

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MATADERO DE SUPATÁ,
CUNDINAMARCA**

Aixa Carolina Álvarez Ozuna

Paola Andrea Murillo Gómez

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 24 de octubre de 2018

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MATADERO DE SUPATÁ,
CUNDINAMARCA**

Aixa Carolina Álvarez Ozuna
Paola Andrea Murillo Gómez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Claudia Patricia Gómez Rendón

Línea de Investigación:
Manejo integrado del recurso hídrico, Salud ambiental.

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2018

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

(Dedicatoria)

Este trabajo se lo dedicamos principalmente a nuestros Padres, porque ellos son las personas que han hecho que esto sea posible, siempre han estado aconsejándonos, ayudándonos y sobre todo dándonos valor para seguir adelante.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios, quien nos da la fuerza necesaria para seguir adelante, a nuestros padres por su esfuerzo, apoyo incondicional y por creer en nuestras capacidades. Finalmente a nuestros familiares y amigos que aportaron su grano de arena para este nuevo logro.

Tabla de Contenido

1. Resumen	1
2. Abstract	1
3. Introducción	2
4. Presentación del problema	3
5. Pregunta de investigación	4
6. Subpreguntas de investigación	4
7. Objetivos	4
7.1 <i>Objetivo General</i>	4
7.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
8. Justificación	5
9. Marco Referencial	6
9.1 Estado del Arte	6
9.2 Marco Conceptual	7
9.2.1 <i>Clasificación de Mataderos Según su Capacidad</i>	7
9.2.2 <i>Aceptor de Electrones</i>	8
9.2.3 <i>Sustrato</i>	8
9.2.4 <i>Diseño de la Sedimentación</i>	8
9.2.5 <i>Filtros Percoladores</i>	8
9.2.6 <i>Concentración de Oxígeno Disuelto</i>	8
9.2.7 <i>Alcalinidad</i>	8
9.2.8 <i>Desnitrificación</i>	9
9.2.9 <i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	9
9.2.10 <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i>	9
9.3 Marco Teórico	9
9.3.1 <i>Teoría de la Sedimentación</i>	10
9.3.2 <i>Teoría de Transferencia de Masa</i>	11
9.3.3 <i>Tratamiento Primario Físico</i>	12
9.3.4 <i>Tratamientos Secundarios o Biológicos</i>	12
9.4 Marco Legal	13
9.5 Marco Geográfico	17
9.5.1 <i>Población</i>	19
9.5.2 <i>Relieve</i>	19
9.5.3 <i>Clima</i>	19
9.5.4 <i>Cobertura de Uso del Suelo</i>	20
9.5.5 <i>Hidrografía</i>	20
9.6 Marco Institucional	21
10. Metodología	23

10.1	<i>Diseño Metodológico</i>	23
10.2	<i>Matriz Metodológica</i>	23
10.3	<i>Fuentes de Información Utilizadas en el Desarrollo del Trabajo</i>	25
10.4	<i>Metodología por Objetivos Específicos</i>	25
10.4.1	<i>Objetivo Específico 1</i>	25
10.4.2	<i>Objetivo Específico 2</i>	29
10.4.3	<i>Objetivo Específico 3</i>	32
11.	Resultados, Análisis y Discusión del Trabajo de Investigación por Objetivos	32
11.1	<i>Objetivo Específico 1</i>	32
11.1.1	<i>Proceso Productivo del Matadero</i>	33
11.1.2	<i>Carga Orgánica Presuntiva Generada por el Matadero</i>	40
11.1.3	<i>Uso de la Quebrada Hornos por Parte de la Comunidad Aledaña</i>	43
11.2	<i>Objetivo Específico 2</i>	48
11.3	<i>Objetivo Específico 3</i>	73
12.	Conclusiones	84
12.1	<i>Conclusiones por Objetivos Específicos</i>	84
12.1.1	<i>Objetivos Específico 1</i>	84
12.1.2	<i>Objetivo Específico 2</i>	84
12.2	<i>Conclusiones Generales</i>	85
13.	Recomendaciones	85
14.	Bibliografía	86
15.	Anexos	90

Listado de Figuras

<i>Figura 1. Mapa de Supatá, Cundinamarca</i>	18
<i>Figura 2. Matadero de Supatá, Cundinamarca</i>	19
<i>Figura 3. Marco Institucional</i>	22
<i>Figura 4. Metodología del objetivo específico 1</i>	25
<i>Figura 5. Metodología del objetivo específico 2</i>	30
<i>Figura 6. Metodología del objetivo específico 3</i>	32
<i>Figura 7. Diagrama del proceso productivo del matadero de Supatá</i>	33
<i>Figura 8. Entrada del ganado</i>	34
<i>Figura 9. Caja de insensibilización</i>	34
<i>Figura 10. Izado</i>	35
<i>Figura 11. Desangrado</i>	35
<i>Figura 12. Cuarto de extremidades</i>	36
<i>Figura 13. Despojo de la piel</i>	36

<i>Figura 14. Viseras blancas</i>	37
<i>Figura 15. Cuarto de estercolero</i>	37
<i>Figura 16. Cuarto de vísceras rojas</i>	38
<i>Figura 17. Cuarto de oreo</i>	38
<i>Figura 18. Caja de desagües</i>	39
<i>Figura 19. Trampa de corrales</i>	39
<i>Figura 20. Depósito de las aguas del matadero</i>	40
<i>Figura 21. Concentración promedio de contaminantes de faena</i>	41
<i>Figura 22. Utilización del agua de la Quebrada Hornos</i>	44
<i>Figura 23. Tipos de usos del agua de la Quebrada Hornos</i>	45
<i>Figura 24. Frecuencia de uso del agua de la Quebrada Hornos</i>	46
<i>Figura 25. Evaluación parcial de parámetros físicos del agua de la Quebrada Hornos</i>	47
<i>Figura 26. Apreciación de la Importancia Ambiental de la Quebrada Hornos</i>	48
<i>Figura 27. Características de rejillas</i>	73
<i>Figura 28. Fórmulas para la canaleta Parshall</i>	76
<i>Figura 29. Dimensiones de la canaleta Parshall</i>	77
<i>Figura 30. Configuración de la canaleta Parshall</i>	77
<i>Figura 31. Factores de corrección de área por número de etapas</i>	80
<i>Figura 32. Características de los discos biológicos</i>	81

Listado de Tablas

<i>Tabla 1. Clasificación según su capacidad</i>	8
<i>Tabla 2. Normatividad más relevante para el proyecto de investigación</i>	13
<i>Tabla 3. Pisos térmicos de Supatá</i>	20
<i>Tabla 4. Matriz metodológica de la investigación</i>	23
<i>Tabla 5. Caracterización de efluentes industriales</i>	27
<i>Tabla 6. Aporte de carga contaminante por habitante día</i>	29
<i>Tabla 7. Utilización del agua de la Quebrada Hornos</i>	43
<i>Tabla 8. Tipos de usos del agua de la Quebrada Hornos</i>	44
<i>Tabla 9. Frecuencia de uso del agua de la Quebrada Hornos</i>	45
<i>Tabla 10. Evaluación parcial de parámetros físicos del agua de la Quebrada Hornos</i>	46
<i>Tabla 11. Apreciación de la Importancia Ambiental de la Quebrada Hornos</i>	47
<i>Tabla 12. Matriz comparativa de tratamientos de aguas residuales</i>	48
<i>Tabla 13. Matriz de justificación de los valores para tratamientos de aguas residuales</i>	54

Listado de Anexos

<i>Anexo 1. Formato encuesta: Usos de la Quebrada Hornos</i>	90
<i>Anexo 2. Mapa del recorrido para la realización de encuestas</i>	91

1. Resumen

El presente trabajo de investigación es la realización de una propuesta del diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el matadero de Supatá Cundinamarca. Se realizó un diagnóstico socio ambiental en el cual se identificó el proceso productivo del matadero, mediante visitas realizadas al establecimiento, en las cuales se identificó que las etapas de desangrado y evisceración generan la mayor cantidad de agua contaminada la cual es dispuesta en la Quebrada Hornos. El cálculo de la carga orgánica recibida por esta fuente hídrica fue presuntivo teniendo en cuenta la metodología de Hernández y Sánchez (2014) obteniendo que en promedio se generan diariamente 20,40 kg de DBO₅, 12,8 kg de DQO y 16,64 kg de SST. Con el fin de identificar el uso de la Quebrada por parte de la comunidad aledaña, se realizaron encuestas a 20 personas las cuales mostraron como resultado una alta dependencia económica frente al recurso hídrico. Para la selección del sistema de tratamiento más adecuado se llevó a cabo una metodología de análisis comparativo entre 82 tecnologías para depuración de aguas residuales, donde finalmente se seleccionó la tecnología de rejillas con 9 barras y una longitud de $6,53 \cdot 10^{-4}$ m, una trampa de grasas diseñada con un tiempo de retención de 15 minutos, cuya área debe ser de 0,08 m², unos biodiscos rotatorios de 4 etapas, con un área de 3549,6 m² y finalmente un sedimentador secundario con un área de 1,33 m².

Palabras clave: *tratamiento, aguas residuales, matadero, bovinos.*

2. Abstract

The present research work is the realization of a conceptual design proposal for a wastewater treatment plant for the slaughterhouse of Supatá Cundinamarca. A socio-environmental diagnosis was made, in which the production process of the slaughterhouse was identified through visits made to the establishment, in which the greatest generation of contaminated water was identified in the stages of bleeding and the evisceration, this water is disposed in Hornos brook. The calculation of the water source's organic charge was presumptive considering the methodology of Hernández and Sánchez (2014) obtaining an average of 20.40 kg of BOD₅, 12.8 kg of COD and 16.64 kg of TSS. In order to identify the use of the brook by the surrounding community, surveys were conducted to 20 people which showed as a result a high economic dependence on the water resource. For the selection of the most suitable treatment system, a comparative analysis methodology of 82 technologies for wastewater treatment was conducted, where it was finally selected a grid technology with 9 bars with a length of $6,53 \cdot 10^{-4}$ m, a grease trap with a retention time of 15 minutes and an area of 0.08 m², rotating biodiscs of 4 stages with an area of 3549.6 m² and finally a secondary settler with an area of 1.33 m².

Key words: *treatment, wastewater, slaughterhouse, bovines.*

3. Introducción

Dentro de los distintos temas que tienen que ver con la búsqueda de la conservación de los recursos naturales, la contaminación del recurso hídrico ocupa un lugar muy importante en el manejo ambiental. El agua ha tenido una gran influencia en el desarrollo de la humanidad, hoy sigue siendo un factor vital, y su uso inadecuado se ha convertido en una amenaza para el futuro. Las fuentes superficiales son cada vez más escasas y contaminadas, debido a las cargas orgánicas provenientes de las actividades industriales, por lo que es necesario poner en funcionamiento medidas de manejo ambiental complejas que solucionen el problema de forma definitiva (Hernández & Sánchez, 2014).

El agua de ríos y quebradas es cada vez más escaso debido a la contaminación a la que se enfrenta diariamente por las industrias que vierten sin tratamiento o que no cumplen con las normas de calidad exigidas por la autoridad ambiental competente; entre éstas, “las industrias dedicadas al sacrificio animal, también llamados mataderos, que por el inadecuado manejo y disposición de los subproductos (rumen, estiércol y sangre, los cuales en su mayoría son enterrados o dirigidos directamente a las fuentes hídricas), provocan una alta carga contaminante, perjudicando así poblaciones que residen aguas abajo” (Hernández & Sánchez, 2014).

La mayoría de mataderos de los municipios del departamento de Cundinamarca no cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales, generando de esta manera una contaminación de los cuerpos de agua donde se realizan los vertimientos sin ningún tratamiento previo como lo exige la ley. “En este sector estratégico se encuentran registradas 1.530 organizaciones, de las cuales 90% son públicas y 10% privadas, que se encuentran distribuidas en el territorio colombiano y la mayoría son mataderos clase IV. A las organizaciones de este sector les hace falta mayor compromiso con la interiorización de la cultura de producción limpia, dada la falta de procesos claros de implementación para la protección del ambiente. La mayoría de estas organizaciones no cuenta con procesos idóneos para el manejo de residuos, se estima que el 90,1% de los mataderos no realiza tratamiento de aguas servidas (que contienen entre otros sangre, contenido ruminal y detritos) y el 42,8% los vierte directamente a los ríos” (Acero, Riaño, & Cardona, 2013).

El municipio de Supatá Cundinamarca está ubicado en la Provincia del Gualivá a 76 km de Bogotá, no cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) para el matadero y sus vertimientos están siendo depositados a la Quebrada Hornos generando de esta manera una contaminación a este cuerpo de agua y a su vez ocasionando la proliferación de enfermedades y la baja calidad de cultivos, debido a que hay habitantes que se abastecen de esta fuente y utilizan el agua para el riego de sus cultivos y/o alimentación de sus animales. Por esta razón se ve la necesidad de realizar una propuesta de un diseño conceptual para una PTAR en el matadero de este municipio, de tal manera que cumpla con lo exigido por la ley y que se adopte al presupuesto del municipio, para que llegado al caso cuando se acepte dicha propuesta, no se presenten limitantes y se pueda implementar.

4. Presentación del problema

El municipio de Supatá Cundinamarca cuenta con un matadero el cual deposita todos sus vertimientos a la Quebrada Hornos, sin ningún tratamiento previo. Las principales fuentes de contaminación de las aguas residuales de los mataderos se originan de las heces y orina, sangre, pelusa, lavazas y residuos de la carne y grasas de las canales, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos de los animales sacrificados (Muñoz, 2005). Esto implica que la quebrada tenga un alto grado de contaminación, teniendo en cuenta que las aguas residuales de mataderos presentan concentraciones significativas de materia orgánica (DQO entre 3.500 y 12.000 mg/L) (Castro Molano, Escalante Hernández, Gómez Serrato, & Jiménez Piñeros, 2016) lo cual implicaría una disminución de la calidad de agua y a su vez la propagación de enfermedades, plagas, olores ofensivos, valores de demanda bioquímica oxígenos altos “(DBO de 4.000 a 5.000 mg/litro) para mataderos que no realizan separación de sangre ” (Portillo, 2014). Entre otras problemáticas que afectan la calidad de agua de la quebrada.

Por otra parte, la contaminación de la Quebrada Hornos genera problemas en la producción de los cultivos a ella aledaños, debido a que la mayoría de los habitantes utilizan el agua para riego, disminuyendo de esta manera la calidad de sus productos. Actualmente el matadero cuenta con un sistema de pretratamiento, en el cual solo se tratan grasas y sólidos suspendidos; posteriormente se realiza el vertimiento directo a la Quebrada Hornos. Es por esto que la alcaldía municipal junto con la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) busca la manera de implementar una PTAR para el matadero, sugiriéndose que éste sea de tipo compacto.

Debido a esta problemática se ve la necesidad de implementar una planta de tratamiento de aguas residuales para el matadero que sirve a una población que no supera los 6.000 habitantes. El tratamiento de aguas residuales cuenta con aspectos como la retención de las sustancias contaminantes, tóxicas y reutilizables; el tratamiento del agua como tal y el tratamiento del lodo, siendo contaminantes importantes los sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable, patógenos, nutrientes, contaminantes prioritarios, materia orgánica refractaria, metales pesados y sólidos inorgánicos (Maldonado & Ramón, 2013).

De ahí entonces la necesidad de desarrollar este trabajo que tendrá como propósito aplicar al área de Salud Ambiental y a la línea de investigación de Manejo Integrado del Recurso Hídrico, buscando plantear un sistema de tratamiento de agua residual que ayude a disminuir la contaminación de la Quebrada Hornos, ocasionada por los vertimientos contaminantes del matadero municipal, mejorando así no solo las condiciones ambientales sino también la salud de la población en la zona de estudio.

5. Pregunta de investigación

¿Cuál es el diseño más adecuado de una PTAR para el manejo de los vertimientos del matadero del municipio de Supatá que disminuya la contaminación de la Quebrada Hornos?

