lagunas oscila entre 3 a 5 metros, con tiempos de retención cortos de 2 a 3 días. Estas lagunas además trabajan de forma óptima en lugares con climas calientes, tropicales y subtropicales,

decido a que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son elementos claves para la eficiencia en los procesos de degradación.

Su objetivo principal consiste en la reducción de la materia orgánica en el agua residual en un 50%, así como la disminución del contenido de sólidos en suspensión en un 60%, los cuales se incorporan en la capa de fangos que se acumulan en el fondo de esa; estos lodos son extraídos cada 5 a 10 años de operación, ya que la estabilización anaerobia a una temperatura ambiente reduce el volumen de lodos y genera un elevado grado de mineralización.

1.6 Sistema de tratamiento del agua residual.

1.6.1 Niveles de Tratamiento:

Son los procesos y operaciones que se combinan y complementan para dar lugar a diversos niveles de tratamiento de las aguas, es decir, la determinación del nivel de tratamiento necesario antes de reutilizar o verter las aguas residuales al medio ambiente. (Rodríguez Antolín, 2019, p. 21). A partir de ello, y basándose en consideraciones fundamentales, es posible agrupar las diferentes operaciones y procesos necesarios para alcanzar dicho nivel de tratamiento en las siguientes etapas: (Rojas Gutiérrez, Rivas, & Orjuela Zamora, 2007, p. 32).

1.6.1.1 Tratamiento preliminar o Pretratamiento: Destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables. Es la primera operación a la que se someten los residuos líquidos. Consiste en retener los sólidos y grasas que arrastra el agua y que podrían por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de las plantas de tratamiento.

- *Rejillas:* Su propósito es retener la mayor cantidad de sólidos gruesos y la remoción de cuerpos flotantes del agua para que no lleguen al sistema de tratamiento y aumente la efectividad del mismo. Constituido por un doble sistema de rejillas, las primeras con barrotes separados entre 50 y 100 mm y las segundas con una separación entre 2 a 40 mm o más. La limpieza puede ser en forma manual o mecánica.
- *Tamizado:* Permite la separación de partículas de menor tamaño que atravesaron los sistemas de rejillas. Consta de un tamiz fijo con 3 pendientes diferentes cuya

función es retener la mayor cantidad de partículas grasas del efluente permitiendo el pasaje del agua. Está compuesto por una malla de acero inoxidable, un tanque receptor del efluente desde donde el mismo cae en forma de cascada sobre el tamiz, un receptor de líquido residual con descarga al canal y un receptor de sólidos con descarga a destino final. (Benavides, 2006, p. 18).

*Tabla 2.
Objetivo de los procesos de pretratamiento.*

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Trampa de Grasas	Eliminación de aceites y grasas
Pre-aeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico

Fuente: (Rojas, 2002, p. 12).

1.6.1.2 Tratamiento primario

Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia que incomoda, sino también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos. Entre los tipos de tratamiento primario se citan:

- Sedimentación primaria.
- Flotación.
- Precipitación química.
- Filtros gruesos.
- Oxidación química.
- Coagulación, floculación, sedimentación y filtración. (Rojas, 2002).

1.6.1.3 Tratamiento secundario

La reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua residual, acondicionada previamente mediante tratamiento primario, se realiza exclusivamente por procesos biológicos. Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de

decantación. Los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento. Asimismo, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización y aeradas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85% al 95%, y están compuestos por:

- Filtración biológica: filtros clásicos, Filtros comunes, Biofiltros, Aero-filtros.
- SBR (Reactor Secuencial por Lotes).
- Lodos activados: Convencional, Alta capacidad, Contacto estabilización, Aeración prolongada.
- Lagunas Estabilización: Aerobia, anaerobia, Facultativa, Maduración. (Almeida Oñate, 2013).

1.6.1.4 Tratamiento avanzado o terciario

Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. Las sustancias o compuestos comúnmente removidos son: (Rojas, 2002, p. 14).

- Fosfatos y nitratos.
- Huevos y quistes de parásitos.
- Sustancias tenso activas.
- Algas.
- Bacterias y virus (desinfección).
- Radionúclidos.
- Sólidos totales y disueltos.
- Temperatura.

1.7 Marco Legal

1.7.1 Normas colombianas Generales

A continuación, se señalan algunas de los lineamientos legales en relación con el objetivo de estudio de la monografía.

1.7.1.2 Base legal para matadero.

- *Decreto número 1036 DE 1991:* De los mataderos de animales de abasto público, distintos de los de aves, y su funcionamiento.

El Ministerio de Salud podrá autorizar el funcionamiento de los mataderos de animales para consumo humano para una o más especies y señalar las condiciones en que puedan llevarse a cabo las distintas clases de operaciones y procedimientos. (Colombia. Congreso de la República., 1991).

- *Decreto número 2270 del 2012:* Por el cual se modifica el Decreto 1500 de 2007, modificado por los Decretos 2965 de 2008, 2380, 4131,4974 de 2009, 3961 de 2011, 917 de 2012 y se dictan otras disposiciones.

Se estableció el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos, destinados para el Consumo Humano y se fijaron los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación. (Colombia. Congreso de la República., 2012).

- *Decreto 1286 del 2016:* Por el cual se establece el trámite para la obtención de la autorización sanitaria provisional y se dictan otras disposiciones. (Colombia. Congreso de la República., 2016).
- *Decreto Departamental 0064 de 2010:* Adopta el Plan de Racionalización de Plantas de Beneficio Animal -PRPBA - del Departamento de Cundinamarca.
- *Ley 09 de 1979:* Por la cual el ministerio de salud dicta el código sanitario nacional; haciendo énfasis directo en lo que concierne al proyecto, en los artículos 10 al 21, del control sanitario de los residuos líquidos, y del artículo 307 al 338, que trata de cómo debe realizarse la inspección ante mortem, el sacrificio y la inspección post mortem. (Becerra & Pulido, 2014, p. 48).
- *Resolución 2905 de 2007:* Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios y de inocuidad de la carne y productos cárnicos comestibles de las especies bovina y bufalina destinados para el consumo humano y las disposiciones para su beneficio, desposte, almacenamiento, comercialización,

expendio, transporte, importación o exportación. Enfatizando en el capítulo II plantas de beneficio y desposte; el artículo 7 requisitos para los sistemas de drenajes y el artículo 11 requisitos para el manejo de residuos líquidos y sólidos.

1.7.1.3 Base legal para vertimientos de las aguas residuales

- *Decreto 1594 de 1984*: El cual estipula usos del agua y residuos líquidos. Para el presente proyecto enfatizaremos en el Capítulo VI: del vertimiento de residuos líquidos, normas de vertimiento, los artículos: 72 (Vertimiento a un cuerpo de agua, carga máxima permisible).
- *Decreto 2667 de 2012*: Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
- *La Resolución 0631 de 2015*: reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010 y actualiza el Decreto 1594 de 1984 (vigente desde hace 30 años) respondiendo a la nueva realidad urbana, industrial y ambiental del país.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de (ARD) y (ARnD).

Parámetros Generales	unidades	(ARD) DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	(ARD), Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD – ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 kg/DÍA DBO5
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
(DQO)	mg/L O2	200	180
(DBO5)	mg/L O2		90
(SST)	mg/L	100	90
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	5	5
Grasas y Aceites	mg/L	20	20

Fuente: (Colombia. Congreso de la Republica., 2015, p. 7).

Las autoridades ambientales son las responsables de hacer un seguimiento y control al cumplimiento de esta Resolución a través de los permisos de vertimientos sobre quienes desarrollen actividades de sacrificio y/o beneficio (mataderos) y que en el desarrollo de las mismas generen aguas residuales que son vertidas sobre cuerpos de agua superficiales o al alcantarillado público. (Colombia. Congreso de la Republica., 2015).

Esta permite el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades productivas presentes en ocho sectores económicos del país. Esta Resolución es de obligatorio cumplimiento para todas aquellas personas que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicios y que en el desarrollo de las mismas generen aguas residuales, que serán vertidas en un cuerpo de agua superficial o al alcantarillado público. (Colombia. Congreso de la Republica., 2015).

Tabla 4.

Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en plantas de beneficio del ganado (mataderos).

PARÁMETRO	UNIDADES	BOVINO, BUFALINO, EQUINO Y CAPRINO	PORCINOS	AVES DE CORRAL
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	500,00	800,00	650,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	250,00	450,00	300,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	150,00	200,00	100,00
Grasas Y Aceites	mg/L	20,00	30,00	40,00
pH	pH	6,00 – 9,00	6,00 – 9,00	6,00 – 9,00

Fuente: (Colombia. Congreso de la Republica., 2015, p. 11).