6. Subpreguntas de investigación

¿De qué manera el conocimiento del uso y la calidad hídrica de la Quebrada Hornos aguas abajo del vertimiento del matadero de Supatá, contribuye a la toma de decisión de la tecnología más adecuada para el tratamiento de los vertimientos?

¿Cuál es el tipo de PTAR más apropiado para el tratamiento de los vertimientos generados por el matadero?

¿De qué forma, la participación comunitaria contribuye a la toma de decisión de la alternativa de tratamiento de los vertimientos del matadero del municipio de Supatá?

7. Objetivos

7.1 Objetivo General

Proponer el diseño conceptual de una PTAR para el tratamiento de los vertimientos generados por el matadero de Supatá que contaminan la Quebrada Hornos.

7.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico socioambiental para determinar el uso y las condiciones en las que se encuentra el agua de la quebrada hornos como fuente receptora.
- Determinar el tipo de PTAR más apropiado para el tratamiento de los vertimientos generados por el matadero.
- Elaborar el diseño sociotécnico y conceptual de la PTAR para el matadero de Supatá.

8. Justificación

El tratamiento de las aguas residuales es cada vez más importante, no solo con el fin de reducir las cargas contaminantes emitidas a diario y vertidas en los cuerpos de agua, sino además para evitar problemas de salud pública e impactos ambientales directos en la fauna y flora. El agua ha tenido siempre influencia en el desarrollo cultural de la humanidad, hoy sigue siendo un factor vital, y este constante interés por el agua se ha convertido en una amenaza para el futuro, las fuentes superficiales son cada vez más escasas y contaminadas. En el caso del matadero del municipio de Supatá se están generando cargas orgánicas que contribuyen al deterioro de la calidad del agua de la Quebrada Hornos, por lo que es necesario poner en funcionamiento medidas de manejo ambiental complejas que solucionen el problema de forma definitiva (Hernández & Sánchez, 2014).

En los últimos años ha tomado importancia en el país el desarrollo de mecanismos que mitiguen el problema ambiental en distintos escenarios. Uno de los mayores causantes de contaminación en las fuentes hídricas son las industrias dedicadas al sacrificio animal, también llamados mataderos, que por el inadecuado manejo y disposición de los subproductos (rumen, estiércol y sangre, los cuales en su mayoría son enterrados o dirigidos directamente a las fuentes hídricas), provocan una alta carga contaminante, perjudicando así poblaciones que residen aguas abajo. Las aguas de desagüe y residuales deben ser recogidas, tratadas y eliminadas teniendo en cuenta las cantidades, el tipo de ganado, la índole de los líquidos y sólidos, las posibilidades de su uso después del tratamiento, la necesidad de evitar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud pública (Maldonado & Ramón, 2013).

En el municipio de Supatá Cundinamarca se ha visualizado la problemática de la contaminación de la Quebrada Hornos, debido a que el matadero no cuenta con una PTAR que permita el manejo adecuado de los vertimientos y que mitigue la contaminación de la fuente hídrica superficial, evitando de esta manera que se produzcan olores ofensivos y plagas de insectos que generan enfermedades a la comunidad. Esto ha sido un problema que se ha presentado desde que se construyó el matadero por lo que la Corporación Autónoma Regional le ha exigido al municipio la construcción de una PTAR que cumpla con los requisitos necesarios exigidos en el artículo 31 del Decreto 3930 de 2010. Por esta razón este municipio se encuentra en la necesidad de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales para la planta de beneficio animal, la cual cuenta con una capacidad de sacrificar 8 bovinos al día, actividad que se realiza los días martes y jueves, por lo que se faenan alrededor de 16 bovinos semanalmente (Oficina de Planeación de Supatá Cundinamarca, 2016).

9. Marco Referencial

A continuación, se presenta una recopilación de los antecedentes más significativos para este proyecto, así como las teorías y conceptos que permiten abordar de manera adecuada la presente investigación, adicionalmente se exhibe una aproximación del concepto geográfico en el que se desarrolla el proyecto, así como la normatividad vigente y pertinente que enmarca y orienta el desarrollo del trabajo.

9.1 Estado del Arte

Teniendo en cuenta la problemática de este proyecto, se realizó una búsqueda de artículos que trataran sobre el particular, la búsqueda incluyó artículos nacionales como internacionales, con el fin de tener diferentes puntos de vista.

Se realizó un estudio en el matadero municipal de la Paz con el propósito de modelar y simular el tratamiento anaerobio de los efluentes generados por la actividad en un reactor anaerobio de flujo ascendente. Los resultados experimentales sirvieron para calibrar y validar el modelo matemático que simula el comportamiento del pH, la reducción de materia orgánica y la producción de biogás. El modelo matemático dio como resultado un coeficiente de correlación (R) de 0.9394 y se simuló el tratamiento de los efluentes industriales en las condiciones reales de la descarga, bajo distintas opciones de operación, constituyéndose en un valioso aporte para el diseño final de la Planta de Tratamiento (Sossa & Alvarez, 2016).

Otro estudio evaluó el potencial de biometanización (PBM) de las aguas residuales de una planta de sacrificio bovino, ubicado en el municipio de Aguachica Cesar bajo las condiciones de la región y empleando como inóculo estiércol bovino. En ésta investigación se evaluó la implementación a escala industrial de los sistemas de bioconversión anaeróbica como una estrategia para el tratamiento de aguas residuales de planta de sacrificio bovinos en Colombia, en donde se observó el potencial energético de la digestión anaeróbica de las aguas residuales producidas mensualmente en la planta de sacrificio bovino porque produce 31235kwh de energía eléctrica (47%) y 62500kwh (49%) de energía térmica del consumo de la planta (Castro Molano, Escalante Hernández, Gómez Serrato, & Jiménez Piñeros, 2016).

En el Estado Zulia Venezuela, se realizó un estudio de la remoción de nutrientes en un efluente cárnico utilizando un reactor por carga secuencial (SBR) a escala laboratorio. Con un volumen útil de 2L. El reactor fue operado bajo una secuencia operacional anaeróbica/aeróbica/anóxica, un tiempo de retención celular de 25 días y dos tiempos de retención hidráulica (11 y 15 h), generando dos tratamientos T1 y T2, respectivamente. Los parámetros medidos al inicio, durante y al final de cada ciclo evaluado fueron demanda química de oxígeno total (DQOT), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), nitrógeno amoniacal (N-NH₄₊), nitritos (N-NO₂₋), nitratos (N-NO₃₋), pH, alcalinidad total y fósforo total (PT). Se obtuvo como resultado que los dos tratamientos aplicados al efluente industrial del matadero de reses en el reactor por carga secuencial, permitieron la remoción simultánea de nutrientes y materia orgánica, debido a la flexibilidad del reactor para adaptarse a distintas condiciones de operación, obteniendo remociones superiores al 95 % para la DQOT, 69 % para el NT y 29 % para el PT (Carrasquero Ferrer, y otros, 2015).

Otra de las investigaciones realizadas una central de sacrificio se analizó la eficiencia de la semilla del árbol M. Oleífera como sustancia coagulante en tratamiento de aguas residuales. Para ello se realizaron

pruebas de coagulación/floculación, en una prueba de jarras, adicionando dosis predeterminadas del coagulante de origen natural *M. Oleífera* que se obtuvo mediante la pulverización de semillas y extracción de su polvo. La muestra de agua residual se tomó a la salida de la central de sacrificio luego del tratamiento preliminar que consta de una rejilla de limpieza manual. En cada ensayo realizado se midió pH, turbiedad, color, temperatura; demanda biológica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), Coliformes totales y fecales, con el fin de calcular la remoción. Los resultados obtenidos fueron una dosis óptima (7.500 mg/l) y una concentración óptima del 5%, logrando una eficiencia de remoción del color y turbidez de aproximadamente 87 % y 80 %, respectivamente (Arias Hoyos, Hernández Medina, Castro Valencia, & Sánchez Peña, 2017).

Otro estudio utilizó el polvo de semillas de *M. oleífera* como un coagulante natural para la adsorción de contaminantes orgánicos del agua residual de un matadero, en donde se evaluaron los efectos del tiempo de adsorción, el pH inicial, la concentración de aguas residuales del matadero y la dosificación de semillas en polvo. En este estudio se demostró que se necesita 180 min para una alta adsorción. Se obtuvo una demanda química de oxígeno (DQO) de 5.614 mg / L (64%) y se alcanzó utilizando 7 g / L de polvo de semilla, pH 9 y 8,772 mg / L de contaminante en aguas residuales (Real Olvera, Rustrian Portilla, & Landa Huerta, 2015).

Un estudio más consultado, mostró la evaluación del efecto de la irradiación con haz de electrones sobre la ecotoxicidad de efluentes de matadero con dosis absorbidas de hasta 35 kGy. Se aplicaron dos ensayos de toxicidad aguda para evaluar la eficacia de la irradiación sobre la toxicidad de las aguas residuales. Se utilizó la bacteria luminiscente *Vibrio fischeri* y un microcrustáceo de agua dulce *Daphnia similis*. También, se analizó el carbono orgánico total para determinar cualquier posible eliminación de carbono orgánico después de la irradiación. Se obtuvo como resultado la toxicidad del efluente y su similitud para ambos organismos y el potencial de la radiación para reducir estos efectos (Madureira, Melo, Pimenta, Cabo Verde, & Borrely, 2017).

En este estudio se trataron aguas residuales de un matadero mediante un proceso de coagulación utilizando cal y alumbre (individual y en combinación) como coagulantes. La eliminación de DQO aumentó con la dosis de alumbre, en cuanto al lodo el proceso no fue factible. La DQO se redujo al 74%. La velocidad de sedimentación de los lodos fue baja en comparación con el alumbre. Cuando se combinó la cal con el alumbre, se logró la eliminación de DQO hasta el 85%. La combinación de la precipitación de coagulación dio una eliminación de DQO mejorada con un lodo mínimo producido (Tariq, y otros, 2011).

9.2 Marco Conceptual

9.2.1 Clasificación de Mataderos Según su Capacidad

Es relevante tener en cuenta que la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud en Colombia (Decreto 1036 de 1991) clasifican a las organizaciones del sector según su capacidad de sacrificio, disponibilidades técnicas y dotación, como se presenta a continuación.

Tabla 1. Clasificación según su capacidad

Clase	Res (sacrificios/día)	Cerdo (sacrificios/día)
Tipo I	>480	>400
Tipo II	320 – 480	240 – 400
Tipo III	160 – 320	120-240
Tipo IV	40 – 160	40 – 120
Tipo V	10	10

Fuente: (Acero, Riaño, & Cardona, 2013)

9.2.2 Aceptor de Electrones

Puesto que el principio de los Fangos Activos es la aireación de una masa de fango biológico y agua residual, las bacterias anaerobias ven imposibilitado su crecimiento. Se pueden dar condiciones anaerobias en el interior de las flóculos, pero como éstos continuamente se disgregan y se vuelven a formar, las pequeñas zonas anaerobias son insuficientes para mantener ese tipo de bacterias (Camacho, 2001).

9.2.3 Sustrato

La relación C/N (Carbono/Nitrógeno) es importante en el desarrollo del tipo de bacterias. Cuando la proporción de nitrógeno aumenta, se favorece el crecimiento de bacterias autótrofas en detrimento de los heterótrofos. Por otro lado, existen bacterias que tienen más capacidad que otras para tratar productos menos degradables. Por ejemplo, las bacterias responsables de la eliminación de fósforo necesitan sustratos muy fácilmente degradables (Camacho, 2001).

9.2.4 Diseño de la Sedimentación

El tiempo de residencia en el sedimentador de un tratamiento de Fangos Activos fija el máximo tiempo que puede tratar en decantar un determinado tipo de microorganismos, de forma que muchos de ellos no podrán retornar con el fango concentrado por tener una lenta sedimentación (Camacho, 2001).

9.2.5 Filtros Percoladores

También llamados lechos bacterianos. Son el sistema de tratamiento biológico soportado más habitual. Constan de un medio poroso a través del cual pasa el agua. Los microorganismos se hallan fijados en la superficie del medio. El agua residual se añade por arriba pero no se anega el lecho, de manera que siempre existe aire en contacto con la biomasa (Camacho, 2001).

9.2.6 Concentración de Oxígeno Disuelto

Las limitaciones disfuncionales juegan un papel importante en la concentración de oxígeno en las inmediaciones de los microorganismos, por lo que el tamaño de los flóculos tiene mucha influencia en la concentración de oxígeno disponible. En sistemas con bajas edades de fango y alta carga, el consumo de oxígeno es elevado y pueden crearse deficiencias en el interior de los flóculos, ante las cuales las bacterias nitrificantes son mucho más sensibles que las heterótrofas (Camacho, 2001).

9.2.7 Alcalinidad

Es una medida de la concentración del carbono inorgánico en el agua que pueden usar los microorganismos autótrofos. Durante el proceso de nitrificación se producen una reducción de la

alcalinidad del agua, pero se produce únicamente durante la primera etapa, en donde ocurre la transformación de amonio en nitrito. Por cada mg de N que se oxida a nitrito se consumen aproximadamente 7,14 mg de alcalinidad expresada como CaCO_3 . La influencia de la alcalinidad es de gran importancia en la nitrificación de aguas blandas (Camacho, 2001).

9.2.8 *Desnitrificación*

Es la transformación biológica del nitrógeno oxidado (N-NO_3) en formas más reducidas, que generalmente llevan hasta el nitrógeno molecular N_2 que escapa a la atmósfera. Muchas bacterias pueden utilizar el NO_3 en lugar del oxígeno como aceptor final de electrones. Estas bacterias son organismos heterótrofos facultativos. La desnitrificación ocurre en presencia de nitratos y ausencia de oxígeno molecular, es decir, en condiciones anóxicas. Siempre que haya oxígeno en el medio, la materia orgánica se oxidará con éste y las bacterias no usarán los nitratos para tal fin (Camacho, 2001).

9.2.9 *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

Es una medida de la concentración de sustancias que en agua pueden ser atacadas por un oxidante fuerte en altas temperaturas ($350\text{ }^\circ\text{C}$). La DQO no siempre guarda relación con la DBO, aunque generalmente es mayor. Esta prueba, aunque es mucho más rápida de realizar que la DBO, toma aproximadamente 3 horas en el laboratorio, se opta por técnicas más veloces, como la del carbono orgánico total que solo requiere algunos minutos para su determinación (Jiménez, 2001).

9.2.10 *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*

Es una medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica en el agua en 5 días a $20\text{ }^\circ\text{C}$. Sólo evalúa la demanda ejercida por la fracción carbonada, la de los sulfuros y del ion ferroso; excluye la fracción nitrogenada. La DBO no mide un compuesto en especial, sino todos los biodegradables. Por vía aerobia; se expresa en $\text{mg O}_2/\text{L}$. En la actualidad, existen varios métodos para detectar la DBO, desde el de diluciones hasta los de técnicas respirométricas. El agua de calidad potable tiene DBO promedio mensual del orden de 0,75 a 1,5 $\text{mg O}_2/\text{L}$; el agua residual doméstica oscila entre 200 a 300 $\text{mg O}_2/\text{L}$ y algunos efluentes industriales pueden alcanzar hasta 20 g/L (Jiménez, 2001).

9.3 *Marco Teórico*

Este proyecto se va a desarrollar en el matadero del municipio de Supatá Cundinamarca, debido a que no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales y por ende contamina la Quebrada Hornos. Esta contaminación, como muchas otras, es producto de la falta de mecanismos efectivos para el control y tratamiento de los desechos que tienen como destino la mayoría de las veces algún cuerpo de agua superficial, en efecto las aguas superficiales son la parte de la hidrósfera terrestre que más deterioro presentan gracias a su gran poder para transportar cualquier cantidad de materiales sean líquidos o sólidos, razón suficiente para ser empleadas por el sector industrial como el colector predilecto de sus residuos (Castillo & Rangel, 2012).

La mayoría de los frigoríficos cárnicos en Colombia se localizan en las riberas de los ríos, con la costumbre de verter los residuos, con el inconveniente de que son pocas las organizaciones que poseen plantas de tratamiento de agua residuales con tecnologías biológicas anaeróbicas o aeróbicas y fisicoquímicas o una combinación de las dos, que cumplan con los parámetros de vertimientos exigidos

por la autoridad ambiental de cada ciudad, región o municipio, y en algunas únicamente se realiza retención en la fuente mediante rejillas o trampas de grasas, como lo es en el caso de Supatá Cundinamarca (Acero, Riaño, & Cardona, 2013).

En Colombia los 25 frigoríficos cárnicos Clase (II) tienen no conformidades en su mayoría críticas con alto riesgo ambiental y sanitario. Por su parte, en Colombia los frigoríficos cárnicos Clase (III) tampoco cumplen lo estipulado por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) en cuanto al uso del suelo. Por último, los frigoríficos cárnicos en Colombia, de Clase (IV) y mínimo, que corresponden a 81%, son propiedad de los municipios y operan sin consultar la normatividad, ni los factores ambientales, sanitarios y de mercado que los haga viables, el 41% sacrifica en el piso (Procuraduría General de la Nación, 2008).

Los últimos estudios relativos a la cuantificación de los recursos hídricos muestran que la cantidad de agua en el planeta se mantiene constante; sin embargo, la calidad se deteriora, dando lugar a una disminución del recurso hídrico en términos de su oferta. A su vez, la demanda del recurso hídrico se incrementa proporcionalmente al crecimiento de la población, lo cual hace suponer que un exceso o déficit de la oferta de este recurso da lugar a un conflicto social. Si se acepta que la tendencia de la demanda será siempre a aumentar, llegará un momento en el que la demanda será mayor que la oferta. El impacto ambiental que puede provocar el manejo de materia orgánica está ligado al aspecto higiénico-sanitario, por lo que no hay que limitar esfuerzos para una correcta desinfección de instalaciones y en el momento de la faena evitar todo tipo de comunicación con el ambiente exterior, a fin de evitar impactos ambientales desfavorables del y hacia el medio ambiente.

Cabe destacar que la industria frigorífica es una de las que más poder contaminante posee si no se tratan sus efluentes de manera efectiva. Sin embargo, en general todos sus efluentes pueden llegar a ser reutilizados, siendo la inversión requerida para dicho tratamiento rápidamente recuperable. Los tratamientos a desarrollar implican la recuperación de los productos residuales que pueden llegar a amortizar las inversiones; en otros casos, la inversión es necesaria y debe afrontarse para evitar llegar a niveles incompatibles con la vida vegetal, animal y humana (Portillo, 2014).

9.3.1 Teoría de la Sedimentación

La teoría básica de la sedimentación se basa en un equilibrio entre la fuerza de la gravedad y las fuerzas de fricción a partir de las siguientes ecuaciones:

Fuerzas sobre las partículas. $F_1 = (\rho_1 - \rho)gV$ Impulso o fuerza gravitatorias

Dónde:

ρ es la densidad de la partícula; g es la gravedad; V es la velocidad de la partícula.

Fuerzas de fricción, $F_d = C_D A \rho V^2 / 2g$

Dónde:

A_p es el área de la partícula; V es la velocidad de la partícula; g es la gravedad; R es el número de Reynolds

Para esferas hasta $R=10.000$

$$C_D = 24 + \frac{3}{R} + \frac{0,34}{\sqrt{R}}$$

En el estado estacionario $F_1 = F_d$ Simplificando, se obtiene la ley de Stokes para valores de R menores a 1

$$V = \frac{g (\rho_s - \rho) d^2}{18 \rho \mu}$$

Dónde:

V es la velocidad de caída de las partículas; g es la gravedad; ρ_s es la densidad de las partículas; ρ es la densidad del fluido; d es el diámetro de la partícula; μ es el coeficiente de viscosidad.

Esta es la fórmula básica para determinar la velocidad de decantación para la mayoría de los sólidos no coalescentes. Es evidente que cuando el tamaño y la densidad aumentan, las fuerzas de fricción también aumentan. Si el flujo de sólidos es demasiado elevado, y/o los sólidos tienen la tendencia a aglomerarse, se puede entorpecer su decantación. Las concentraciones de aguas residuales o biosólidos orgánicos por encima de 3.500 mg/l y de limos por encima de 6.000 mg/l puede obstaculizar la decantación. A menudo, el resultado es una disminución de la velocidad de decantación en masa o en la sedimentación por zonas (Russell, 2012).

9.3.2 Teoría de Transferencia de Masa

La ósmosis inversa es un proceso donde el flujo natural de un fluido a través de una membrana semipermeable se invierte mediante la aplicación de presión a la disolución concentrada. Cuando la presión aplicada es mayor que la presión osmótica natural, el disolvente fluirá a través de la membrana para formar una disolución diluida en el lado opuesto y otra más concentrada en el lado donde se aplica la presión.

La temperatura de la disolución, las propiedades de la membrana y las diferencias en las presiones aplicadas y osmóticas, influyen en el flujo de agua que cruza la membrana.

Para calcular el flujo de un concepto A a través de la membrana, N_A , se utiliza la siguiente ecuación:

$$N_A = P_A \left(\frac{\Delta\Phi}{L} \right)$$

Dónde:

N_A = flujo de A a través de la membrana (masa/tiempo-longitud²); P_A = permeabilidad de A (masa-longitud/tiempo-fuerza); $\Delta\Phi$ = fuerza impulsora de A a través de la membrana. Esto también puede ser una diferencia en la concentración o una diferencia en la presión (masa/longitud² o fuerza/longitud²) y L = grosor de la membrana (espesor).

Para obtener la presión osmótica, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\pi = C_s RT$$

Dónde:

π = presión osmótica (fuerza/longitud²); C_s = concentración de los solutos en disolución (moles/longitud²); R = constante de los gases ideales (fuerza-longitud-masa-temperatura); T = temperatura absoluta (K o ° R).

Una de las razones que obstaculizan la decantación es la aglomeración de flóculos y el agua atrapada en ellos, lo que conlleva a una densidad aparente menor.

$$S_m = \frac{100}{(100 - P)S_s + P/S}$$

Dónde:

S_m = gravedad específica aparente de un grupo de partículas; ρ = porcentaje de agua arrastrada; S_s = gravedad específica real, y S = gravedad específica del líquido (Russell, 2012).

9.3.3 Tratamiento Primario Físico

El tratamiento primario de las aguas residuales de mataderos e industrias cárnicas casi siempre consiste en un proceso de separación simple física para recuperar los sólidos suspendidos. Los principales procesos de tratamiento físico son el tamizado o cribado, la separación por gravedad y la flotación con aire disuelto. Puede incluirse también un tratamiento químico o físico-químico para facilitar la separación por medios físicos (Moreno García, 2006).

En efecto, el principio del proceso consiste en que la estabilidad de la mayoría de los sistemas emulsionados se debe a la carga electrostática que llevan las partículas. Sin los tratamientos químicos, las proteínas solubles, las grasas emulsionadas y los coloides presentes en las aguas residuales no forman aglomerados y se separan, debido a su pequeña masa y a su carga eléctrica de superficie, que ejerce una fuerza de repulsión entre las partículas. Para facilitar su coagulación y floculación, es necesario reducir esta carga o vencer sus efectos. Por encima del punto isoelectrico, en que las proteínas disueltas carecen de carga neta, su carga es negativa y por debajo positiva. Así si se ajusta el pH de las aguas residuales a 4-5, muchas de las proteínas estarán próximas a su punto isoelectrico y su solubilidad será mínima, por lo que la precipitarán. Esto no sucede con la hemoglobina, que no basta un simple ajuste del pH, sino que es necesario un proceso más complejo (cambio del pH en dos fases) (Moreno García, 2006).

Si además de ajustar el pH, se añaden coagulantes catiónicos y aniónicos, se consigue una mayor eficacia en la eliminación de las proteínas y otras materias orgánicas. Los coagulantes catiónicos más utilizados son las sales de hierro (Fe^{3+}) y aluminio (Al^{3+}). Estos iones interaccionan con las proteínas cargadas negativamente y los coloides y su máximo efecto en las aguas residuales procedentes de mataderos e industrias cárnicas de polielectrolitos sintéticos mejora la separación, por formación de flóculos mayores, más densos y estables. Una ventaja de las sales de hierro y de aluminio es que precipitan también una buena parte del fósforo presente y un inconveniente que imposibilita la utilización de los sólidos recuperados en alimentación animal. Los coagulantes aniónicos interaccionan con las proteínas cargadas positivamente, por lo que sólo son eficaces a pHs por debajo de su punto isoelectrico. Entre los más utilizados, pueden citarse el hexametáfosfato sódico a pH 3,5, el lignosulfonato sódico a pH 3 y el alginato sódico a pH 3,5-4,5 (Moreno García, 2006).

9.3.4 Tratamientos Secundarios o Biológicos

9.3.4.1 Tratamientos en Aerobiosis

9.3.4.1.1 Balsas o Lagunas Aeróbicas:

Son de dos tipos, según que la aireación sea natural (estanques de oxidación) o mecánica. Su profundidad es escasa (1-1,5 metros) para que penetre la luz solar, y la oxigenación se produce por medios naturales: mediante el fenómeno de la fotosíntesis de las algas que crecen en ellas y por la difusión provocada por el viento a partir de la atmósfera. Las segundas son más profundas (2-3 metros)

y la oxigenación se consigue por agitación de las aguas residuales o por introducción en ellas de pequeñas burbujas de aire a presión.

El problema que tienen las balsas o lagunas aeróbicas es el tiempo de retención, que puede ser de días a semanas, dependiendo de la carga contaminante de las aguas (Moreno García, 2006).

9.3.4.1.2 Sistema de Lodos o Fangos Activados:

Se basa en el desarrollo de determinados microorganismos aerobios sobre las partículas de materia orgánica, formando pequeños cuerpos esponjosos denominados flóculos biológicos, que se alimentan de los compuestos biodegradables disueltos en el agua residual. Se trata del mismo proceso que tiene lugar en el medio natural, sólo que con unas concentraciones de biomasa o sustrato mucho mayores, lo que hace imprescindible el aporte adicional de oxígeno (Castells, 2002).

9.3.4.1.3 Los Sistemas de Crecimiento Sobre Superficies:

Se trata de tanques cilíndricos de cemento, rellenos de materiales inertes y porosos, que ofrecen una gran superficie, como piedras, trozos de ladrillo, escorias y grava. Los materiales del lecho deben ser suficientemente grandes como para que el aire penetre hasta el fondo, pero lo suficientemente pequeños como para hacer lo más extensa posible la superficie donde se desarrolla la actividad microbiana. El efluente se distribuye por aspersión en toda la superficie del lecho y penetra a su través, teniendo lugar la oxidación por acción de comunidades biológicas que se establecen como capas mucosas o gelatinosas sobre las superficies de los materiales, constituidas por bacterias, mohos, protozoos e incluso larvas de mosca y vermes, que se encargan de la digestión de los residuos. Estas películas biológicas de viscosidad o limo deben retirarse periódicamente para evitar que sean excesivamente gruesas y adquieran caracteres anaerobios, lo que disminuirá su eficacia. Con un fundamento parecido, existen también lechos bacterianos móviles: contactadores biológicos rotatorios o biodiscos y rellenos plásticos (Moreno García, 2006).

9.4 Marco Legal

La siguiente tabla describe las leyes y normas que se deben tener en cuenta para la elaboración del proyecto, la especificación de los artículos que más aplican, y la justificación de estos mismos en la investigación.

Tabla 2. Normatividad más relevante para el proyecto de investigación

Tipo	Número	Año	Título	Expedida por	Artículo	Justificación
		1991	Constitución Política de Colombia	Asamblea Nacional Constituyente	Art. 49 Art. 79 Art. 366	Protege los derechos ambientales. Menciona explícitamente el derecho a gozar de un ambiente sano, y el deber que tiene el Estado de proteger la

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

						diversidad e integridad del ambiente, mejorar la calidad de vida de la población y solucionar necesidades insatisfechas con relación a la salud y saneamiento ambiental.
Decreto Ley	2811	1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y No Renovables	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Art.1 Art. 70 Art. 134 Art. 136 Art. 137 Art. 138	El Decreto menciona que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto: lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, siendo las Plantas de Aguas Residuales una herramienta para ayudar a mantener y preservar el agua.
Ley	9	1979	Código Sanitario Nacional	El Congreso de la República de Colombia	Art. 3 Art. 4 Art. 16 Art. 73 Art. 582	Esta ley establece las normas generales que funcionan como base para las disposiciones y reglamentaciones en favor de

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

						preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo relacionado con la salud humana; también dicta los procedimientos y medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de descargas de residuos y materiales que afectan o puedan afectar las condiciones sanitarias del ambiente.
Decreto	3930	2010	Usos del agua y residuos líquidos	El Presidente de la República de Colombia	Art. 41 Art. 42 Art. 43 Art. 72	En este decreto se encuentra información y reglamentación relacionada a las condiciones que debe tener el uso del agua, al realizar un vertimiento y se expresa que no son permitidos vertimientos de residuos líquidos que lleguen a alterar las características del cuerpo de agua.
Resolución	1096	2000	Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico	Ministerio de Desarrollo Económico	Art.86 Art.119 Art.121 Art. 175 Art. 176	Esta resolución adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RAS. Se menciona temas

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

						importantes para la investigación como el tratamiento y manejo de lodos, sistemas de instrumentación y control, la desinfección de los efluentes de las PTAR y Manejo de lodos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
NTC-ISO	5667-10	1995	Gestión Ambiental. Calidad de agua.	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)		Esta norma contiene detalles con relación a las aguas residuales en todas sus formas, es decir, aguas residuales industriales y las aguas residuales domésticas tratadas y sin tratar. Esta norma además permite determinar la concentración de contaminantes en una corriente de aguas residuales; determinar la carga de contaminantes y proporcionar datos para la operación de una PTAR.
GTC	31	1996	Gestión Ambiental. Agua	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)		Esta norma describe el método para detectar y determinar el efecto agudo en organismos, ante la presencia de sustancias tóxicas o mezcla de ellas, contenidas en las

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

						aguas residuales y permite obtener la concentración letal media.
CONPES	3177	2002	Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales.	Ministerio del Medio Ambiente & Ministerio de Desarrollo Económico		Este documento presentan, como su nombre lo indica las acciones y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de las fuentes hídricas, así como la capacidad de pago de la población y la sostenibilidad financiera para la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado.