1.7.1.4 Permisos ambientales

- *Decreto 3930 de 2010:* Por el cual se establecen las disposiciones relacionadas con los usos, ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al suelo, al recurso hídrico y a los alcantarillados. Específicamente en el Capítulo VII: De la obtención de los permisos de vertimiento y planes de cumplimiento, en el artículo 41 se estipula como necesario el trámite de permiso de vertimiento cuando la actividad desarrollada los genere, en aguas superficiales, marinas o al suelo.
- *Licencias Ambientales:* Decreto 1180 de 2003.
- *Legislación Tasas Retributivas:* Decreto 901 de 1997. La utilización directa o indirecta de los ríos, arroyos, lagos y aguas subterráneas para introducir o arrojar en ellos desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen y sustancias nocivas que sean resultado de actividades lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas del servicio de eliminación o control de las consecuencias de las actividades nocivas expresadas. Dichas tasas serán pagadas semestralmente en los términos del presente Decreto. (Rojas Gutiérrez, Rivas, & Orjuela Zamora, 2007, p. 166).

Capítulo II

2 Mataderos

La finalidad de un matadero es producir carne preparada de manera higiénica mediante la manipulación humana de los animales en lo que respecta al empleo de técnicas higiénicas para el sacrificio de los animales y la preparación de canales mediante una división estricta de operaciones limpias y sucias. Y al mismo tiempo facilitar la inspección adecuada de la carne y el manejo apropiado de los desechos resultantes, para eliminar todo peligro potencial de que carne infestada pueda llegar al público o contaminar el medio ambiente.

Examen de los tipos de mataderos, los mataderos se pueden clasificar en los tipos siguientes:

1. De la administración pública local (municipal).
2. Cooperativas de productores.
3. Empresa comercial privada.
4. Órgano paraestatal encargado de la facilitación regional/nacional de los servicios necesarios. (Cerón, Madera, & Peña, 2015).

2.1 Etapas de un faenado

Según **Becerra L. F, y Diaz J. C.** en el 2014 en su investigación “diseño de un sistema de tratamiento para los vertimientos generados en la “planta de sacrificio de ganado de oriente” del municipio de Choachí (Cundinamarca)” sus diferentes etapas son:

- **Recepción del ganado:** los animales llegan a la planta de sacrificio y se conducen a los corrales de recepción, donde son separados por lotes para luego ser enviados a los corrales de espera.
- **Cuarentena:** en los corrales de espera los animales permanecen por un periodo de doce a veinticuatro horas de antelación al sacrificio; lo anterior con el fin de reducir la tensión en los tejidos musculares y el nivel de estrés generado por el viaje ya que el efecto de cansancio produce menos acidez en el musculo y por consiguiente se presenta mayor riesgo de contaminación microbiana en la carne.

Además, durante la estancia del animal en el corral, no se le suministra alimentos para reducir el rumen y estiércol que estos generan, por lo que solamente se les suministra agua para que beban y se refresquen mediante métodos de aspersion.

- **Inspección ante-mortem:** posteriormente se realiza una verificación sanitaria previa al sacrificio por parte de un veterinario, donde este tendrá en cuenta factores como la salud del animal y el reposo de este, para poder dictar el destino de cada uno ya sea sacrificio si el animal se encuentra clínicamente sano o decomiso si es detectado algún problema de salud como brucelosis, aftosa, fiebre, entre otras enfermedades que disminuyen la calidad de la carne, por lo que los animales son sacrificados y enviados a incineración.
- **Lavado ante-mortem:** Antes del ingreso del animal al proceso de faena, este recibe un baño. La importancia sanitaria de realizar el baño de los animales antes de sacrificarlos radica en que este proceso reduce o elimina la suciedad presente en el cuerpo ya sea por restos de estiércol, orina, ectoparásitos; garantizando la higiene para las posteriores etapas del faenado.
- **Aturdimiento:** La finalidad del aturdimiento es que el animal quede inmóvil e inconsciente antes del sacrificio, evitando el sufrimiento y estrés excesivo, siendo además la forma más segura y adecuada para el operario de la planta. con este método el animal se insensibiliza con una pistola neumática, la cual requiere de aire y de energía eléctrica para el funcionamiento de los compresores; permitiendo una excelente sangría al momento de ser degollado.
- **Izado:** Tras el aturdimiento, el animal es sujetado de sus extremidades posteriores con un gancho y es izado a un riel, para ser colgado durante el proceso de faena. La importancia del izado radica en evitar la contaminación al realizar el proceso de faena en el piso, o en camas para este fin, además ayuda a eliminar la mayor parte de parásitos y gérmenes presentes en la piel.
- **Degüelle y desangrado:** Con el animal en el riel, se procede al proceso de desangrado, donde el animal muere por hemorragia masiva a nivel yugular por un corte profundo en el cuello. “El desangrado normalmente dura seis minutos, y la cantidad media de sangre por bovino es de 10 a 12 litros”.

Posteriormente son cortadas las patas anteriores; es desprendida la piel junto a orejas y finalmente es cortada la cabeza, donde se libera parte del contenido ruminal del esófago y restos de sangre.

Con las patas anteriores y cabeza separadas, el animal entra en el proceso de faenado, donde se le cortan las áreas exteriores del recto y genitales.

- **Desollado:** mediante el uso de máquinas de esmeril, se remueve la piel del animal, comenzando por las extremidades inferiores hasta llegar a la parte frontal del canal. Una vez terminado el proceso, se procede al corte de las patas posteriores del animal
- **Eviscerado:** En esta etapa se procede a cortar el esternón y resto de cavidad abdominal con el fin de extraer los órganos contenidos en estos. Para evitar la contaminación del canal, se debe evitar el corte en los órganos digestivos; estos órganos se conocen también como viseras, las cuales son lavadas con el fin de realizar una inspección para conocer su estado y determinar su destino; en dado caso que no cumplan con los requisitos, son rechazadas y retiradas como residuos.
- **Corte de la canal:** para el corte de la canal se dividen las canales al realizar un corte sagital con sierra neumática, seguidamente se hace una revisión de estas para posteriormente ser lavadas con agua en cabina de aspersion, donde además se subdividen en plano transversal obteniendo medias canales y así separar huesos vertebrados.
- **Almacenamiento y refrigeración:** cuando se encuentra lista la carne, subproductos y canales para ser entregados, estos se almacenan en refrigeradores a temperatura que no supera los 7°C con el fin de asegurar la calidad e higiene de la carne y disminuir la proliferación bacteriana. “En promedio, el peso del ganado vacuno faenado es de 250– 400 kilogramos, dependiendo de la raza y la edad del animal, y puede llegar a alcanzar 600 kilogramos o más. En la faena, aproximadamente el 3% de este peso se obtiene en la forma de sangre”. (Becerra & Pulido, 2014, p. 21).

2.2 Construcción y Operación

2.2.1 Medición de nivel: Para poder ubicar el sistema y para garantizar que el flujo sea por gravedad, es necesario medir la altura a la cual debe estar cada una de las unidades de tratamiento empleando una manguera plástica transparente, con un diámetro de 1/4".

2.2.2 Adecuación del terreno: Luego de tener el sitio de ubicación de cada unidad, se disminuye la pendiente del terreno para continuar con su instalación.

2.2.3 Construcción e instalación de las unidades de tratamiento: El material utilizado para las unidades de trampa grasas, sedimentador y RFP, fue polietileno de 3 mm de espesor y para el UASB se utilizó material de PVC. Se hizo soportes en madera para cada unidad.

2.2.4 Impermeabilización: Para evitar fugas e infiltraciones, se llevó a cabo la impermeabilización de cada unidad utilizando para ello diversos materiales (silicona, cemento y soldadura para PVC) y se realizaron varias pruebas antes de iniciar el arranque del sistema, para asegurar su óptimo funcionamiento.

2.2.4 Ubicación de los medios de soporte: Para la ubicación de los medios de soporte se utiliza una malla para sostener el material plástico, evitando su flotación.

2.2.5 Instalación de mangueras y válvulas: Las mangueras se pueden utilizar tienen un diámetro de 1/4". Para las válvulas se utiliza ganchos plásticos que fueron bastante útiles permitiendo el paso del flujo establecido.

2.2.6 Aforo de caudal: Se gradúa mediante el uso de un venoclip32, permitiendo el paso del caudal de diseño que debe ser suministrado al sistema.

2.3 Clasificación según su capacidad de sacrificio

Tabla 5.

Clasificación de los mataderos según su capacidad de sacrificio

DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD DE SACRIFICIO DE GANADO BOVINO	CAPACIDAD DE SACRIFICIO DEGANADO PORCINO	DESTINO DE LA CARNE
	TURNOS DE 8 HORAS	TURNOS DE 8 HORAS	
CLASE I	480 o MAS	400 o MAS	EXPORTACION Y CONSUMO NACIONAL
CLASE II	320 o MAS	240 o MAS	CONSUMO NACIONAL
CLASE III	160 o MAS	120 o MAS	LOCALIDAD
CLASE IV	40	40	LOCALIDAD
MÍNIMOS	2 RESES/HORA	2 CERDOS/HORA	LOCALIDAD

Fuente: (Rojas Gutiérrez, Rivas, & Orjuela Zamora, 2007, p. 35).