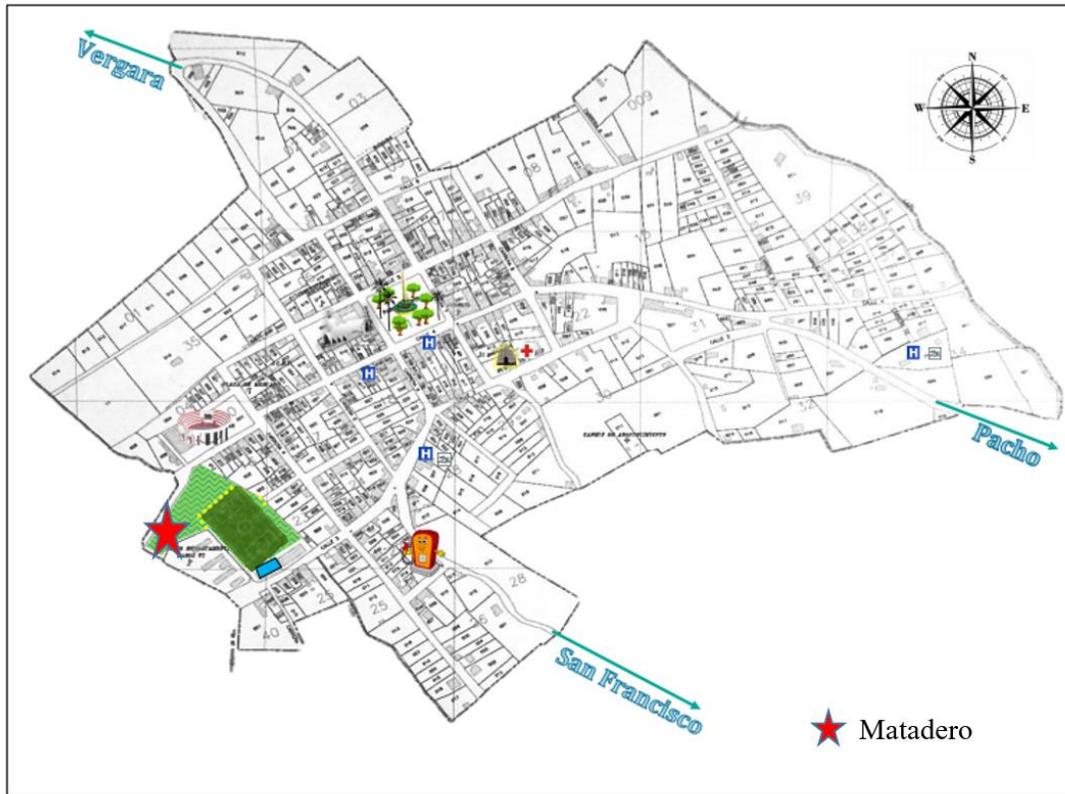
Fuente: (Autores, 2018)

9.5 Marco Geográfico

El área geográfica en el cual se va a realizar la investigación, es en el departamento de Cundinamarca, municipio de Supatá. Está ubicado en la Provincia del Gualivá, a 76 km de Bogotá. Supatá cuenta con una extensión de 128 Km², una altura de 1.797 msnm y una temperatura promedio de 19 °C, sus coordenadas geográficas son: 5° 3' 0'' Norte, 74° 15' 0'' Oeste. Limita con los municipios de Pacho, Vergara, Subachoque, La Vega y San Francisco (Alcaldía de Supatá, 2017), como se muestra a continuación en la figura.

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

Figura 1. Mapa de Supatá, Cundinamarca



Fuente: (Alcaldía de Supatá, 2017)

El matadero municipal se encuentra ubicado al sur occidente del casco urbano sobre una extensión aproximadamente a los 10.000 m² de propiedad del Municipio. Para uso del matadero solo se utilizan 260 m² en los cuales el faenamiento se realiza en el suelo. Se sacrifican 16 reses a la semana los días martes y jueves. El matadero no tiene un sistema de tratamiento de residuos sólidos y líquidos, contaminando enormemente la Quebrada Hornos que pasa a solo 30 m de distancia (Esquema de Ordenamiento Territorial , 2001-2009).

El área para el proceso del faenamiento del ganado es insuficiente, presentándose contaminación en la carne. El lote se encuentra invadido por tres familias, quienes construyeron unas viviendas en guadua y cultivan la tierra. Estas personas manipulan los residuos del sacrificio, empeorando aún más el problema sanitario. El acceso vial al matadero es muy complicado por la pendiente existente. El lugar presenta deterioro y falta de mantenimiento. La Alcaldía Municipal contrata por prestación de servicios un administrador del matadero (Esquema de Ordenamiento Territorial , 2001-2009).

Figura 2. Matadero de Supatá, Cundinamarca



Fuente: (Autores, 2018)

9.5.1 Población

Según las proyecciones del (DANE, 2011) el municipio de Supatá para el año 2018 tiene una población de 5.027 habitantes, de los cuales 1.546 pertenecen a la cabecera municipal y 3.481 pertenecen al área rural del municipio.

9.5.2 Relieve

La geomorfología del municipio es el resultado de procesos evolutivos derivados de las características intrínsecas de las formaciones geológicas, de las condiciones topográficas imperantes y de los aspectos climáticos, sin desconocer los elementos externos. La abrupta topografía de la cuchilla del Tablazo, ha derivado procesos geomorfológicos de coluvios, caracterizados por la presencia de grandes cantidades de piedra de diferentes tamaños, tanto en la falda como en el pie de este levantamiento orográfico (Alcaldía Municipal de Supatá, 2016).

La alta precipitación pluvial sumada a las fuertes pendientes, es responsable de la formación de aluviones y/o coluvios. Aluviones con orientación oriente occidente y el depósito de gran cantidad de material pétreo, clasificado por tamaño según la distancia recorrida (Alcaldía Municipal de Supatá, 2016).

Un elemento externo de los procesos geomorfológicos ha sido el depósito de cenizas volcánicas provenientes de las erupciones del volcán Nevado del Ruiz en épocas muy lejanas o recientes, sobre la formación Villeta, configurando en algunos casos un relieve menos quebrado y de Lomerío. El municipio presenta un relieve de montaña en heterogeneidad en cuanto a porcentaje de pendiente, que va desde ligeramente quebrado y longitud de las pendientes (Alcaldía Municipal de Supatá, 2016).

9.5.3 Clima

Supatá está por ubicación sometido a las condiciones atmosféricas de la zona de confluencia intertropical (Z.C.I.T), que determina dos épocas lluviosas (marzo, mayo), alternadas por dos épocas de verano intercaladas (septiembre, noviembre); Topoclimáticamente el municipio está influenciado por la circulación valle -montaña, en la cual los vientos cálidos y cargados de humedad provenientes del valle

del río Magdalena, chocan contra la cuchilla del Tablazo, lo cual explica la alta precipitación y la constante nubosidad en la zona (Alcaldía Municipal de Supatá, 2016).

Otro factor modificante del clima es la altura sobre el nivel del mar, principalmente sobre la temperatura del ambiente. Motivo por el cual se ha clasificado por pisos térmicos de la siguiente manera:

Piso térmico cálido: Con temperaturas de 28 °C en promedio, y alturas menores a 1.100 m.s.n.m.

Piso térmico templado: Con temperaturas promedio de 18 °C – 24 °C, y alturas entre 1.100 y 2.000 m.s.n.m.

Piso térmico frío: Con temperaturas promedio de 12 °C-17 °C y alturas entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m.

Subpáramo: Con temperaturas de 8 °C – 12 °C y alturas entre 3.000 y 3.500 m.s.n.m.

De acuerdo a lo anterior el municipio de Supatá presenta tres pisos térmicos:

Tabla 3. Pisos térmicos de Supatá

Piso térmico	Área Km²
Subpáramo	58
Frio	58
Templado	60.8

Fuente: (Alcaldía Municipal de Supatá, 2016)

9.5.4 Cobertura de Uso del Suelo

El 99% del área municipal se cubre con cultivos, pastos, bosques, agua y rastrojo. Tan solo el 0.30% del área tiene uso urbano. Aproximadamente existen 128.600 m² en construcción. La vivienda tiene la mayor participación. Entre los cultivos de mayor importancia está el café, el pasto, la caña de azúcar, plátano y yuca. Se entiende como área en conflicto una determinada zona en la que según sus características biofísicas no corresponden al uso que se está dando en el momento, teniendo como consecuencia la destrucción o afectación irreversible del área (Alcaldía Municipal de Supatá, 2016).

9.5.5 Hidrografía

La hidrografía del municipio se presenta de acuerdo con la disposición del relieve, que ha dado lugar a la formación de numerosos arroyos y quebradas que desembocan en el río Supatá y forman parte de la cuenca del Río Negro, y esta a su vez forma parte de la gran cuenca del río Magdalena (Alcaldía Municipal de Supatá, 2016). La subcuenca del río Supatá nace en los pies de la cuchilla del Tablazo en la vereda de Montedulce, aproximadamente a 2.850 m.s.n.m., es la mayor fuente hidrográfica del municipio y lo atraviesa de suroeste a noreste, siendo alimentado por 14 microcuencas las cuales se describen a continuación se describen a continuación:

Lado Izquierdo

Microcuenca de la quebrada de San José

Microcuenca de la quebrada de El Encantado

Microcuenca de la quebrada de La Cabrera

Microcuenca de la quebrada de La Reforma

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

Microcuenca de la quebrada de La Esperanza
Microcuenca de la quebrada del Muerto
Microcuenca de la quebrada del Grande

Lado Derecho

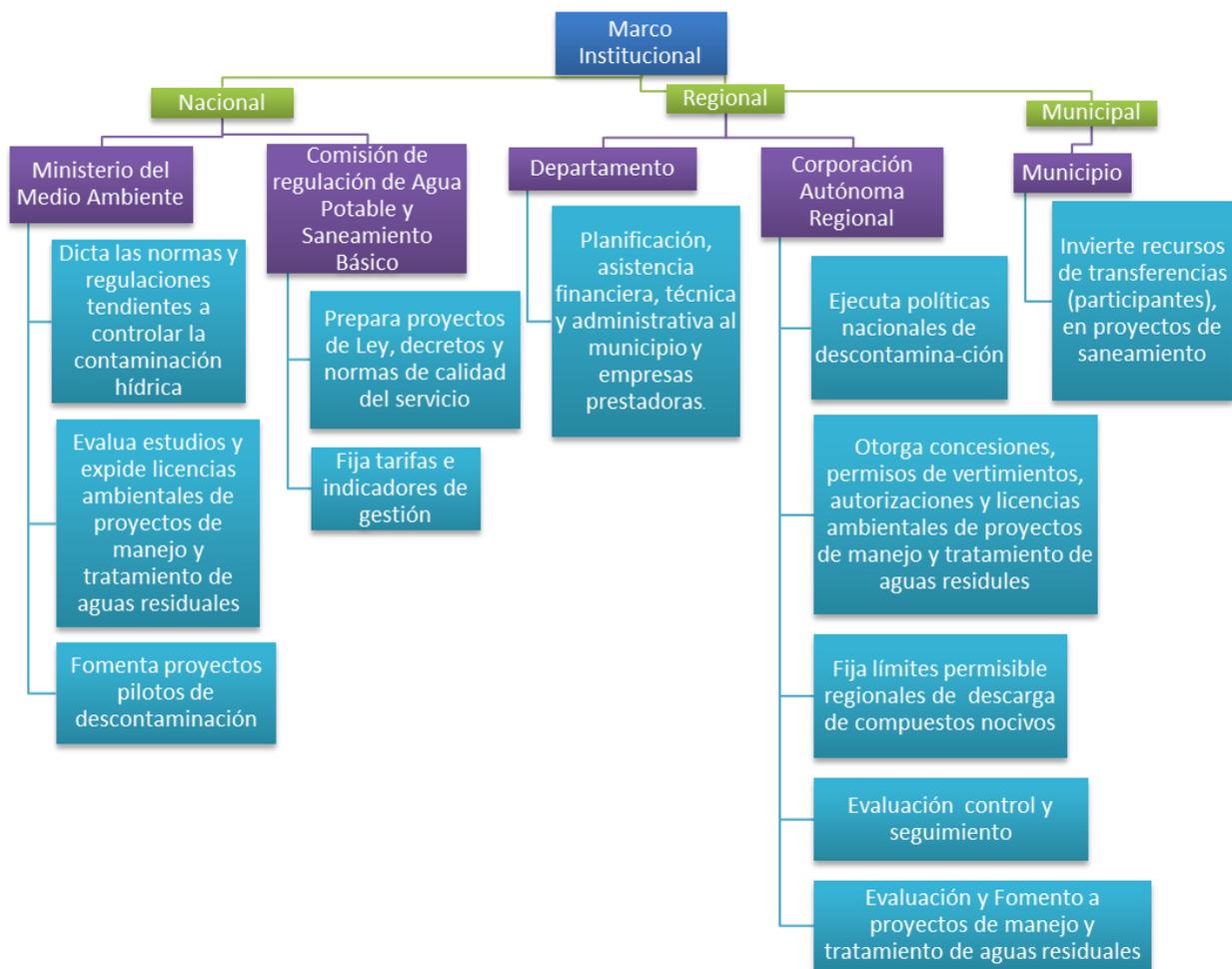
Microcuenca de la quebrada El Vejerón.
Microcuenca de la quebrada Oso
Microcuenca de la quebrada de Los Negros
Microcuenca de la quebrada Hornos
Microcuenca de la quebrada de Las Juntas
Microcuenca de la quebrada La Batea
Microcuenca de la quebrada de Catusuca
Microcuenca de la quebrada de Las Minas

También aparecen varias lagunas, de las cuales el mayor espejo de agua es la laguna de Hispania, ubicada en la Hacienda de este mismo nombre localizada en la vereda de Montedulce a 2.800 m.s.n.m (Alcaldía Municipal de Supatá, 2016).

9.6 Marco Institucional

A continuación, se presenta una figura que describe el marco institucional desde el nivel nacional, regional y municipal, y se muestran las funciones de cada uno de los actores involucrados en el tema relacionado con la problemática del proyecto.

Figura 3. Marco Institucional



Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 2002)

Como se puede observar en la figura anterior el ministerio del medio ambiente tiene como funciones dictar las normas y regulaciones correspondientes para el control de la contaminación hídrica, así como evaluar estudios y expedir licencias ambientales de proyectos de manejo y tratamiento de aguas residuales. La comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico están encargados de preparar proyectos de ley, decretos y normas de calidad del servicio.

El departamento, para este caso Cundinamarca, tiene como función la planificación, asistencia financiera, técnica y administrativa al municipio. La corporación autónoma regional (CAR) debe ejecutar las diferentes políticas nacionales de descontaminación y también evaluar y fomentar proyectos de manejo y tratamiento de aguas residuales. Por último, el municipio deberá invertir recursos en proyectos de saneamiento.

10. Metodología

A continuación, se presenta la metodología de la siguiente manera: en primer lugar, el diseño metodológico describiendo el enfoque, el alcance y el método de la investigación, seguido por la matriz metodológica, fuentes de información utilizadas en el desarrollo del trabajo y finalmente se describe la metodología aplicada por cada uno de los objetivos específicos planteados.

10.1 Diseño Metodológico

El presente trabajo de investigación presenta un *enfoque* mixto debido a que abarca parámetros de tipo cualitativo y cuantitativo, los cuales en conjunto ayudan a recopilar los datos y la información pertinente para poder dar cumplimiento a los objetivos propuestos para el desarrollo del proyecto.

El trabajo de investigación tiene un componente cualitativo, debido a que para su desarrollo se necesitó de un diseño de investigación de teoría fundamentada, es decir, se parte de unos referentes teóricos consultados y se incluye en el proceso el trabajo con la comunidad, evidencias e información recolectada en campo con las que se generan argumentos nuevos fundamentada en dichos referentes teóricos previamente consultados (Hernández Sampieri, Fernandez, & Baptista, 2010).

El trabajo de investigación por otra parte, comprende un componente cuantitativo de tipo no experimental, este diseño permite la recolección de datos en un tiempo determinado (Mendoza, 2009), y se dividen en explicativo, exploratorios, descriptivos y correlacionales (Hernández Sampieri, Fernandez, & Baptista, 2010), para el caso de la investigación desarrollada se empleó un *alcance* descriptivo, debido a que es un proyecto que busca especificar las características importantes del manejo de aguas residuales del matadero del municipio, en donde se medirán las variables correspondientes a la problemática que se busca mitigar; de manera que se describan fenómenos, situaciones y sucesos, para identificar la causa del problema, partiendo desde una inmersión en campo que permita elaborar diagnóstico previo del municipio con relación al uso y manejo de la Quebrada Hornos como fuente receptora.

Finalmente, el *método* será deductivo; lo cual implica remitirse unas teorías con relación a la problemática aplicando dichas teorías en un caso en particular como lo es la contaminación de la Quebrada Hornos generada por los vertimientos realizados por el matadero de Supatá Cundinamarca, se recogen datos posteriormente analizados, se propone una solución y se plantean conclusiones.

10.2 Matriz Metodológica

A continuación, se describen en la tabla las técnicas e instrumentos a utilizar para cada una de las actividades en el desarrollo de cada objetivo.

Tabla 4. Matriz metodológica de la investigación

Metodología de investigación				
Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades	Técnicas	Instrumentos
Proponer el diseño conceptual de una PTAR	Realizar un diagnóstico socioambiental para determinar el	-Realizar visitas a la zona de estudio. -Describir el	-Revisión bibliográfica. -Observación	-Bitácora de campo. -Registro fotográfico.

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

<p>para el tratamiento de los vertimientos generados por el matadero de Supatá que contaminan la Quebrada Hornos.</p>	<p>uso y las condiciones en las que se encuentra el agua de la quebrada hornos como fuente receptora.</p>	<p>proceso productivo del matadero.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Suponer la carga orgánica de la Quebrada Hornos como fuente receptora. -Revisión bibliográfica. - Diseñar las encuestas. -Identificar el uso de la Quebrada Hornos por parte de la comunidad aledaña. -Analizar información y generar un diagnóstico. 	<p>directa.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Encuestas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cuestionarios.
	<p>Determinar el tipo de PTAR más apropiado para el tratamiento de los vertimientos generados por el matadero.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Revisión bibliográfica. -Realizar una matriz de comparación de tecnologías de tratamientos de aguas residuales. -Analizar los resultados obtenidos para evaluar el tipo de tecnología más pertinente para el matadero. 	<ul style="list-style-type: none"> -Análisis documental. -Análisis deductivo. -Análisis comparativo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Documentos bibliográficos. -Bases de datos. -Libros.
	<p>Elaborar el diseño sociotécnico y conceptual de la PTAR para el matadero de Supatá.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Interpretar y seleccionar el tipo de tecnología aplicable para el matadero. -Describir el tipo de diseño seleccionado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Análisis documental. -Análisis comparativo. -Análisis deductivo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Documento con resultados de la evaluación. -Base Bibliográfica.

		-Dimensionamiento de la PTAR		
--	--	------------------------------	--	--

Fuente: (Autores, 2018)

10.3 Fuentes de Información Utilizadas en el Desarrollo del Trabajo

Información primaria: Se empleó en trabajo de campo la observación directa realizando visitas al matadero de Supatá con el fin de identificar y describir el proceso llevado a cabo; por otra parte, se realizaron encuestas a la comunidad aledaña para establecer el uso y las condiciones en que se encuentra la Quebrada Hornos como fuente receptora de los vertimientos generados por el matadero, esto permitió recopilar la información necesaria para aplicar correctamente la metodología.

Información secundaria: Esta información se obtuvo a través de la utilización de medios virtuales y físicos como monografías de grado, artículos indexados, bases de datos como la de la Universidad El Bosque y Google Scholar, libros, información disponible en internet y portales web de instituciones como la Alcaldía Municipal de Supatá.

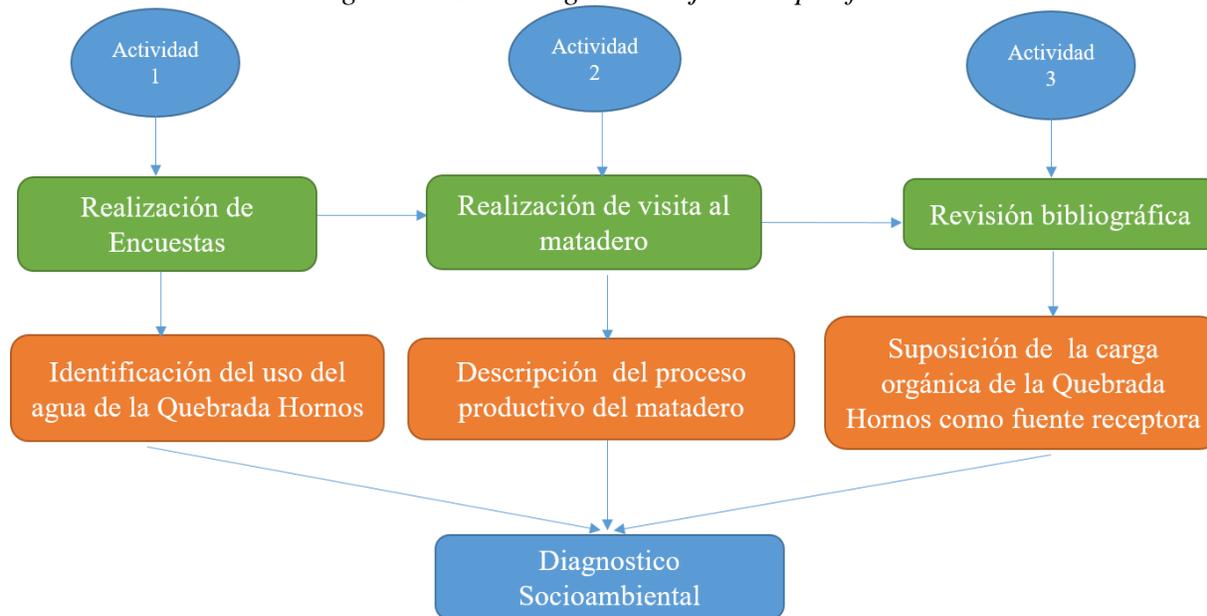
10.4 Metodología por Objetivos Específicos

A continuación, se presenta la explicación detallada de la metodología seguida para cada uno de los objetivos específicos del trabajo, esto con el fin de dar cumplimiento a cada uno de ellos.

10.4.1 Objetivo Específico 1

Realizar un diagnóstico socioambiental para determinar el uso y las condiciones en las que se encuentra el agua de la Quebrada Hornos como fuente receptora.

Figura 4. Metodología del objetivo específico 1



Fuente: (Autores, 2018)

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

Para realizar el diagnóstico socioambiental, inicialmente se empleó una metodología descriptiva en la cual la información fue obtenida a través de una visita realizada al matadero de Supatá Cundinamarca con el fin de identificar y describir de manera puntual el proceso productivo de este, mediante registro fotográfico. Debido a que no existe información previa sobre la calidad de la Quebrada Hornos, la carga orgánica recibida por esta fuente hídrica fue presuntiva teniendo en cuenta el peso y el tipo de animal sacrificado referenciados en la investigación de (Hernández & Sánchez, 2014) y la caracterización de efluentes industriales descritas por el (Ministerio de Medio Ambiente, 2002).

Los parámetros descritos a continuación se hacen necesarios para llegar a conocer el agua residual que será depurada, estos corresponden a: caudal, carga contaminante y equivalencia en el número de habitantes. Estos datos permiten efectuar una selección acertada de las unidades y de criterios para el desarrollo del tercer objetivo.

➤ *Consumo de Agua por Animal*

Para el cálculo del consumo de agua por cada animal se tuvo en cuenta la guía ambiental para la formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales, del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la operación de plantas de sacrificio de ganado en Colombia, para mataderos se reportan valores de 2.500 L/ 1.000 kg de peso animal vivo (P.V), por otra parte se asume que el peso promedio de cada bovino es de 400kg (Hernández & Sánchez, 2014). Considerando lo anterior, se aplica la fórmula que se muestra a continuación:

$$C * P_b / 1000$$

Dónde:

C= consumo por kg P.V; P_b = peso de bovino.

➤ *Determinación del Caudal*

Para la estimación del caudal de diseño de la PTAR, se tuvo en cuenta la demanda de agua en el proceso productivo del matadero, la cual no es reincorporada. Se determinó entonces, el consumo diario de agua, teniendo en cuenta que el número de reses sacrificadas diarias es ocho, se aplicó la siguiente fórmula:

$$C_{db} = NR * C_b$$

Dónde:

NR= Número de reses a sacrificar por día; C_{db} = Consumo diario bovino m^3/d ; C_b = Consumo de bovinos m^3

Teniendo en cuenta que los días de sacrificio en el matadero son martes y jueves, el promedio semanal es de 16 reses, para el cálculo del consumo promedio semanal de agua, se aplica la siguiente fórmula:

$$C_{db} = NR * C_b$$

Dónde:

NR= Número de reses a sacrificar semanalmente; C_{db} = Consumo semanal bovino m^3/d ; C_b = Consumo de bovinos m^3

➤ *Concentraciones de DBO_5 , DQO y SST*

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

Las concentraciones contaminantes de las aguas residuales de mataderos pueden tener un rango de variación dependiendo el tamaño del matadero, el número y especie sacrificada, la técnica y la demanda de agua. En los mataderos grandes, los animales que son sacrificados suelen ser mantenidos en establos y antes de ser sacrificados son bañados para retirarles del cuerpo el polvo y las excretas, como resultado se obtiene agua que contiene cerdas, pelos y algunas veces pequeñas cantidades de grasas (Czysz, et al., 1991).

Las vísceras al ser limpiadas, también generan aguas contaminadas con residuos de detergente, excrementos y sustancias provenientes de las mucosas (Czysz, et al., 1991). Para el diseño conceptual de la planta de tratamiento de agua residual se tienen en cuenta la cantidad de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno) y SST (Solidos Suspendidos Totales) presentes en el agua residual generada por el matadero de Supatá. Para calcular esta carga se tomaron como referencia los valores de las características de los afluentes industriales presentados en la Guía Ambiental de Formulación de Planes de Pretratamiento de Efluentes Industriales, del ministerio de Medio Ambiente, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 5. Caracterización de efluentes industriales

TIPO DE INDUSTRIA	UNIDADES	DBO ₅ (kg/und)	DQO (kg/und)	SST (kg/und)
Madero	1 ton	6,4	4	5,2

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 2002)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias y es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido y así estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, diseñar unidades de tratamiento biológico, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras (Romero Rojas, 2013).

Para determinar las concentraciones de DBO₅, inicialmente se calcula la cantidad en kg de DBO₅ generados por una sola res a través de una fórmula matemática que se explica a continuación: asumiendo que 1.000kg de P.V generan 6,4 kg de DBO₅, se calculan los kg de DBO₅ generados por una res promedio (400 kg):

$$\text{DBO}_5 \text{ res matadero} = \frac{(\text{peso promedio animal vivo matadero} * \text{DBO}_5 \text{ mataderos fuente bibliografica})}{\text{peso animal vivo fuente bibliografica}}$$

Dónde:

Peso promedio animal vivo matadero equivale a 400 kg

DBO₅ mataderos fuente bibliográfica equivale a 6,4

Peso animal vivo fuente bibliográfica equivale a 1.000kg

Teniendo el valor de la DBO₅ generada por cada animal en el matadero, se multiplicó este valor por el número reses sacrificadas semanalmente, para obtener el valor de la cantidad de DBO₅ generada a la

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

semana. Después, se halló el valor de DBO_5 diaria teniendo en cuenta que a los sacrificios se realizan dos días a la semana, se aplicó la siguiente fórmula:

$$DBO_5 \text{ diaria} = \frac{DBO_5 \text{ semanal}}{\text{semana}} * \frac{1 \text{ semana}}{\text{días de sacrificio}}$$

La demanda química de oxígeno se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable, mediante un agente químico oxidante; este parámetro es útil para la calcular la concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica (Romero Rojas, 2013).

Para determinar las concentraciones de DQO, se calcula de igual manera la cantidad en kg de DQO generados por una sola res a través de una fórmula matemática que se explica a continuación: asumiendo que 1.000kg de P.V generan 4 kg de DQO, se calculan los kg de DQO generados por una res promedio (400 kg):

$$\text{DQO res matadero} = \frac{(\text{peso promedio animal vivo matadero} * \text{DQO mataderos fuente bibliogfatica})}{\text{peso animal vivo fuente bibliografica}}$$

Dónde:

Peso promedio animal vivo matadero equivale a 400 kg

DQO mataderos fuente bibliográfica equivale a 4

Peso animal vivo fuente bibliográfica equivale a 1.000kg

Teniendo el valor de la DQO generada por cada animal en el matadero, se multiplicó este valor por el número reses sacrificadas semanalmente, para obtener el valor de la cantidad de DQO generada a la semana. Después, se halló el valor de DQO diaria teniendo en cuenta que a los sacrificios se realizan dos días a la semana, se aplicó la siguiente fórmula:

$$DQO \text{ diaria} = \frac{DQO \text{ semanal}}{\text{semana}} * \frac{1 \text{ semana}}{\text{días de sacrificio}}$$

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (Romero Rojas, 2013). Para determinar las concentraciones de SST, una vez más, se calcula la cantidad en kg de SST generados por una sola res a través de una fórmula matemática que se explica a continuación: asumiendo que 1.000kg de P.V generan 5,2 kg de SST, se calculan los kg de SST generados por una res promedio (400 kg):

$$\text{SST res matadero} = \frac{(\text{peso promedio animal vivo matadero} * \text{SST mataderos fuente bibliogfatica})}{\text{peso animal vivo fuente bibliografica}}$$

Dónde:

Peso promedio animal vivo matadero equivale a 400 kg

SST mataderos fuente bibliográfica equivale a 5,2

Peso animal vivo fuente bibliográfica equivale a 1.000kg

Teniendo el valor de la SST generada por cada animal en el matadero, se multiplicó este resultado por el número reses sacrificadas semanalmente, para obtener la cantidad de SST generada a la semana. Después, se halló el valor de SST diaria teniendo en cuenta que a los sacrificios se realizan dos días a la semana, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{SST diaria} = \frac{\text{SST semanal}}{\text{semana}} * \frac{1 \text{ semana}}{\text{días de sacrificio}}$$

➤ *Calculo de Población Equivalente en Términos de DBO₅, DQO y SST*

Con el fin de ponderar la carga contaminante de un vertido industrial tomando como referente el aporte del mismo contaminante a nivel doméstico, se ha adoptado el concepto de Habitantes-Equivalentes (h-eq) (Lozano Rivas, 2012).

Las fórmulas que se presentan a continuación permiten establecer la carga contaminante generada por el matadero de Supatá expresada en el número de habitantes que aportan carga contaminante en un día. Para ello se utilizaron valores de referencia fundamentados en la normatividad europea, los cuales se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Aporte de carga contaminante por habitante día

PARAMETRO	DBO ₅	DQO	SST
Aporte de 1 hab equivalente	60g/día	135g/día	90g/día

Fuente: (Lozano Rivas, 2012)

Una vez se estimó la carga contaminante de DBO₅, DQO y SST de los vertimientos generados por el matadero, el número de habitantes equivalente se determinó dividiendo el valor de cada carga por el valor del aporte que hace un habitante, establecidos en la tabla anterior.

$$\text{DBO}_5, \text{DQO}, \text{SST (habitantes equivalentes)} = \frac{\text{carga contaminante kg/d}}{\text{carga por persona kg/d}}$$

Finalmente, para el desarrollo de este objetivo y con el fin de obtener un acercamiento a el uso que se le da a la Quebrada Hornos por parte de la comunidad aledaña, se aplicó una encuesta ([Anexo 1](#)) a 20 personas, las cuales fueron elegidas al azar al momento de hacer el recorrido que se muestra en el mapa ([Anexo 2](#)), establecido por Paola Murillo, una de las autoras de este trabajo y habitante del municipio. Para el recorrido se tuvo en cuenta que los encuestados fueran habitantes cercanos a la Quebrada Hornos.

10.4.2 Objetivo Específico 2

Determinar el tipo de PTAR más apropiado para el tratamiento de los vertimientos generados por el matadero.

Figura 5. Metodología del objetivo específico 2



Fuente: (Autores, 2018)

Para el desarrollo del objetivo número dos se utilizó en mayor medida información física obtenida en libro “*Manual de Disposición de Aguas Residuales: Origen, Descarga, Tratamiento y Análisis de las Aguas Residuales, Tomo 1*”, con la cual se empleó una metodología de análisis comparativo en donde se evaluaron 82 tecnologías para tratamiento de aguas residuales, las cuales se muestran a continuación.

Tratamiento Mecánico

- *Separación del material grueso:* Rejillas, Tamizado, Filtros.
- *Separación por gravedad:* Separadores de grasas y aceites, Desarenador, Estanques rectangulares, Estanques circulares, Sistemas de sedimentación de dos niveles, Estanques de sedimentación laminar, Estanques de sedimentación con flujo vertical, Estanques de equilibrio o de homogenización.