2.4 Valores característicos de efluente del matadero sin tratamiento

Tabla 6.

Valores característicos de los vertidos de un matadero (sin depuración)

Parámetro	Valores medios	Valores máximos
pH	6.5 – 8	6 - 8.5
DQO mg/l	3500	10000
DBO mg/l	1300	6500
Sólidos suspendidos mg/l	700	2700
Nitrógeno total mg/l	300	6500
Aceites y grasas mg/l	500	1500

Fuente: (Benavides, 2006, p. 15).

Capítulo III

3 Lagunas de estabilización:

“El uso de lagunas de estabilización comenzó a introducirse al final de la década de los años cincuenta en los países de América latina y el caribe. Entre las primeras instalaciones a que hace referencia la literatura se encuentran las lagunas de cañas, Guanacaste, costa rica, que fueron construidas en 1958 y las Chitré, Panamá, construidas por la misma época”. (Fabian., 2010, p. 3).

Las lagunas de estabilización constituyen el método más simple de tratamiento de aguas residuales. Son de excavación poco profunda, cercadas por taludes de tierra, e impermeabilizadas. Generalmente tienen forma rectangular o cuadrada. La tecnología de las lagunas de estabilización es uno de los métodos naturales más importantes para el tratamiento de aguas residuales. Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración; son excelentes alternativas para países tropicales y subtropicales, dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores claves para la eficiencia de los procesos de degradación, “La mayoría de los países de clima tropical ofrece condiciones ideales para el tratamiento de las aguas residuales mediante procesos naturales, como es el caso de las lagunas de estabilización,” (Rojas Gutiérrez, Rivas, & Orjuela Zamora, 2007).

La función básica de la laguna de estabilización es retener las aguas por un período de tiempo suficiente que permita la sedimentación de los sólidos, homogeneizar los efluentes, antes de su disposición en un cuerpo de agua, y oxidar la materia orgánica presente en los residuos. De esta manera, debe permitir el tiempo suficiente de retención que asegure la sedimentación de los sólidos, la capacidad suficiente para almacenar los lodos producidos, y poca profundidad para evitar malos olores por la descomposición anaeróbica de los lodos acumulados. (Rojas Gutiérrez, Rivas, & Orjuela Zamora, 2007).

La absorción eficiente de las sobrecargas y el adecuado equilibrio en las lagunas de estabilización, dependen de una buena mezcla de los compuestos del agua residual y la carga orgánica recibida por las lagunas. La mezcla es igualmente importante para minimizar los

cortocircuitos hidráulicos, y para obtener una buena distribución vertical, tanto de oxígeno, como de algas en las lagunas facultativas. (Rojas Gutiérrez, Rivas, & Orjuela Zamora, 2007).

Las lagunas de estabilización son lagunas construidas de tierra diseñadas para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa. La función real del proceso es estabilizar la materia orgánica y remover los patógenos de las aguas residuales realizando una descomposición biológica natural; normalmente se diseña el proceso para la remoción de DBO, sólidos suspendidos, y coliformes fecales. El término lagunas de estabilización incluye lagunas anaeróbicas, facultativas, y lagunas de maduración. (Stewart, 2005).

Sus objetivos principales son:

- Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
- Eliminar microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
- Utilizar el efluente para reutilización con diferentes finalidades, dependiendo de la posición de los mismos (agricultura, recarga de acuíferos). (Moret, 2014, p. 56).

3.1 Clasificación de lagunas y mecanismos.

Existen varias formas de clasificar lagunas. De acuerdo con el contenido de oxígeno, pueden ser: Aerobias, Anaerobias y facultativas. Si el oxígeno es suministrado artificialmente con aireación mecánica o aire comprimido, se denominan “lagunas airadas”.

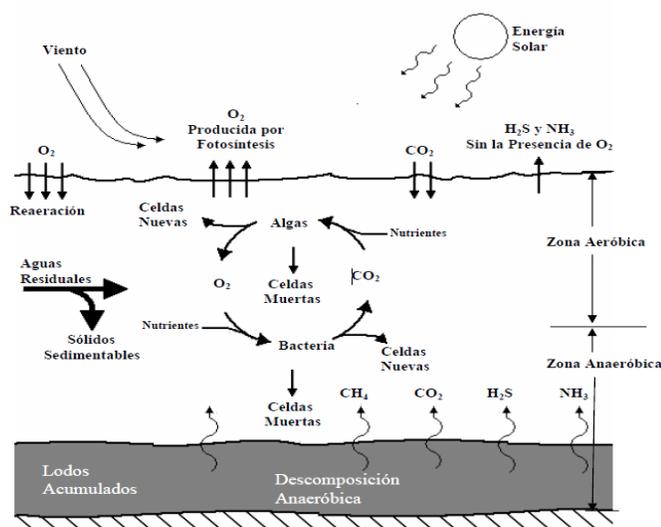


Figura 2. La interacción de bacterias y algas en las zonas aeróbicas y anaeróbicas en una laguna facultativa de estabilización. (Stewart, 2005, p. 83).

De acuerdo con el lugar que ocupan con relación a otros procesos, las lagunas pueden clasificarse como: primarias o de aguas residuales crudas, secundarias, si reciben efluentes de otros procesos de tratamiento y de maduración si su propósito fundamental es reducir el número de organismos patógenos o su empleo en cultivo de peces.

3.1.1 Lagunas de Oxidación: El término fue empleado debido a que la gran cantidad de oxígeno que producen las algas a través de la fotosíntesis, es un factor predominante en el proceso de degradación. Sin embargo, el uso de este término es incorrecto puesto que existen otros procesos que intervienen en la bioestabilización de la materia orgánica como: la reducción por digestión, que es igualmente importante en lagunas facultativas y predominantes en lagunas anaeróbicas. (Rodríguez Antolín, 2019).

3.1.2 Lagunas aeróbicas: Han sido también conocidas como fotosintéticas son estanques de profundidad reducida (1.0 m) y diseñadas para una máxima producción de algas. En estas lagunas se mantienen condiciones aeróbicas a todo nivel y tiempo, y la reducción de materia orgánica es efectuada por acción de organismos aeróbicos. Estas unidades han sido utilizadas preferentemente para propósitos de producción y cosecha de algas, y su uso en el tratamiento de desechos no es generalizado. (Fabian., 2010).

3.1.3 Lagunas anaeróbicas: Son estanques de mayor profundidad (2.5 – 5.0 m) con un periodo de retención hidráulica de 1 a 5 días y reciben cargas orgánicas más elevadas de modo que la actividad fotosintética de las algas es nula, encontrándose ausencia de oxígeno en todos

sus niveles. En estas condiciones, estas lagunas actuaran como un digestor anaeróbico abierto sin mezcla y, debido a las altas cargas orgánicas que soportan, el efluente contiene un alto porcentaje de materia orgánica y requiere de otro proceso de tratamiento.

En cuanto al mecanismo de degradación, este es similar al proceso de contacto anaeróbico, con dos etapas bien diferenciadas que dependen del desarrollo de dos grupos específicos de bacterias.

Si bien ambas están sucediéndose simultáneamente, la primera etapa de fermentación acida es llevada a cabo por organismo formadores de ácidos que atacan las sustancias orgánicas y las transforman en compuestos orgánicos más simples y ácidos orgánicos. La segunda etapa es llevada a cabo por un grupo de organismos estrictamente anaeróbicos que utilizan los productos intermedios de la etapa anterior para producir gases como el metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y otros productos de degradación.

De los dos grupos de microorganismos descritos, los formadores de metano son muy sensibles a condiciones ambientales como pH y temperatura; y la eficiencia del proceso depende de su desarrollo, que ocurre en poblaciones reducidas debido a que pierden gran cantidad de energía en la producción de metano. (Fabian., 2010).

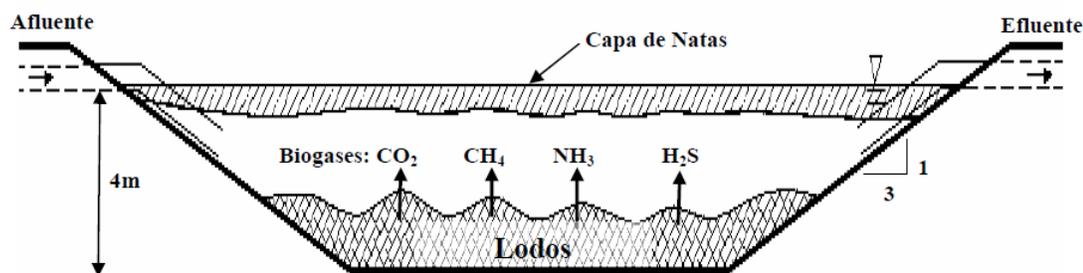


Figura 3. Un diagrama de una laguna anaeróbica. (Stewart, 2005, p. 86).