Procesos Químicos

- *Métodos de tratamiento:* Neutralización, Floculación, Precipitación preliminar, Precipitación secundaria, Precipitación simultánea, Adsorción, Extracción por solventes, Separación por membrana (ultrafiltración, osmosis inversa), Destilación, Oxidación, Reducción, Proceso de intercambio de iones, Separación de compuestos volátiles, Aeración, Tratamiento con gas aplicando ácido carbónico o gases de conducto, Evaporación, Método de congelamiento, Cristalización, Electrólisis.
- *Utilización de productos químicos:* Sales de aluminio y hierro de fabricación comercial, Agentes polímeros floculantes de tipo comercial, Hidrato de cal.

Métodos Biológicos

- *Disminución de sistemas biológicos:* Utilización de las aguas residuales agrícolas
- *Lagunas de estabilización:* Lagunas de sedimentación, Lagunas de estabilización no aeradas, Lagunas de estabilización aeradas, Lagunas de maduración, Lagunas de acumulación, Criaderos de peces con agua residual.
- *El proceso de biopercolación:* Lechos biológicos, Torres de filtración biológica
- *Biodiscos rotatorios*
- *Sistema de lodos activados:* Lodo activado, Aireación con oxígeno puro (burbujeando), Presurización, Aeración superficial, Sistemas de percolación biológica de dos fases, Sistemas de activación de lodos de dos fases, Procesos de adsorción en la activación de lodos, Lechos biológicos combinados con procesos de activación, Método de percolación biológica con una etapa anterior de activación, Lagunas de maduración posterior.
- *Tratamiento anaerobio*
- *Tanques de clarificación final posteriores a sistemas de percolación biológica*

Tanques de clarificación final posteriores a sistemas de activación: tanque de clarificación final con flujo horizontal, tanque de clarificación final con flujo vertical.

Métodos Físico y Fisicoquímico

- *Eliminación de sólidos suspendidos:* microfiltro, filtros de arena, filtración en el terreno, ultrafiltración e hiperfiltración.
- *Eliminación de sustancias orgánicas disueltas:* adsorción mediante carbón vegetal activado, oxidación con ozono, desorción de sustancias volátiles y ósmosis inversa.
- *Eliminación de nutrientes:* eliminación del nitrógeno en sistemas activados, eliminación del nitrógeno en reactores de lecho fijo, eliminación de nitrógeno en lagunas de estabilización, desorción de amoníaco (separación), intercambio iónico selectivo, coloración hasta el punto de quiebre, procesos convencionales de activación de lodos, tratamiento en lagunas, eliminación de algas y fosfatos, precipitación de los fosfatos férricos, precipitación del fosfato de aluminio, precipitación del fosfato de calcio y métodos de tratamiento.
- *Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas:* métodos de intercambio iónico, electrodiálisis e hiperfiltración.

Cada una de las tecnologías anteriormente mencionadas fueron evaluadas en una matriz desde 5 parámetros, correspondientes al aspecto técnico, ambiental, social y económico, a los cuales se les dio un valor de 1, 2 y 3, donde: 1 es malo; 3 es adecuado y 5 es bueno, al final fue justificada la razón de

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

cada valor de calificación. Finalmente, los resultados de cada parámetro para cada tecnología fueron sumados para determinar en una escala colorimétrica la aplicabilidad de cada tecnología, donde: de 15 a 20 puntos es Verde: Aplicable, de 10 a 14 puntos es Amarillo: Medianamente aplicable y de 1 a 9 puntos es Rojo: No aplicable.

10.4.3 Objetivo Específico 3

Elaborar el diseño sociotécnico y conceptual de la PTAR para el matadero de Supatá.

Figura 6. Metodología del objetivo específico 3



Fuente: (Autores, 2018)

11. Resultados, Análisis y Discusión del Trabajo de Investigación por Objetivos

A continuación, se describirán los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos específicos propuestos en el trabajo de investigación y se realizará posteriormente el análisis y discusión de los mismos.

11.1 Objetivo Específico 1

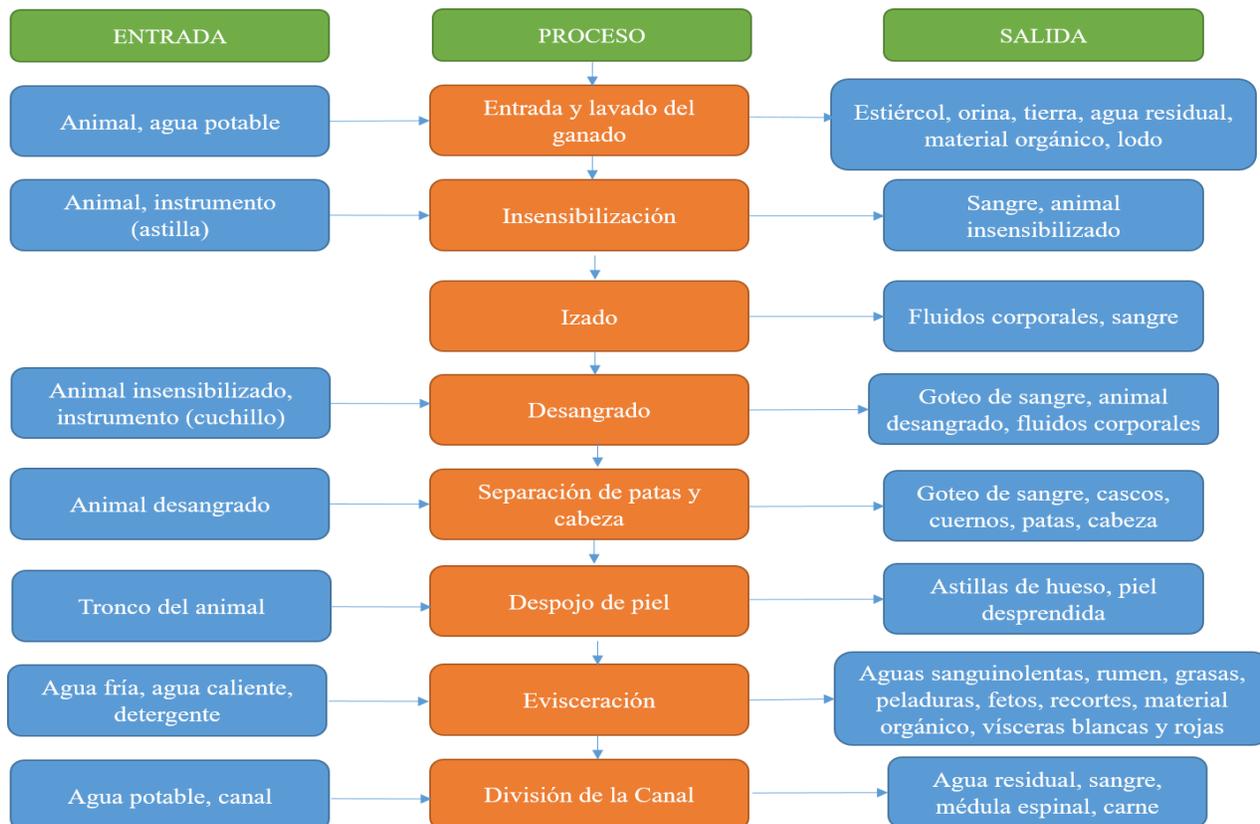
Realizar un diagnóstico socioambiental para determinar el uso y las condiciones en las que se encuentra el agua de la quebrada hornos como fuente receptora.

El diagnóstico socioambiental se describirá en el siguiente orden: Proceso productivo del matadero de Supatá Cundinamarca, la carga orgánica presuntiva generada por el matadero y finalmente el uso y estado de la Quebrada Hornos resultado de las encuestas aplicadas a algunos de los habitantes de las zonas aledañas.

11.1.1 Proceso Productivo del Matadero

En la figura 7 se muestra el proceso productivo del matadero de Supatá Cundinamarca, resultado de la primera visita a la zona de estudio y se describe a continuación cada procedimiento y se incluye registro fotográfico.

Figura 7. Diagrama del proceso productivo del matadero de Supatá



Fuente: (Autores, 2018)

- *Entrada y lavado de ganado:* Comprende la recepción del ganado y este es sometido a una higienización inicial. En este proceso se eliminan gérmenes adheridos a la piel, y ayudan al animal a no entrar en un estado de estrés, para luego ser conducido hasta la caja de insensibilización (Bartolome Hiroyuki, s.f). En el caso del matadero de Supatá los animales son ingresados el mismo día de sacrificio, es decir no permanecen más de un día en el corral, lo cual evita que se puedan generar más residuos como heces, orina u otros fluidos corporales.

Figura 8. Entrada del ganado



Fuente: (Autores, 2018)

- *Insensibilización:* El noqueo del animal es físico, consiste en clavar una especie de lanza en la parte anterior de la nuca a nivel de la unión de la cabeza con el cuello. Mediante esta práctica se ocasiona la pérdida del conocimiento, de modo a insensibilizar al animal para evitar su sufrimiento al momento de realizarle el degüello (Bartolome Hiroyuki, s.f). En este proceso se generan residuos de sangre y fluidos corporales, generados al momento de noquear al animal.

Figura 9. Caja de insensibilización



Fuente: (Autores, 2018)

- *Izado:* Cuando aún se encuentra el animal en el suelo, se coloca un grillete en una de las patas y se eleva el conjunto (grillete-animal) con la ayuda de un diferencial eléctrico o manual, hasta enganchar el grillete en un riel denominado de Sangría (Bartolome Hiroyuki, s.f). Durante este procedimiento el animal puede generar residuos de sangre y residuos corporales como saliva o en algunos casos vómito producto de la posición en la que es puesto el animal.

Figura 10. Izado



Fuente: (Autores, 2018)

- *Desangrado:* El desangrado es la parte del sacrificio en que se cortan los principales vasos sanguíneos del cuello para permitir que la sangre drene del cuerpo, produciéndose la muerte por anoxia cerebral. Este método para desangrar ganado vacuno consiste en abrir la piel en el cuello entre la mandíbula y el pecho, a lo largo de un corte longitudinal de 30 cm. Luego en un ángulo de 45 grados se corta la vena yugular y la arteria carótida. El desangrado dura aproximadamente un lapso de 3 a 5 minutos (Bartolome Hiroyuki, s.f).

La sangre, la cual es el mayor contaminante del proceso productivo del matadero es generada en mayor cantidad al llevar a cabo este procedimiento, este residuo muchas veces no es recolectado ni aprovechado y es evacuado al exterior por medio de una canaleta en la cual también se dispone el agua residual, la cual llega a la Quebrada Hornos.

Figura 11. Desangrado



Fuente: (Autores, 2018)

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

- *Separación de las patas y la cabeza:* Terminada la sangría y con la ayuda de un cuchillo se efectúa el procedimiento de separación de patas, cuernos y cabeza, en el cual se puede generar goteo de sangre. Luego se ubican las patas y la cabeza en el cuarto de extremidades (Bartolome Hiroyuki, s.f).

Figura 12. Cuarto de extremidades



Fuente: (Autores, 2018)

- *Despojo de la piel:* Con un cuchillo se desprende la piel de muslos, nalgas, vientre, costillar y partes genitales y se disponen en el cuarto de piel (Bartolome Hiroyuki, s.f).

Figura 13. Despojo de la piel



Fuente: (Autores, 2018)

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

- *Evisceración:* Consiste en separar del animal los órganos genitales, las vísceras blancas y rojas. Luego de ser extraídas estas se limpian, lo que genera aguas de limpieza contaminadas con residuos de sangre, grasa, detergente y excremento (Czysz, et al., 1991).

El proceso de separación de las vísceras blancas consiste en extraerlas en su totalidad junto con los órganos genitales. Una vez retiradas se conducen al cuarto de estercolero para practicar su lavado. Después de que las panzas son abiertas, vaciadas y lavadas, se escaldan y se pelan. La materia orgánica que sale de las vísceras se recoge en una carretilla y es llevada al cuarto ruminal (Bartolome Hiroyuki, s.f).

Figura 14. Viseras blancas



Fuente: (Autores, 2018)

Figura 15. Cuarto de estercolero



Fuente: (Autores, 2018)

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

La separación de las vísceras rojas se realiza retirando el conjunto de órganos conformado por el hígado, corazón, bazo, pulmones, tráquea y el esófago, los cuales son depositados en el cuarto de vísceras rojas.

Figura 16. Cuarto de vísceras rojas



Fuente: (Autores, 2018)

- *División de la canal:* Separadas las vísceras, se procede a la división de la canal en dos mitades o medias canales, por el centro de la columna vertebral. Dividida completamente la canal, se retira la médula espinal en forma manual y se generan residuos de sangre al practicar un movimiento del antebrazo de arriba hacia abajo, para posibilitar la salida de los coágulos que normalmente se depositan en los grandes vasos sanguíneos. Finalmente, la carne es depositada en el cuarto de oreo (Bartolome Hiroyuki, s.f).

Figura 17. Cuarto de oreo



Fuente: (Autores, 2018)

El agua utilizada para el lavado de la canal junto con la sangre y demás sólidos pasan por una caja de desagües.

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

Figura 18. Caja de desagües



Fuente: (Autores, 2018)

Por otro lado, el matadero cuenta con una trampa de corrales, a la cual llega el agua residual del bovino vivo.

Figura 19. Trampa de corrales



Fuente: (Autores, 2018)

Finalmente, el agua de la caja de desagües y el agua de la trampa de corrales, se unen y por escorrentía van a la Quebrada Hornos.

Figura 20. Depósito de las aguas del matadero



Fuente: (Autores, 2018)

11.1.2 Carga Orgánica Presuntiva Generada por el Matadero

➤ Consumo de Agua por Animal

$$\begin{aligned} & C \cdot P_b / 1000 \\ & = (2500 \text{L/kg P.V} * 400 \text{kg}) / 1000 \\ & = 1000 \text{ L cabeza de bovino} \end{aligned}$$

Dónde:

C= consumo por kg P.V; P_b= peso de bovino.

El valor de consumo de agua por animal obtenido para el matadero de Supatá es de 1.000L por cabeza de bovino, valor que entra en el rango, asumiendo que en todas las dependencias de los mataderos la cantidad de agua disponible debe ser de 500 a 1.000 litros por cada bovino que se sacrifique (Quiroga Tapias & Ortiz Peña, 1992). De los 1.000L por cabeza de bovino se estima que el 68% del agua es utilizada en el proceso de lavado de vísceras, panzas, lenguas (680L/bovino), el 20% en el lavado de corrales (200L/bovino) y el 12% para el lavado de pisos (120L/bovino) (Hernadéz & Sánchez, 2014).

➤ Determinación del Caudal

- Consumo Diario de Agua

$$\begin{aligned} \text{NR} &= 8 \text{ reses/d} \\ \text{Cdb} &= \text{NR} \cdot \text{Cb} \\ &= 8 * 1 \text{m}^3 \\ &= 8 \text{m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

Dónde:

NR= Número de reses a sacrificar por día; Cdb= Consumo diario bovino m³/d; Cb= Consumo de bovinos m³

$$\begin{aligned} \text{Promedio} &= 16 \text{ reses/sem} \\ \text{Cdb} &= \text{NR} \cdot \text{Cb} \\ &= 16 * 1 \text{m}^3 \end{aligned}$$

$$= 16m^3/\text{sem}$$

De lo anterior se obtuvo que el caudal diario para el matadero es de $8m^3/d$ lo que equivale a 0,09 l/s y el caudal promedio semanal es del $16m^3/\text{sem}$, teniendo en cuenta que diariamente se sacrifican 8 reses y el promedio semanal es de 16 reses, información suministrada por el personal que labora en el matadero de Supatá.

Según las investigaciones realizadas para evaluar un posible sistema de tratamiento de aguas residuales para un matadero de una ciudad pequeña, se toma un caudal promedio de descarga de $50 m^3/\text{día}$ lo que es igual a 0,57 l/s, para una población mínima de 2.000 habitantes (Muñoz Muñoz, 2005), la diferencia es clara entre los dos caudales, teniendo en cuenta la diferencia entre el tamaño de la población del municipio, el tamaño del matadero de Supatá y el bajo número de reses sacrificadas diariamente con respecto a otras centrales de sacrificio, sin embargo los resultados de las concentraciones fueron significativas.

➤ *Concentraciones de DBO₅, DQO y SST*

Teniendo en cuenta que la composición de los efluentes de los mataderos depende del proceso de producción, de la separación en la descarga de materias como sangre, intestinos y desechos del suelo, para el análisis de los resultados de las concentraciones de DBO₅, DQO y SST del matadero de Supatá Cundinamarca, los valores fueron comparados con las concentraciones típicas encontradas en efluentes de faena de vacunos.

Figura 21. Concentración promedio de contaminantes de faena

Parámetro	Valores medios	Valores máximos
DQO (mg/L)	3.500	12.000
DBO ₅ (mg/L)	1.200	7.000
Sólidos suspendidos (mg/L)	700	3.000

Fuente: (Chaux, 2009)

- *Análisis Carga Contaminante de DBO₅*

Los valores obtenidos para el matadero de Supatá, fueron:

$$\begin{aligned} \text{DBO}_5 \text{ res matadero} &= \frac{400\text{kg} * 6,4 \text{ kg DBO}_5}{1.000\text{kg}} \\ &= 2,56 \text{ kg DBO}_5 \end{aligned}$$

$$2,56 \text{ kg DBO}_5 * 16 \text{ reses/sem} = 40,96 \text{ kg DBO}_5 / \text{sem}$$

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

$$\frac{40,96 \text{ kg DBO}_5}{\text{sem}} * \frac{1 \text{ sem}}{2 \text{ dias}} = 20,48 \text{ kg DBO}_5/d$$

La concentración de DBO₅ promedio semanalmente para el matadero de Supatá es de 40,96 kg y el valor promedio diario es de 20,40 kg lo que equivale a 2.048 mg/L, valor que se encuentra dentro del rango de las concentraciones típicas encontradas en efluentes de faena de vacunos (1.200 a 7000 mg/L).

- *Análisis Carga Contaminante de DQO*

Los valores obtenidos para el matadero de Supatá, fueron:

$$\begin{aligned} \text{DQO res matadero} &= \frac{400\text{kg} * 4 \text{ kg DQO}}{1.000\text{kg}} \\ &= 1,6 \text{ kg DQO} \end{aligned}$$

$$1,6 \text{ kg DQO} * 16 \text{ reses/sem} = 25,6 \text{ kg DQO /sem}$$

$$\frac{25,6 \text{ kg DQO}}{\text{sem}} * \frac{1 \text{ sem}}{2 \text{ dias}} = 12,8\text{kg DQO}/d$$

La concentración de DQO promedio semanalmente para el matadero de Supatá es de 25,6 kg y el valor promedio diario es de 12,8 kg lo que equivale a 1.280 mg/L, valor que se encuentra por debajo del rango de las concentraciones típicas encontradas en efluentes de faena de vacunos (3.500 a 12.000 mg/L).

- *Análisis carga contaminante de SST*

$$\begin{aligned} \text{SST res matadero} &= \frac{400\text{kg} * 5,2 \text{ kg SST}}{1.000\text{kg}} \\ &= 2,08 \text{ kg SST} \end{aligned}$$

$$2,08 \text{ kg SST} * 16 \text{ reses/sem} = 32,28 \text{ kg SST /sem}$$

$$\frac{32,28 \text{ kg DQO}}{\text{sem}} * \frac{1 \text{ sem}}{2 \text{ dias}} = 16,64 \text{ kg SST}/d$$

La concentración de SST promedio semanalmente para el matadero de Supatá es de 32,28 kg y el valor promedio diario es de 16,64 kg lo que equivale a 1.664 mg/L, valor que se encuentra por dentro del rango de las concentraciones típicas encontradas en efluentes de faena de vacunos (700 y 3.000 mg/L).

➤ *Calculo de la Población Equivalente en Términos de DBO₅, DQO y SST*

$$DBO_5 = \frac{20,48 \text{ kg/d}}{0,06 \text{ kg/d}} = 341 \text{ habitante} - \text{equivalente}$$

$$DQO = \frac{12,8 \text{ kg/d}}{0,135 \text{ kg/d}} = 94 \text{ habitante} - \text{equivalente}$$

$$SST = \frac{16,64 \text{ kg/d}}{0,09 \text{ kg/d}} = 184 \text{ habitante} - \text{equivalente}$$

Estos valores anteriormente mencionados son el resultado de la comparación de la carga contaminante expresado en el número de habitantes que aportan la misma carga en un día. Como resultado se observa que los valores no representan un alto número de habitante-equivalente comparados con otros mataderos, pero teniendo en cuenta el tamaño, el número de reses sacrificadas y la población de la cabecera municipal en la cual se encuentra ubicado el matadero, los valores son bastante representativos.

Al extrapolar los datos con la población perteneciente a la cabecera municipal de Supatá la cual equivale a 1.546 habitantes, obtenemos como resultado que el número de habitantes-equivalentes que representan la DBO₅ generada por el matadero, constituye el 22% de la población, la DQO constituye el 6% y los SST el 12% de la población.

11.1.3 Uso de la Quebrada Hornos por Parte de la Comunidad Aledaña

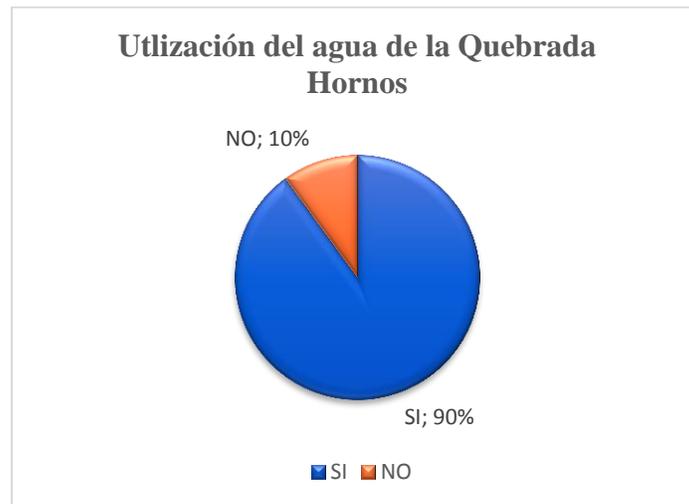
A continuación, se presentan los resultados de cada una de las preguntas obtenidos en la encuesta ([Anexo 1](#)) aplicada a 20 habitantes cercanos al matadero de Supatá, por medio de tablas y su respectiva representación gráfica.

Tabla 7. Utilización del agua de la Quebrada Hornos

Utilización del agua de la Quebrada Hornos	
SI	NO
18	2

Fuente: (Autores, 2018)

Figura 22. Utilización del agua de la Quebrada Hornos



Fuente: (Autores, 2018)

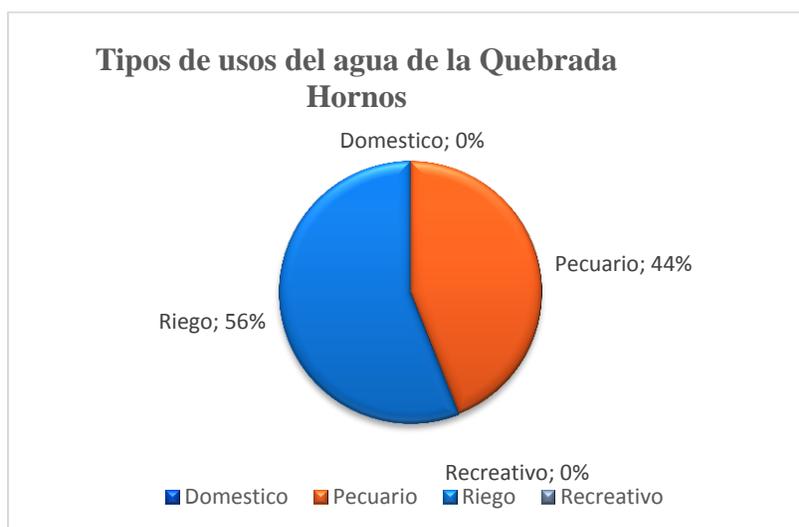
En la figura 22 se muestra la representación gráfica de la distribución de los habitantes encuestados frente a la utilización del agua de la Quebrada Hornos, como resultado se obtiene que el 90% (18 personas) utilizan el recurso hídrico y el 10% (2 personas) no lo hace. De lo anterior se refleja la importancia de descontaminar esta fuente hídrica que representa un papel fundamental en la calidad de vida y el desarrollo de las prácticas tradicionales de la comunidad aledaña.

Tabla 8. Tipos de usos del agua de la Quebrada Hornos

Tipos de usos del agua de la Quebrada Hornos	
Tipo de uso	Número de personas
Domestico	0
Pecuario	8
Riego	10
Recreativo	0

Fuente: (Autores, 2018)

Figura 23. Tipos de usos del agua de la Quebrada Hornos



Fuente: (Autores, 2018)

En la figura 23 se muestra la representación gráfica de la distribución frente al tipo de uso que le dan al agua de la Quebrada Hornos aquellos habitantes que respondieron en la pregunta anterior si usar el recurso hídrico, como resultado se obtiene que el 56% (10 personas) utilizan el agua para el riego de sus cultivos y el 44% (8 personas) la utilizan para fines pecuarios. Ninguna de las personas encuestadas respondió utilizar el agua para fines domésticos ni recreativos. Esta última puede atribuirse al hecho del estado actual de la Quebrada la cual es fuente receptora de vertimientos, lo que imposibilita su uso para estos aspectos.

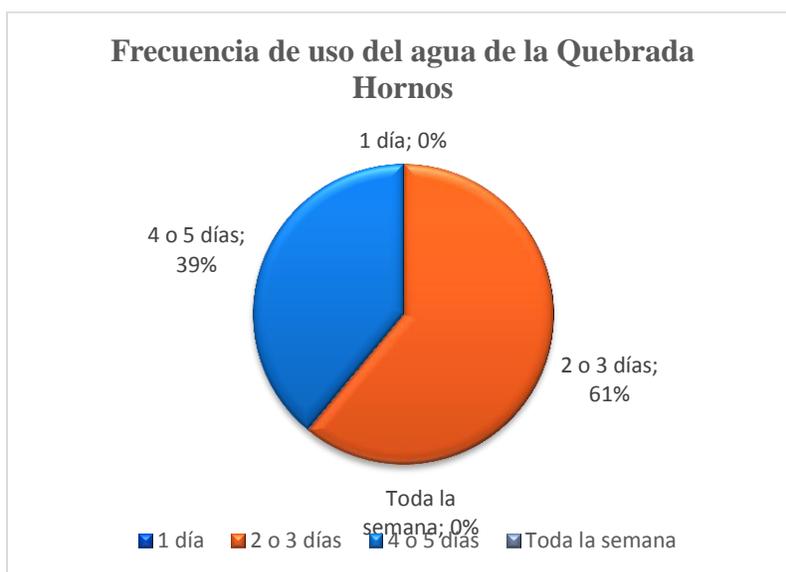
Lo anterior denota la importancia y dependencia frente al recurso hídrico que tiene la población encuestada y las implicaciones en su vida campesina por la contaminación, al limitar el recurso para el desarrollo de las actividades domésticas y la afectación que puede llegar a causar en el abastecimiento de los sistemas de riego y los procesos productivos agropecuarios.

Tabla 9. Frecuencia de uso del agua de la Quebrada Hornos

Frecuencia de uso del agua de la Quebrada Hornos	
Número de días	Número de personas
1 día	0
2 o 3 días	11
4 o 5 días	7
Toda la semana	0

Fuente: (Autores, 2018)

Figura 24. Frecuencia de uso del agua de la Quebrada Hornos



Fuente: (Autores, 2018)

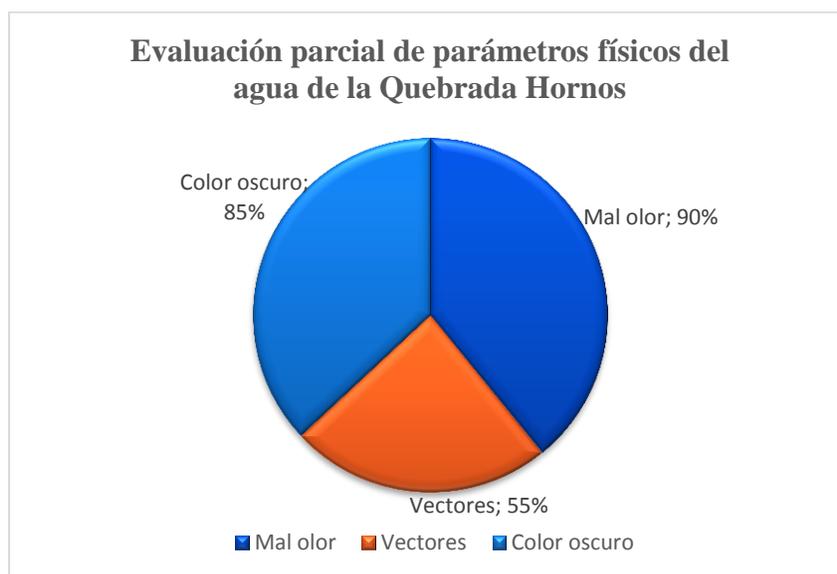
En la figura 24 se muestra la representación gráfica de la distribución frente a la frecuencia de uso que le dan al agua de la Quebrada Hornos, aquellos habitantes que respondieron usar el recurso hídrico, como resultado se obtuvo que el 61% (11 personas) utilizan el agua 2 o 3 días de la semana y el 39% (7 personas) la utilizan 4 o 5 días a la semana. Estos resultados en síntesis claramente evidencian una percepción generalizada sobre no solo la gran importancia que tiene la Quebrada Hornos en el desarrollo de las actividades de los encuestados, sino también el alto nivel de dependencia reflejado en la frecuencia de uso del agua.

Tabla 10. Evaluación parcial de parámetros físicos del agua de la Quebrada Hornos

Evaluación parcial de parámetros físicos del agua de la Quebrada Hornos	
Mal olor	18
Vectores	11
Color oscuro	17

Fuente: (Autores, 2018)

Figura 25. Evaluación parcial de parámetros físicos del agua de la Quebrada Hornos



Fuente: (Autores, 2018)

En la figura 25 se muestra la representación gráfica de una evaluación parcial de parámetros físicos del agua de la Quebrada Hornos por parte de los habitantes encuestados. En este caso los 20 encuestados que respondieron sí o no usar el recurso hídrico, podían seleccionar uno o más parámetros que hubiesen podido evidenciar en la Quebrada Hornos. Como resultado se obtuvo que el 90% (18 personas) han percibido mal olor, el 55% (11 personas) han presenciado vectores y el 85% (17 personas) visualizan la quebrada de color oscuro. Esta caracterización de la percepción en cuanto a la evaluación parcial de los parámetros físicos del agua de la quebrada resulta compleja, precisamente por las distintas interpretaciones que pueden llegar a tener los encuestados, sin embargo, se puede identificar el patrón de respuesta frente a la importancia de la Quebrada y la progresiva reducción de su calidad.

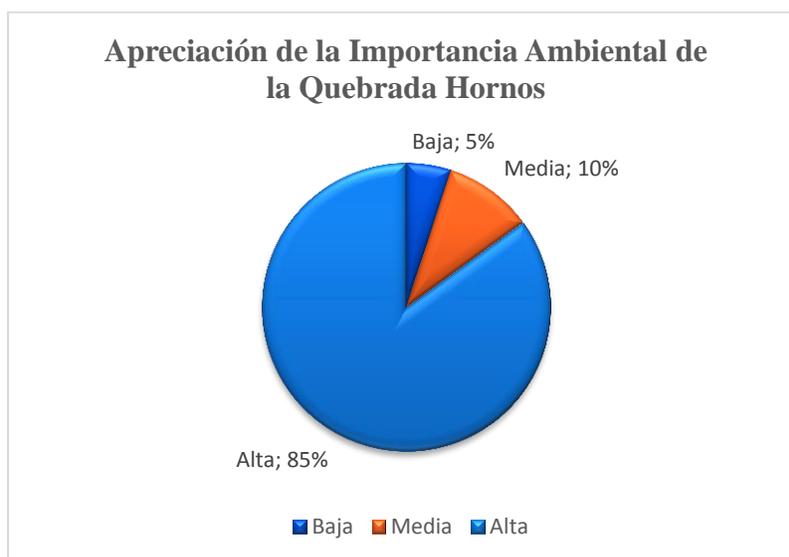
Las malas prácticas del matadero, frente a el no aprovechamiento de la sangre y su evacuación a la Quebrada junto con demás residuos como heces pueden generar malos olores al ambiente por su acumulación. Estos olores que se generan producto de las aguas residuales constituyen una de las principales objeciones ambientales y su control en plantas de tratamiento es muy importante (Romero Rojas, 2013). Por su parte cabe resaltar que el color oscuro y la generación de vectores en el área son producto igualmente de esta problemática y evidencian un claro deterioro de los procesos de tratamiento.