El propósito de una laguna anaeróbica es remover un porcentaje de la carga orgánica (DBO) y la mayoría de los sólidos suspendidos bajo condiciones anaeróbicas por la acción de bacterias anaeróbicas, y por lo tanto disminuir el área requerida para el sistema total de lagunas.

Como consecuencia de la elevada carga orgánica, la profundidad de la laguna con mínima área, y el corto período de retención hidráulica, se mantiene el sistema ausente de oxígeno disuelto bajo condiciones anaeróbicas. La bacteria anaeróbica realiza un tratamiento de los

desechos mediante una asimilación anaeróbica con la descomposición de materia orgánica y la producción de bióxido de carbono, metano y otros productos secundarios. (Stewart, 2005).

3.1.4 Lagunas facultativas: Son estanques de profundidades más reducidas (1.5 – 1.8 m) y su contenido de oxígeno varía de acuerdo a la profundidad y hora del día. Se puede observar que el oxígeno disuelto disminuye con la exposición solar y profundidad en un estrato de “oxidación aeróbica”. Inmediatamente debajo está localizado un estrato de degradación anaeróbica que opera con los mecanismos de degradación. El mecanismo principal de las lagunas facultativas ocurre en el estrato superior y corresponde a una simbiosis o comensalismo de bacterias aeróbicas y algas. Las bacterias heterotróficas descomponen la materia orgánica produciendo compuestos inorgánicos solubles y dióxido de carbono. La cantidad de oxígeno requerida para esta degradación es suministrada principalmente por el proceso de fotosíntesis. (Fabian., 2010).

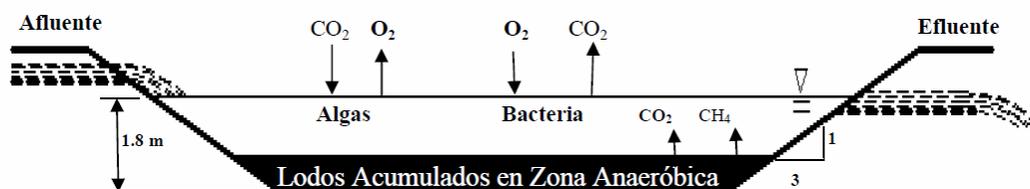


Figura 4. Un diagrama de una laguna facultativa con la zona aeróbica, donde las algas consumen CO₂ y producen O₂ y la bacteria consume O₂ y produce CO₂, y la zona anaeróbica donde los lodos acumulan y digieren, produciendo los gases de CO₂ y CH₄. (Stewart, 2005, p. 91).

Las lagunas facultativas se caracterizan por tener una zona aeróbica en el estrato superior, donde existe la simbiosis entre algas y bacterias, y una zona anaeróbica en el fondo inferior. Existen dos mecanismos de adición de oxígeno al estrato superior: la fotosíntesis llevada a cabo por las algas, y la reaeración a través de la acción del viento de la superficie. Las bacterias aeróbicas realizan un tratamiento de los desechos, particularmente la materia orgánica disuelta, mediante asimilación y oxidación de la materia orgánica con la producción de bióxido de carbono y productos secundarios de nutrientes como amoníaco y nitrato; las algas utilizan el bióxido de carbono y los nutrientes para producir oxígeno a través de la fotosíntesis. En los niveles más profundos existen condiciones anaeróbicas donde la descomposición ocurre como en una laguna anaeróbica. (Stewart, 2005).

3.1.5 Lagunas de maduración o pulimiento: son estanques utilizados como procesos de tratamiento terciario, diseñados con el propósito exclusivo de reducir los gérmenes patógenos. Las lagunas de estabilización han demostrado ser uno de los procesos más eficientes en la destrucción de gérmenes patógenos. (Fabian., 2010).

Las lagunas de maduración se caracterizan como lagunas aeróbicas, donde se mantiene un ambiente aeróbico en todo su estrato. El propósito principal de las lagunas de maduración es proveer un período de retención hidráulica adicional para la remoción de los patógenos; también el de mejorar la calidad del efluente en términos de DBO.

Se diseña un sistema de lagunas para tener baterías de lagunas primarias (facultativas o anaeróbicas) en paralelo seguidas por dos o tres lagunas de maduración en serie. Se debe diseñar las lagunas primarias en paralelo para poder remover una de operación para la remoción de lodos mientras la demás queda operando. Se diseña lagunas anaeróbicas y facultativas para remover la DBO y SS y controlar el proceso de tratamiento; después, se diseña lagunas de maduración para remover patógenos aprovechando su remoción anterior en las lagunas anaeróbicas o facultativas. (Stewart, 2005).

3.2 Procedimiento de Diseño del Proceso de un Sistema de Lagunas

1. El diseño global debe consistir de una batería de lagunas facultativas en paralelo seguida en serie de una o dos lagunas de maduración.
2. Se determina el caudal de diseño, lo que debe ser el caudal promedio diario, en monitorear los caudales del alcantarillado y en tomar un catastro de las conexiones existentes y proyectadas. No se debe asumir caudales per cápita para evitar el problema de las sobrecargas hidráulicas.
3. Se determina la carga orgánica de DBO₅ en el afluente en monitorear las concentraciones de la DBO₅ en el alcantarillado con muestras compuestas. No se debe asumir un aporte per cápita ni una concentración promedio de DBO₅.
4. Se diseña rejillas y desarenadores, y se estima la producción de sólidos arenosos, utilizando las normas y métodos de diseño.

5. Se calcula la carga orgánica superficial máxima con la siguiente Ecuación:

$$CS_m = (1.937E - 06) \cdot (RS)$$

6. Calcular el área requerida de la laguna facultativa usando la Ecuación:

$$A_F = \frac{10 \cdot L_A \cdot Q_{med}}{CS_M}$$

7. Dimensionar la laguna facultativa con una relación de largo/ancho de 3/1 mínimo con una profundidad de 1.8 a 2.0 m.

8. Calcular el tiempo de retención hidráulica nominal:

$$TRH_F = \frac{V_F}{Q_{med}}$$

9. Si $TRH_F \geq 10$ días, siga con el diseño de la laguna facultativa. Si no, recalcular el área y redimensionar la laguna hasta que $TRH_F \geq 10$ días.

10. Calcular la acumulación de lodos

$$V_{L-a} = 0.00156 \cdot Q_{med} \cdot SS$$

11. Calcular el tiempo de llenar 25% del volumen de la laguna con lodos acumulados. Lo que es la frecuencia estimada de limpieza de lodos. Utilizando la Ecuación:

$$t_L = 0.25 \cdot \frac{V_F}{V_{L-a}}$$

12. Dividir el área total calculada en dos lagunas facultativas, cada una con las mismas dimensiones de largo y ancho, y profundidad, para tener una batería de dos lagunas facultativas en paralelo.

13. Dimensionar una o dos lagunas de maduración en serie, con cada una con $TRH_M \geq 7$ días, utilizando la siguiente Ecuación:

$$V_M = TRH_M \cdot Q_{med}$$

3.2.1 Diseño de una laguna anaeróbica

El diseño de una laguna anaeróbica es basado en la carga volumétrica usando la siguiente ecuación (Stewart, 2005, p. 86):

$$V_A = \frac{DBO_0 * Q_{med}}{CV_A}$$

Donde:

V_A = el volumen de laguna anaeróbica, m^3

DBO_0 = la concentración inicial de DBO en el afluente, mg/L

Q_{med} = el caudal promedio, $m^3/día$

CV_A = la carga volumétrica de DBO, $g/m^3-día$

La literatura técnica muestra que el valor de CV_A debe estar entre 100 a 400 $g\ DBO/m^3-día$. Se debe mantener la carga arriba de 100 $g\ DBO/m^3-día$ para tener condiciones anaeróbicas, y menos que 400 $g\ DBO/m^3-día$ para evitar malos olores causados por la conversión de sulfatos a sulfuro de hidrógeno (Fabian., 2010); también se puede tener malos olores causados por la emisión de amoníaco. Típicamente se utiliza una carga máxima de 300 $g\ DBO/m^3-día$ para tener un factor de seguridad. El volumen de la laguna es determinado, se recomienda que la profundidad debe estar entre 3.0 y 5.0 m. la más común es de 4 m. El tiempo de retención hidráulica nominal, TRH, se determina de la siguiente relación:

$$TRH = \frac{V_A}{Q_{med}}$$

Donde:

TRH = el tiempo de retención hidráulica nominal, en días.

La eficiencia de las lagunas anaeróbicas es relacionada a la temperatura y el tiempo de retención hidráulica (Fabian., 2010).

3.3 Eficiencias de tratamientos de las aguas residuales.

Las eficiencias remocionales de los principales procesos de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 7. Eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales (Expresado en porcentaje).

PROCESO	DBO	(DQO	SÓLIDOS SUSPENDIDOS
Tratamiento preliminar			
Cribado fino	5-10	5-10	2-20
Cloración crudo o sedimentado	15-30	-	-
Tratamiento primario			
Sedimentación simple	25-40	20-35	40-70
Precipitación química	50-85	40-70	70-90
Tratamiento secundario			
Filtros percoladores	50-95	50-80	50-92
Lodos activados Lagunas Lagunas	55-95	50-80	55-95
Primarias	75-85	60-70	85-95
Secundarias	90-95	80-70	85-95
Terciaria	85-95	60-70	85-95
Tratamiento avanzado			
Cloración aguas tratadas	-	-	-

Fuente: (Rojas, 2002, p. 17).

3.3.1 Eficiencias de las lagunas de estabilización

Tabla 8. Relación entre Temperatura, Tiempo de Retención Hidráulica, e Eficiencia en Lagunas Anaeróbica.

Temperatura, °C	TRH, días	Remoción de DBO, %
10—15	4—5	30—40
15—20	2—3	40—50
20—25	1—2	50—60
25—30	1—2	60—80

Fuente: (Stewart, 2005, p. 87).

“Según estudios anteriores el sistema presenta una alta eficiencia en la eliminación de los parámetros contaminantes del agua, el efluente resultante cuenta con una disminución en los

coliformes totales, la DBO5, en los sólidos totales, los sólidos suspendidos volátiles, del nitrógeno y del fósforo (tabla 6)” (Manrique & Piñeros, 2016, p. 20).

Tabla 9.

Las principales ventajas y desventajas de los sistemas de lagunas de estabilización.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la carga orgánica si la carga está más alta que la carga normal de aguas residuales domésticos • Reduce las concentraciones de compuestos tóxicos por descomposición anaeróbicas. • Bajos costes de inversión y construcción si el terreno es suficientemente impermeable. • El consumo energético es nulo cuando el agua residual llega por gravedad a la depuradora. • Requiere de un escaso y simple mantenimiento basado en el retiro periódico de los flotantes en la superficie de las lagunas. • Produce un excelente abono agrícola, cuyo uso incluso en forma excesiva no daña ni quema las plantas como es el caso de los fertilizantes químicos. • Necesitan poco o ninguno componente importado. • Simple de construir y de operar. • Confiables y fáciles de mantener. • Pueden absorber aumentos bruscos de cargas hidráulicas u orgánicas • Posibilidad de uso como sistemas reguladores para riegos. • Fácil adaptación a variaciones estacionarias. • Posibilidad de tratar vertidos industriales fácilmente biodegradables (mataderos, Lecherías, industrias de frutas, etc.). • Presenta elevada eficiencia en la estabilización de la materia orgánica. • Produce un efluente de alta calidad con excelente reducción de microorganismos patógenos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de personal más calificado. • El riesgo de malos olores de amoníaco y sulfuro de hidrógeno. • Requiere de limpieza de lodos cada 2 a 5 años. • Si se produce algún deterioro del sistema biológico, su recuperación será lenta. • Requieren más terreno que cualquier otro tipo de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: (Rojas, 2002, p. 65).

Capítulo IV

4 Resultados de estudio

4.1 Antecedentes

En el 2009, (Chaux, Rojas, & Bolaños, 2009), en su investigación sobre **“Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades. Caso”**: Municipio de El Tambo (Colombia). Al observar los caudales del sistema se tiene que el matadero Municipal, consume un caudal máximo de 7.81 L/s, y un volumen máximo promedio de agua de 70064.6 L, lo que para efectos de diseño y construcción generaría altos costos en el tratamiento, obligando inicialmente a implementar procesos de Producción más limpia (PML) tales como: recolección en seco de desechos sólidos y líquidos, implementación un sistema de lavado de panzas en dos etapas , utilización de mangueras con boquillas aspersores para el lavado del salón de sacrificio, fomentar la conciencia de los trabajadores y la educación de cómo reducir el consumo innecesario de agua. Con estas medidas se espera reducir el consumo de agua al menos en un 65% (lo que implica disminuir el gasto por res de 1880 a 650 L/cabeza, valor ligeramente mayor al reportado en el matadero de Popayán que registra un consumo aproximado inferior a 500 L/res y obtener los volúmenes y caudales presentados. El efluente es de difícil biodegradabilidad; sin embargo, el tratamiento biológico anaeróbico de lagunas de estabilización es viable mediante una eliminación previa de grasas y rumen, colectándolos por separado mediante un estricto tratamiento preliminar.

Bajo las condiciones climáticas de “El Tambo”, se espera que en condiciones críticas los tratamientos preliminar y primario remuevan promedios del orden del 25% de materia orgánica, de tal modo que las lagunas de estabilización anaeróbico remuevan acerca de 60- 75 % de materia orgánica y a su vez, ingrese una DQO de 6767,7 mg/L y una DBO de 1371,6 mg/L. con el fin de reducir el gasto masivo de agua y buscar una adecuada disposición y buen uso de subproductos.

(Rojas Gutiérrez, Rivas, & Orjuela Zamora, 2007), En el trabajo investigativo “**El diseño de la planta de tratamientos de aguas residuales para el matadero del municipio de Vergara – Cundinamarca**”, se realizó por medio de lagunas de estabilización, siendo este sistema la mejor alternativa costo/beneficio tanto para la construcción y mantenimiento, como la operación del mismo por parte de la administración municipal.

Se pudo evaluar la eficiencia de remoción de la DBO₅ total del sistema. El agua residual cruda tiene un valor de 196 mg/l de DBO₅ total, es decir, la remoción total del sistema genera una eficiencia de 71%. Se realizó un balance total observando los valores de las concentraciones de DQO_{total} en la entrada del sistema con las aguas residuales crudas y el efluente final del proceso en donde las eficiencias de eliminación alcanzaron valores del 87%. Los resultados de eficiencias globales de remoción obtenidas son muy buenos considerando los bajos THR, suministrados y la temperatura de funcionamiento (18°C-28°C), alrededor de 71% en términos de DBO₅, 87% de DQO y 46% de SST.

Por medio de los resultados de eficiencia arrojados por el sistema, se puede demostrar que el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el matadero del municipio de Vergara Cundinamarca cumple con los estándares ambientales en materia de vertimientos o residuos líquidos expuestos por el acuerdo 08 del 2004 de la CAR de Cundinamarca, y el decreto 1594 de 1984, en su capítulo sexto artículo 72.

En su publicación “**Manejo ambiental de residuos en mataderos de pequeños municipios**”. Pereira, Colombia. Según (Guerrero & Ramirez, 2004), Se quiere destacar que además de otros resultados asociados no cuantificables (como la seguridad inmediata de evitar el cierre del establecimiento por el incumplimiento de las regulaciones ambientales), los más importantes están relacionados con la disminución de las cargas contaminantes del efluente generado para los tres parámetros principales a medir: DBO₅, DQO y SST.

Otro resultado importante lo constituye la sensible disminución en el pago de tasas retributivas. A precios de hoy y con los niveles de descarga reportados en el último muestreo de aguas residuales realizado por CARDER en 2001, el valor a pagar por este concepto asociado al parámetro DBO₅ sería de \$647.645 al mes, mientras que por el mismo concepto para el parámetro SST sería de \$71.408 mensuales. Apoyados en los datos del muestreo del 30 de marzo de 2004, en el que se simulaban mejores condiciones de operación en cuanto al desempeño ambiental, por

DBO₅ el monto mensual a pagar sería de \$49.852, mientras que para el parámetro SST el monto se reduciría a \$9.045. Como puede observarse, el ahorro sería de casi ocho millones de pesos al año, representados en una disminución en la tasa retributiva de aproximadamente 90%. Además, por animal con peso promedio de 500 kg se obtiene en peso alrededor de un 10% del mismo en contenido ruminal (con 80% de humedad). En el matadero municipal de Marsella se sacrifican en promedio 200 reses mensuales. Entonces puede aproximarse un cálculo cercano a los 4.000 kg de compost estable al mes (con 20% de humedad), que con un precio en el mercado de \$ 60.000 pesos la tonelada representa \$ 240.000 pesos adicionales a los ingresos típicos del matadero.

(Pabón, 2009), En su publicación “**Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero**”. **Bogotá, Colombia**. Se observa la variación del caudal para los días en que se realizaron los monitorios de eficiencia de la planta. El caudal promedio del afluente es de 4.05 L/s (Agua sangre y agua rumen) y el del efluente de 1,41 L/s. El caudal mínimo reportado fue de 2,46 L/s para el afluente y 1,2 L/s para el efluente.

La variabilidad que se presenta se debe al aumento o disminución de reses sacrificadas por día de trabajo.

La DBO₅ en el afluente presentó un valor promedio de 1.747 Kg/d, con un registro mínimo de 733,27 Kg/d y un máximo de 4.167,68 Kg/d; las variaciones de los valores en estos parámetros obedecen a los cambios en concentración de la materia orgánica proveniente del contenido ruminal y del número de animales sacrificados por día, lo que corrobora lo afirmado por Massé (2000) sobre la variación de la calidad de agua residual en mataderos dependiendo de la eficiencia en retención de sangre, cantidad de agua utilizada, tipo y cantidad de animales sacrificados, y procesos de transformación.

Los valores para la DBO₅ en el efluente tienen un promedio de 151,67 Kg/d, un máximo de 243,65 Kg/d y un mínimo de 12,44 Kg/d; su variabilidad obedece a la eficiencia que presenta el sistema y está directamente relacionada con las concentraciones en el afluente. Donde su objetivo general fue evaluar el efecto del caudal en el sistema de Lagunas de estabilización para la depuración de DBO₅ y DQO de las aguas residuales industriales en que el sistema de Lagunas logro un efecto de remoción de 83,87% en DBO₅ y 72,43% en DQO.

En la publicación **“El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda”**. Según (Proaño, 2011), Los sólidos suspendidos constituyen una medida aproximada e indirecta de la biomasa existente en una muestra de agua residual, y de acuerdo con la legislación colombiana es un parámetro sujeto de cobro de la tasa retributiva. Los valores para el afluente oscilaron entre un mínimo de 29,72 Kg/d y un máximo de 7.245,15 Kg/d, con un promedio de 1.081,16 Kg/d. En el efluente el promedio fue de 30,64 Kg/d, con un máximo de 59,10 Kg/d y un mínimo de 10,37 Kg/d.

Eficiencias en carga. La remoción en carga alcanzada por la planta de tratamiento es, en promedio para DBO₅, de 94,76% y en SS de 96,98%. Tan solo en el mes de abril/2006 se registró un descenso en las eficiencias de DBO₅ en un 4,14%, y en mayo/2006 de SS en un 3,26%. Por lo tanto, y de acuerdo con los resultados, se puede afirmar que el sistema cumple con las remociones establecidas en el Decreto 1594 de 1984.

Las eficiencias que presentó cada uno de los tratamientos que componen la PTAR, el tratamiento primario (cribas, desarenador, sedimentador primario, homogeneizador y trampa de grasas); en esta se remueven coágulos de sangre que aportan proteínas, hidrato de carbono, grasas, vitaminas, y otro aportante es el contenido ruminal, rico en lignina y celulosa; estas unidades reportan una eficiencia de remoción en carga de un 68,92% DBO₅ y 80,16% SS.

La PTAR presenta una eficiencia en carga de un 88,19% para DBO₅, 84,29 para DQO y 92,48% en SS, y se encuentra por encima de lo establecido en el Decreto 1594/84, artículo 73. El sistema de lagunas de estabilización del Frigorífico La Frontera Ltda. Reportó una eficiencia promedio de 46,4% en DBO₅ y un 40,84% en SS. Mostrando que es una tecnología viable técnica y ambientalmente para estabilizar la materia orgánica contaminante generada en las industrias de faenado de ganado.

En el 2012, (Sánchez & Matsumoto, 2012), en su publicación **“Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas primarias”**. Barranquilla, Colombia. Con base en los 25 muestreos se caracterizaron el afluente y el efluente tratado de la PTAR a partir de los 14 parámetros de control citados. La variación de la DBO, DQO y el caudal a lo largo del período de 24 horas.

El caudal afluente reportó un valor promedio calculado de 49,26L/s, para un valor diario de aproximadamente 4.434m³/d. Debido a la acumulación de lodos anteriormente comentada, el volumen útil de cada laguna cuyo valor calculado fue de cerca de 55.200m³. Se redujo en la Laguna 1 a aproximadamente 35.156m³ y en la Laguna 2 a 32.335m³; para tales condiciones y con base en el caudal promedio se estima que el TRH de la PTAR fue de 15,2 días.

La concentración de la DBO afluente a la PTAR varió entre 66mg/L y 469mg/L con promedio de 235,3mg/L; la DQO varió de 148mg/L a 758mg/L con promedio de 424mg/L. La relación DQO/DBO estuvo entorno de 2.

Con los caudales y las concentraciones de DBO y DQO afluentes se estimó que la carga diaria aplicada de DBO fue 1.043kgDBO/d, y la carga de DQO de 1.880kgDQO/d. La carga superficial (CS) de las lagunas con área de 9,68 hectáreas (ha) fue de 107kgDBO/ha.d, presentando un valor bajo frente a los estándares establecidos para esta región del estado de São Paulo, quienes recomiendan proyectar lagunas facultativas con CS de hasta 260kgDBO/ha.d.

Bajo las condiciones anteriormente citadas, la eficiencia media de remoción de DBO estimada fue del 78%, inferior al valor mínimo recomendado por la legislación estatal del 80% para DBO total; la concentración media de DBO efluente fue próxima a la máxima permitida de 60mg/L, definida por el mismo Decreto. Una alternativa para mejorar la eficiencia del proceso es la remoción de sólidos, principalmente en los tramos iniciales de las lagunas, los cuales reducen el TRH y desfavorecen la mezcla y distribución apropiada del flujo; tal acción propiciaría un flujo más uniforme, la reducción de zonas muertas y caminos preferenciales e incrementaría la eficiencia de remoción de DQO, cuya concentración varió entre 100 y 501mg/L. Lo cual muestra que, en términos de este parámetro, el efluente de la planta estuvo dentro del límite recomendable.

“Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales del procesamiento de cárnicos”, Santiago de Cuba, Cuba. En donde sus autores (Álvarez-Padrón, Vega-Guerra, Pérez-Silva, Bermúdez-Savón, & Rodríguez Pérez, 2012), implementaron El consumo de agua estimado por proyecto para el sacrificio de reses es de 120 m³ y en el cerdo, de 60 m³; con índices respectivos de 1,2 y 0,25 m³/cabezas. Los residuales generados no se desagregan en corrientes individuales, según el tipo de residuo que porta o área

de trabajo; por lo que incrementa la contaminación aportada y dificulta el tratamiento diferenciado de estos residuales.

Los volúmenes de residuales líquidos generados son estimados en 200 m³ diarios. Este se caracteriza por poseer un color rojizo, debido a que presenta elevada cantidad de sangre y grasas, son vertidos en un sedimentador de 70 m³ de capacidad y luego bombeado a una laguna de estabilización.

En su caracterización se detecta un alto contenido de materia orgánica, reflejado en sus elevados valores de la DQO, que puede variar en dependencia de la actividad productiva (1100 – 1642,8 mg/L). Además, el residual presenta un pH de 6,3 a 6,9 unidades, concentración de Ácidos Grasos Volátiles (AGV) de 2,08 a 2,16 g/L y contiene proteínas en un rango de 0,16 a 0,34 g/L.

De manera general, se presenta un efluente industrial con altas cargas contaminantes de materia orgánica y material biodegradable, que sobrepasa los límites permisibles de la norma cubana para su descarga; por lo que ha de ser tratado antes de su disposición final, reduciendo el impacto negativo asociado a su contaminación.

Para el tratamiento de los residuos líquidos provenientes del proceso productivo del COMCAR se evaluó como inóculo, el lodo colectado en la laguna de estabilización de la propia industria. Este lodo en su conjunto se caracteriza por ser floculento, con una velocidad de sedimentación de 47 m/h y un índice volumétrico de 24,4 mL/gST, características no comparables con un lodo granular, pero mejores en comparación con un lodo aerobio.

Los resultados obtenidos muestran que el lodo de la laguna de estabilización del COMCAR, presentan las mejores potencialidades para la implementación del tratamiento anaerobio de este tipo de residual; corroborado por su mayor actividad metanogénica (comparado con el estiércol) y una buena biodegradabilidad.

(Benavides, 2006), ejecutó un estudio que tuvo como objetivo la “**evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la central de sacrificio**” Túquerres (Nariño). Con la implementación de medidas de manejo preventivo en el vertido de residuos orgánicos como estiércol y rúmen se lograron remociones de alrededor del 63% en promedio para los parámetros DBO₅, DQO y SST, y grasas y aceites; lo que complementado con un pre-

tratamiento y optimización el sistema biológico se lograría en promedio remociones del 85% para los mismos parámetros.

Es claro que mejorar el sistema de tratamiento, se logra definitivamente con la implementación de un sistema de pre-tratamiento, (rejillas, tamices, filtros, centrífugas), como es claro a pesar de que se instalaron rejas dentro de la planta, es necesario retener una mayor cantidad de sólidos. Podría proponer además que se reubicaran ciertas unidades del sistema como son la criba mecánica y el separador de coalescencia ya que a mi criterio el trabajo que desempeñan debería ser en la entrada del agua a la planta y no en la ubicación que tiene hasta el momento.

La limpieza continua y periódica de las unidades fue uno de los parámetros claves dentro de la operación de la planta.

Es importante aclarar que la estabilización de una laguna es algo muy complejo, con estabilización me refiero a lograr una remoción estable de dicho tratamiento y por supuesto alta.

“Diseño e implementación de una unidad piloto de tratamiento biológico no convencional para los vertimientos generados en el matadero”. Macanal (Corpochivor). El diseño de lagunas de estabilización piloto fueron implementados en el matadero del municipio de Macanal en el departamento de Boyacá, debido a que el sector reúne varias características que favorecen el desarrollo del proyecto; entre éstas, se tiene que cuenta con las condiciones climáticas del sector, que permiten analizar el comportamiento del sistema a temperaturas de 15 a 20°C; y una disposición de un terreno apto para la construcción; con una pendiente tal, que permite que el sistema funcione en su totalidad, por gravedad.

La concentración de los parámetros evaluados necesita un tratamiento indispensable como el de la prueba piloto, ya que el matadero del municipio de Macanal no cuenta con ningún tipo de tratamiento para sus vertimientos; ni con un sistema de alcantarillado, lo cuál permite que la descarga final se haga a pocos metros del punto de generación.

Por medio de la caracterización fisicoquímica de las principales variables (DQO y SST), se logró evaluar el desempeño y determinar mayor eficiencia en la remoción de la materia orgánica representada principalmente por la DQO. A continuación, se muestra el análisis de los resultados de las diferentes variables evaluadas.

Analizando el sistema las lagunas de estabilización, se puede observar que se alcanzó eficiencias de remoción total (DQO) del sistema, correspondiente al 82%. En consecuencia, se cumple la norma de remoción orgánica del 80% según el Decreto 1594 de 1984.

Con respecto a los sólidos sedimentables, se puede decir que se obtuvo una remoción casi del 100% al inicio del sistema de tratamiento de agua residual, este permite observar que durante el periodo de estudio el efluente de los reactores no presentó una concentración mayor a 0.4 mg/L de este parámetro. Según **(Sierra Ramírez & Vivas Albarracin, 2005)**.

Discusión

Los resultados muestran claramente que las lagunas pueden tratar aguas residuales a un alto nivel tanto en la remoción de patógenos como en la de compuestos orgánicos requiriendo mínimos recursos para su diseño, construcción, operación, y mantenimiento. El diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales en América Latina y en países en desarrollo no debe ser similar a lo de países industrializados, donde se basa el diseño en la reducción de compuestos orgánicos para proteger los cuerpos receptores con poca o ninguna atención a los aspectos de salud pública, especialmente a la remoción de los patógenos.

Dado que una de las principales causas de mortalidad y morbilidad es la de enfermedades relacionadas a las excretas humanas en América Latina, conjuntamente con el posible reúso de los efluentes en agricultura o acuicultura como un recurso sostenible.

Los procesos de tratamiento de aguas residuales en términos de remoción de patógenos y los parámetros convencionales de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y sólidos suspendidos (SS) (Feachem et al., 1983; Mara et al., 1992; Yáñez, 1992). Se ve claramente que las lagunas de estabilización es la mejor opción para la remoción de patógenos: Las lagunas de estabilización que están diseñadas y operadas apropiadamente tienen la mejor eficiencia en la remoción de virus, bacteria, y especialmente huevos de helmintos y quistes de protozoarios. Todos los otros procesos requieren desinfección como un proceso terciario para obtener una remoción de bacterias o virus igual a la que las lagunas pueden alcanzar mediante un proceso secundario; además, el cloro no puede matar totalmente los huevos de helmintos y los quistes de protozoarios. La laguna es el único proceso que, como un proceso secundario, puede producir efluentes de una calidad que puede utilizarse para el riego en la agricultura o para la fuente de agua en acuicultura.

La remoción en el sistema de la carga orgánica expresada como DBO₅ alcanza un valor máximo de 92%, aumentando progresivamente desde el inicio del arranque (Caicedo., 2006). Se alcanzó una remoción máxima de 91,31% de la carga orgánica expresada como DBO₅, contrastándose con el valor de la resultante de la distribución t-Student estadísticamente representa con un valor significativo; por lo tanto, se puede decir que hay evidencia estadística y grafica, suficiente para afirmar que existe una eficiencia en la remoción de la DBO₅ en una serie de lagunas de estabilización.

Conclusiones

Para concluir estudios más recientes indican no sólo serias faltas de los procesos de sacrificio y faenado sino la ausencia de programas educativos y estrategias de mejoramiento de la calidad, que apunten a lograr mayor eficiencia y competitividad sanitaria del producto y reducción de los daños ambientales que generan las tecnologías actuales. Actualmente en el comercio de ganado y de la carne prevalecen los criterios personales de calidad que imponen los comerciantes y que son claramente opuestos a los criterios sanitarios y ambientales exigidos por los estándares internacionales para proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de las poblaciones.

Por consiguiente, en la mayor parte de estas plantas no existen programas de gestión ambiental, ni planes de aseguramiento del proceso. Se carece de la capacidad instalada y técnica para hacer un control del vertimiento sólido y líquido que generan los procesos de sacrificio y faenado del ganado. En muchas plantas los residuos fluyen a los cuerpos de agua sin previo tratamiento, deterioran el recurso y afectan gravemente la calidad del abastecimiento presente y futuro para las comunidades. (Guerrero & Ramirez, 2004).

Así pues se hace necesario generar alternativas efectivas tales como la implementación de lagunas de estabilización que, desde la perspectiva de la gestión ambiental, redunden en el mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores, mediante la disminución de los factores aportantes de altos niveles de contaminación sobre los recursos naturales de los que estos deben disfrutar, pero que estén al alcance de las administraciones municipales encargadas de su implementación. (Guerrero & Ramirez, 2004).

Al analizar las diferentes investigaciones para la remoción de materia orgánica es muy eficiente para degradar DBO, DQO, coliformes fecales, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y volátiles, entre otros lo que conlleva a que este tratamiento es muy útil al volver a descargar el agua ya tratada a las fuentes hídricas.

Recomendaciones

Una reducción de la contaminación generada por procesos de sacrificio, según el Banco Mundial, del 20 al 30% puede ser conseguida sin necesidad de inversiones de capital y una reducción adicional del 20% o más puede alcanzarse con inversiones cuya tasa de retorno es de pocos meses, si se implementan mecanismos de producción más limpia (PML) (Cansino & Martínez, 2016). En el caso de los mataderos, es importante considerar la reducción de la cantidad de agua empleada para el lavado de los animales y salones de sacrificio, ya que es en este proceso que se genera la mayor cantidad de agua residual. Se debe complementar además con una adecuada recolección en seco de los subproductos, debido a la elevada carga orgánica que poseen, por ejemplo, la sangre, cuya recuperación supone una disminución en la contaminación de los vertidos entre un 34–45% (Fabian., 2010).

El proceso de compostaje fue identificado como la alternativa de Producción Más Limpia que ofrece una solución técnica y socio-económicamente viable a los impactos ambientales ocasionados por el inadecuado manejo y disposición de los subproductos generados en los centros de beneficio animal, ya que éste, permite el tratamiento conjunto de dichos subproductos sin incurrir en altos costos, y al mismo tiempo obtener un producto denominado “compost”, que puede ser aprovechado como enmienda o abono, de acuerdo a las características físico-químicas que presente.

Para la implementación del proceso de compostaje, se requiere realizar a nivel piloto una estandarización del mismo, con el fin de generar un marco de referencia para todos los centros de beneficio. (Guerrero & Ramirez, 2004).

Aprovechamiento de sangre: en el matadero actualmente se almacena parte de la sangre en recipientes con muy poca asepsia para la fabricación de alimentos para humanos y animales; sin embargo, sería importante recolectarla en su totalidad debido a que es el residuo más contaminante, para ello se pueden emprender las siguientes acciones: eliminar la descarga de la sangre hacia la tubería de alcantarillado, recolectarla a través de drenaje, reducir la pérdida de sangre en el área de degüelle y extracción, implementación de un tanque de recolección y almacenamiento de sangre o evaluar la viabilidad de producir harina de la sangre.

Aprovechamiento de rumen: en el matadero municipal se recoge aproximadamente 70% del rumen con el fin de deshidratarlo y utilizarlo para nutrición animal. Pero el 30% restante se

mezcla con el agua de lavado y se desecha, por lo que es importante mejorar el sistema de recolección en seco. Este subproducto puede ser utilizado para la producción de humus o compost acompañado de estiércol y del resto de subproductos para mejorar los niveles de nitrógeno, determinando las condiciones fisicoquímicas adecuadas y la cantidad de nutrientes que cada uno de ellos aporta para llevar a cabo el proceso de compostaje.

Procesos complementarios de salud ocupacional: el matadero debe garantizar un entrenamiento a todo el personal con el fin de que hagan buen uso de los sistemas de recolección y tratamiento, por ello se deben ejecutar las siguientes actividades: capacitación en técnicas y principios de un trabajo seguro, exigir cumplimiento en materia de seguridad e higiene ocupacional, adaptación de la jornada laboral (rotación) y mejoramiento de la organización, disposición de pisos ásperos y antideslizantes para facilitar la evacuación correcta del agua, protección de seguridad de máquinas o utensilios corto punzantes, lavar y desinfectar la vestimenta de matanza todos los días, disponer de baños para el aseo diario, señalización adecuada en la planta.

Referencias

- Almeida Oñate, J. C. (2013). *“Diseño de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales y producción de biogás para su aprovechamiento en el nuevo campus de la espe extensión latacunga.”* . (tesis en electromecánica). Escuela politécnica del ejército, Latacunga. .
- Álvarez, Y., Vega, G. R., Pérez, R. M., Bermúdez, S. C., & Rodríguez, P. S. (2012). Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales del procesamiento de cárnicos. *Tecnología Química.*, 32(3), 294-303.
- Álvarez-Padrón, Y., Vega-Guerra, R., Pérez-Silva, R. M., Bermúdez-Savón, R. C., & Rodríguez Pérez, S. (2012). Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales del procesamiento de cárnicos. *Tecnología Química*, 32(3), 294-303.
- Alvaro, M. (2013). *Lagunas De Estabilizacion*. Santa Cruz: RALCEA.
- Amador, D. A., Veliz, L. E., & Bataller, V. M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas.*, 46(1), 1-10.
- Becerra, L. F., & Pulido, J. C. (2014). *Diseño de un sistema de tratamiento para los vertimientos generados en la “Planta de sacrificio de ganado de oriente” del municipio de CHOACHÍ (CUNDINAMARCA)*. (Tesis en ingeniería ambiental). Universidad Libre, Facultad de ingeniería, Bogota D.C. .
- Benavides, L. P. (2006). *evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la central de sacrificio de túquerres (nariño)*. (Tesis especialización en ingeniería ambiental). Universidad nacional de colombia, sede manizales, Facultad de ingeniera ambiental y sanitaria, Manizales.
- Buenaventura, M. C., & Rojas, M. E. (2010). *Analisis de los vertimientos en el area urbana del Municipio de PUERTO BOYACA (BOYACA) al Rio Magdalena y otras fuentes hidricas*. (Tesis Especialista en Gerencia Ambiental.) Universidad Libre, Facultad de Ingeniería, Bogota.
- Caldera, Y., Gutiérrez, E., Luengo, M., Chávez, J., & Ruesga, L. (2010). Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de industria avícola. *Revista Científica*, 20(4), 409-416.

- Cansino, T. A., & Martínez, C. F. (2016). Método de diseño reducido para lagunas de estabilizacion. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.*, 7(4), 729-742.
- Cerón, H. A., Madera, P. A., & Peña, V. M. (2015). Uso de lagunas algales de alta tasa para tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería y Desarrollo.*, 33(1), 98-125.
- Chaux, G., Rojas, G. L., & Bolaños, L. (2009). Produccion mas limpia y viabilidad de tratamiento biologico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades. *Biotechnologia Y Bioingeniera A.C.*, 7(1), 103- 114.
- Colombia. Congreso de la República. (1991). *Decreto 1036 DE 1991: De los mataderos de animales de abasto publico, distintos de los de aves, y su funcionamiento.* Bogotá: Diario Oficial.
- Colombia. Congreso de la República. (2007). *Decreto 1500 DE 2007: Por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos Destinados para el Consumo Humano.* Bogotá: Diario Oficial.
- Colombia. Congreso de la República. (2012). *Decreto 2270 de 2012: Por el cual se modifica el Decreto 1500 de 2007, modificado por los Decretos 2965 de 2008, 2380, 4131,4974 de 2009, 3961 de 2011, 917 de 2012 y se dictan otras disposiciones.* Bogotá: Diario Oficial.
- Colombia. Congreso de la Republica. (2015). *Resolucion 0631 de 2015. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Calidad de Vertimientos.* Bogotá: Diario Oficial.
- Colombia. Congreso de la República. (2016). *Decreto 1282 de 2016: Por el cual se establece el trámite para la obtención de la autorización sanitaria provisional y se dictan otras disposiciones.* . Bogotá: Diario Oficial.
- Contreras Osorio, O. (2007). *Tratamiento de efluentes domésticos con reactor uasb y lagunas facultativa.* (Tesis en ingeniería civil). Universidad nacional de ingeniera, facultad de ingeniería civil, Lima, Peru.
- Durán Pinzón, F. (2013). *Modelación matemática del tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas incluyendo las bacterias sulfatorreductoras. aplicación a un biorreactor anaerobio de membranas.* (tesis doctoral). Universidad Politecnica de Valencia, Valencia.
- Escalante, E. V., Mendiola, R. C., & Balderas, C. J. (s.f.). *Constantes cineticas en lagunas de Estabilizacion. (Caso de una region con clima seco- semiarido).* Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01062e14.pdf>

- Espigares García, M., & Pérez López, J. A. (2009). *Composición de las aguas residuales*. Labor, S.A. Barcelona.
- Fabian., Y. (2010). *Lagunas De Estabilizacion*. Lima- Peru: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Guerrero, E. J., & Ramirez, F. I. (2004). Manejo ambiental de residuos en mataderos de pequeños municipios. *Scientia Et Technica*, 10(26), 199-204.
- Moret, I. (2014). *Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas*. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería Civil, Piura, Perú.
- Muñoz, D. (2005). Sistema de tratamiento de aguas residuales de Matadero: Para una población menor 2000 habitantes. *Ambiente y Desarrollo.*, 3(1), 88-98.
- Pabón, S. L. (2009). Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 29(2), 53-58.
- Proaño, V. A. (2011). *Estudio de un sistema de depuración de aguas residuales para reducir la contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de PISOCUCHO, de la parroquia IZAMBA, del canton ambato, provincia de TUNGURAHUA*". (Tesis pregrado de Ingeniero Civil.) Universidad Técnica de Ambato, facultad de ingeniería civil y mecánica, Ecuador. .
- Rodríguez Antolín, R. (2019). *Digestión anaerobia de fangos en pequeñas depuradoras. Viabilidad económica*. (máster en ingeniería ambiental). Universidad de Valladolid, escuela de ingenierías industriales, Valladolid.
- Rojas Gutiérrez, M., Rivas, C. A., & Orjuela Zamora, A. C. (2007). *Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el Matadero del Municipio de Vergara Cundinamarca*. (Tesis en ingeniería civil). Universidad de la Salle, Facultad de ingeniería civil, Bogotá .
- Rojas, R. (2002). Gestión integral de tratamiento de aguas residuales. *Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente, división de salud y ambiente, organización panamericana de la salud, organización mundial de la salud*. (págs. 1-19). Bogotá: Cepis/ops-oms.

- Sánchez, O. I., & Matsumoto, T. (2012). Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas primarias. *Ingeniería y Desarrollo.*, 30(2), 199-222.
- Sierra Ramírez, D. C., & Vivas Albarracin, C. (2005). *Diseño e implementación de una unidad piloto de tratamiento biológico no convencional para los vertimientos generados en el matadero de Macanal (Corpochivor)*. (Tesis En ingeniería ambiental). Universidad de la salle, Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, Bogotá.
- Stewart, M. O. (2005). *Lagunas de Estabilización en Honduras: Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sensibilidad*. Honduras: Agencia de los Estados Unidos Para el Desarrollo Internacional. (USAID).
- Vela Rios, I. M. (2018). *Eficiencia de un tanque imhoff-ha a escala, para mejorar la calidad de las aguas servidas municipales del distrito de habana, moyobamba* . (tesis para optar el título profesional de ingeniero sanitario). Universidad nacional de san martín – tarapoto, facultad de ecología, Moyobamba – Perú . .
- Villacis Proaño, A. G. (2011). *“Estudio de un sistema de depuración de aguas residuales para reducirla contaminación de río ambato y los sectores aledaños, en el sector de isocucho, de la parroquia izamba, del cantón ambato, provincia de tungurahua”*. (Tesis de grado previa a la obtención del título de ingeniero civil). Universidad técnica de ambato, Facultad de ingeniería civil y mecánica, Ambato-Ecuador.