Tabla 11. Apreciación de la Importancia Ambiental de la Quebrada Hornos

Apreciación de la Importancia Ambiental de la Quebrada Hornos	
Baja	1
Media	2
Alta	17

Fuente: (Autores, 2018)

Figura 26. *Apreciación de la Importancia Ambiental de la Quebrada Hornos*



Fuente: (Autores, 2018)

En la figura 26 se muestra la distribución frente a la apreciación de la Importancia Ambiental de la Quebrada Hornos, como resultado se obtiene que el 5% (1 personas) considera la Quebrada de importancia ambiental baja, el 10% (2 personas) la consideran de importancia media y el 85% (17 personas) consideran que es de importancia ambiental alta. Este resultado refleja que la mayoría de los encuestados reconoce la importancia ambiental, social y paisajística que tiene la Quebrada Hornos, sin embargo, este resultado puede estar ligado a la dependencia e importancia de los diferentes beneficios que trae consigo el recurso hídrico en el desarrollo de las actividades económicas de los encuestados.

11.2 *Objetivo Específico 2*

Determinar el tipo de PTAR más apropiado para el tratamiento de los vertimientos generados por el matadero.

En la *Tabla 7* se visualiza el resultado de la calificación de cada una de las tecnologías evaluadas con sus respectivos colores.

Tabla 12. *Matriz comparativa de tratamientos de aguas residuales*

Tecnología		Técnico	Ambiental	Social	Económico	Calificación Total	
Tratamiento mecánico	Separación del material grueso	Rejillas	5	3	3	14	
		Tamizado	5	1	3	5	14
		Filtros	1	1	1	1	4
	Separación por gravedad	Separadores de grasas y aceites	5	5	3	5	18
		Desarenador	5	5	3	5	18

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

		Estanques rectangulares	1	3	3	3	10
		Estanques circulares	5	3	3	3	14
		Sistemas de sedimentación de dos niveles	3	3	3	3	12
		Estanques de sedimentación laminar	1	3	3	1	8
		Estanques de sedimentación con flujo vertical	3	1	3	1	8
		Estanques de equilibrio o de homogenización	3	1	3	5	12
Procesos Químicos	Métodos de tratamiento	Neutralización	1	1	1	1	4
		Floculación	5	3	3	3	14
		Precipitación preliminar	1	3	3	3	10
		Precipitación secundaria	5	3	3	5	16
		Precipitación simultánea	5	5	3	5	18
		Adsorción	3	3	3	1	10
		Extracción por solventes	1	1	1	1	4
		Separación por membrana (ultrafiltración, osmosis inversa)	1	1	1	1	4
		Destilación	3	1	1	1	6
		Oxidación	3	1	1	1	6
		Reducción	1	1	1	1	4
		Proceso de intercambio de iones	3	3	3	3	12
		Separación de compuestos volátiles	1	1	1	1	4

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

		Aeración	3	1	1	1	6
		Tratamiento con gas aplicando ácido carbónico o gases de conducto	1	1	1	1	4
		Evaporación	1	1	1	1	4
		Método de congelamiento	1	1	1	1	4
		Cristalización	1	1	1	1	4
		Electrólisis	1	1	1	1	4
Utilización de productos químicos		Sales de aluminio y hierro de fabricación comercial	3	3	3	3	12
		Agentes polímeros floculantes de tipo comercial	3	3	3	1	10
		Hidrato de cal	5	3	3	3	14
Métodos Biológicos	Disposición de sistemas biológicos	Utilización de las aguas residuales agrícolas	5	5	3	3	16
	Lagunas de estabilización	Lagunas de sedimentación	5	3	3	3	14
		Lagunas de estabilización no aeradas	3	3	3	3	12
		Lagunas de estabilización aeradas	5	5	3	1	14
		Lagunas de maduración	3	5	3	5	16
		Lagunas de acumulación	3	5	3	5	16
		Criaderos de peces con agua residual	5	5	5	5	20
	El proceso de biopercolación	Lechos biológicos	3	3	3	1	10

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

	Torres de filtración biológica	1	3	3	1	8
	Biodiscos rotatorios	5	5	5	5	20
Sistemas de lodos activados	Lodo activado	3	3	5	3	14
	Aeración con aire atmosférico	3	5	3	3	14
	Aeración con oxígeno puro (burbujeado)	5	5	5	1	16
	Presurización	3	3	5	3	14
	Aeración superficial	5	3	3	3	14
	Sistemas de percolación biológica de dos fases	1	1	1	1	4
	Sistemas de activación de lodos de dos fases	5	3	3	5	16
	Procesos de adsorción en la activación de lodos	3	3	5	3	14
	Lechos biológicos combinados con procesos de activación	5	5	3	3	16
	Método de percolación biológica con una etapa anterior de activación	3	3	3	3	12
	Lagunas de maduración posterior	3	5	3	3	14
	Tratamiento anaerobio	5	5	5	3	18
	Tanques de clarificación final posteriores a sistemas de percolación biológica	3	3	3	3	12

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

	Tanques de clarificación final posteriores a sistemas de activación	Tanque de clarificación final con flujo horizontal	3	3	3	3	12
		Tanque de clarificación final con flujo vertical	3	3	3	3	12
Métodos físico y fisicoquímicos	Eliminación de sólidos suspendidos	Microfiltro	3	3	3	3	12
		Filtros de arena	3	3	3	3	12
		Filtración en el terreno	5	3	5	3	16
		Ultrafiltración e hiperfiltración	1	1	1	1	4
	Eliminación de sustancias orgánicas disueltas	Adsorción mediante carbón vegetal activado	5	1	1	1	8
		Oxidación con ozono	5	5	5	1	16
		Desorción de sustancia volátiles	1	1	1	1	4
		Ósmosis inversa	3	3	3	3	12
	Eliminación de nutrientes	Eliminación del nitrógeno en sistemas activados	3	5	5	3	16
		Eliminación del nitrógeno en reactores de lecho fijo	3	3	3	3	12
		Eliminación de nitrógeno en lagunas de estabilización	3	3	3	3	12
		Desorción de amoníaco (separación)	3	1	1	1	6
		Intercambio iónico selectivo	3	1	1	1	6

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

	Coloración hasta el punto de quiebre	5	3	1	1	10
	Procesos convencionales de activación de lodos	5	3	1	3	12
	Tratamiento en lagunas	5	5	3	3	16
	Eliminación de algas y fosfatos	5	5	5	3	18
	Precipitación de los fosfatos férricos	1	1	1	1	4
	Precipitación del fosfato de aluminio	3	5	5	5	18
	Precipitación del fosfato de calcio	5	5	5	5	20
Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas	Métodos de intercambio iónico	1	1	1	1	4
	Electrodialisis	1	1	1	1	4
	Hiperfiltración	1	1	1	1	4

Fuente: (Autores, 2018)

Como se puede observar en la matriz anterior para el tratamiento mecánico se obtuvo de color verde: separadores de grasas y aceites, y desarenador; de color amarillo: rejillas, tamizado, estanques rectangulares, estanques circulares, sistemas de sedimentación de dos niveles y estanques de equilibrio o de homogenización; de color rojo: filtros, estanques de sedimentación laminar y estanques de sedimentación con flujo vertical.

Para procesos químicos se obtuvo de color verde: precipitación secundaria y precipitación simultánea; de color amarillo: floculación, precipitación preliminar, adsorción, proceso de intercambio de iones, sales de aluminio y hierro de fabricación comercial, agentes polímeros floculantes de tipo comercial e hidrato de cal; de color rojo: neutralización, extracción por solventes, separación por membrana (ultrafiltración, osmosis inversa), destilación, oxidación, reducción, separación de compuestos volátiles, aeración, tratamiento con gas aplicando ácido carbónico o gases de conducto, evaporación, método de congelamiento, cristalización y electrólisis.

Para métodos biológicos se obtuvo de color verde: utilización de las aguas residuales agrícolas, lagunas de maduración, lagunas de acumulación, criaderos de peces con agua residual, biodiscos rotatorios,

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

aeración con oxígeno puro (burbujeado), sistemas de activación de lodos de dos fases, lechos biológicos combinados con procesos de activación y tratamiento anaerobio; de color amarillo: lagunas de sedimentación, lagunas de estabilización no aeradas, lagunas de estabilización aeradas, lechos biológicos, lodo activado, aeración con aire atmosférico, presurización, aeración superficial, procesos de adsorción en la activación de lodos, método de percolación biológica con una etapa anterior de activación, lagunas de maduración posterior, tanques de clarificación final posteriores a sistemas de percolación biológica, tanque de clarificación final con flujo horizontal y tanque de clarificación final con flujo vertical; de color rojo: torres de filtración biológica y sistemas de percolación biológica de dos fases.

Finalmente para los métodos físicos y fisicoquímicos se obtuvo de color verde: filtración en el terreno, oxidación con ozono, eliminación del nitrógeno en sistemas activados, tratamiento en lagunas, eliminación de algas y fosfatos, precipitación del fosfato de aluminio y precipitación del fosfato de calcio; de color amarillo: microfiltro, filtros de arena, ósmosis inversa, eliminación del nitrógeno en reactores de lecho fijo, eliminación de nitrógeno en lagunas de estabilización, coloración hasta el punto de quiebre, procesos convencionales de activación de lodos; de color rojo: ultrafiltración e hiperfiltración, adsorción mediante carbón vegetal activado, desorción de sustancia volátiles, desorción de amoníaco (separación), intercambio iónico selectivo, precipitación de los fosfatos férricos, métodos de intercambio iónico, electrodiálisis e hiperfiltración.

En la siguiente tabla se encuentra la justificación de la calificación de cada uno de los parámetros evaluados en la matriz.

Tabla 13. Matriz de justificación de los valores para tratamientos de aguas residuales

Tecnología		Técnico	Ambiental	Social	Económico	
Tratamiento mecánico	Separación del material grueso	Rejillas	El material grueso puede ser retirado manualmente	Se deben operar como estructuras abiertas, lo cual puede ocasionar emisión de olores desagradables	La limpieza de las rejillas producen ruido	Se debe reducir el tamaño material retenido en las rejillas con trituradores
		Tamizado	Retiene mayor cantidad de material que las rejillas	Para la limpieza de los tamices se necesita agua, lo cual generaría más aguas residuales	La limpieza de los tamices producen ruido	Son más económicos que las rejillas
		Filtros	No son funcionales para la purificación previa de aguas	Para la limpieza de los filtros se necesita agua, lo cual	Se pueden generar olores ofensivos	Debido a la gran carga de residuos, sería necesario cambiar

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

			residuales y son pocos prácticos para la operación, debido a que para la evacuación de los lodos, se requieren ser lavados o cambiados	generaría más aguas residuales		repetidamente la material del filtro
Separación por gravedad	Separadores de grasas y aceites	Evitan que se perjudique las otras etapas del tratamiento		Se puede recuperar subproductos	Se pueden generar olores ofensivos	La flotación con burbujas finas resulta ser económico para el espesamiento de lodos activados. Sin embargo debe existir una cubierta contra los malos olores
	Desarenador	Son prácticos para la construcción y se puede recuperar la arena pura, libre de contaminantes orgánicos, que pueden ser utilizados en la construcción después de un período de conservación		No se generan residuos que puedan contaminar	La limpieza de los desarenadores producen ruido	La limpieza se puede realizar de manera manual lo cual generaría empleo
	Estanques rectangulares	Se debe tener cuidado con la temperatura del agua, con la velocidad del flujo y con el tiempo de traslado.		Generación de olores ofensivos	Generación de ruido en el momento de la construcción	Se pueden construir en concreto, concreto armado, ladrillo o tierra. El radio hidráulico implica la construcción de múltiples estanques pequeños

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

		Estanques circulares	Su eficiencia es mejor que la de los estanques rectangulares, debido a que cuanto más se alejan las partículas de la entrada, mayor la sección transversal del flujo y menores las profundidades de sedimentación.	Generación de olores ofensivos	Generación de ruido en el momento de la construcción	Se fabrican en concreto armado. Los estanques están equipados por con un giratorio de limpieza que no requiere de controles para su movimiento. Las planchas de limpieza para la espuma no necesitan de ajustes
		Sistemas de sedimentación de dos niveles	Son lo más utilizados en plantas pequeñas y no se necesita de una supervisión para su funcionamiento	Pueden aparecer gases agresivos	Generación de olores ofensivos	Bajos costos de mantenimiento pero sus costos de construcción son elevados
		Estanques de sedimentación laminar	Solo resultan ser adecuado para aquellos tipos de lodos que no tienden a agruparse, endurecerse o adherirse. Por otro lado, no se cuentan con resultados satisfactorios en los sistemas de lodos activados. La experiencia operativa resulta muy limitada	No ve afectado por corrientes térmicas o flujos circulares causados por el viento	Generación de olores ofensivos	Se necesita de una remoción completa de las partículas gruesas, debido a las múltiples estructuras instaladas y a los numerosos bordes que dividen el flujo
		Estanques de sedimentación con flujo vertical	Sirven para descargas industriales de poco volumen pero los requerimientos de construcción son muy	Se necesita de agua para la extracción del lodo	Generación de olores ofensivos	Se necesita de tuberías de agua para retirar el lodo

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

			estrictos			
		Estanques de equilibrio o de homogenización	Sirven para mezclar mecánicamente las aguas residuales de diferentes volúmenes y concentraciones	Generación de vectores	Generación de olores ofensivos	Los costos de inversión y operación son relativamente bajos
Procesos Químicos	Métodos de tratamiento	Neutralización	Para volúmenes pequeños se necesita de una planta estática de neutralización, donde se agregue el agente neutralizante hasta obtener el valor del pH requerido	La sustancia utilizada como neutralizante puede afectar la calidad del agua	La sustancia utilizada como neutralizante puede llegar a ser tóxica	La construcción debe ser con materiales que no tengan riesgo corrosión
		Floculación	Permite la separación casi completa de los sólidos suspendidos presentes en el agua	La sustancia utilizada como floculante puede afectar la calidad del agua receptora	La sustancia utilizada como floculante puede llegar a ser tóxica. Se pueden generar olores ofensivos	Después del proceso de desestabilización del sistema, son necesarios los procesos de transporte para lograr el máximo número de colisiones de partículas
		Precipitación preliminar	Es utilizada para aguas residuales provenientes de los talleres de cerámica y las plantas productoras de papal de alta calidad. Se pueden crear masas de lodos producidos por sphaerotilus y en raras ocasiones por hongos	Se pueden generar hongos	Generación de olores ofensivos	Se necesita de químicos para lograr la precipitación

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

			<p>Tiene la ventaja de tener mejoras decisivas en la calidad de la descarga proveniente de las etapas biológicas. Hay una reducción casi total de fosfatos, eliminación de la materia en suspensión y de la que produce turbiedad, originada en la etapa de tratamiento biológico; la floculación o precipitación de productos metabólicos orgánicos provenientes de la etapa biológica. Reduce en cierta forma el contenido de microorganismos presentes en el agua. Sin embargo la filtración biológica genera lechos percoladores que deben ser tratados antes con agentes floculantes, lo cual genera efectos desagradables en la eficiencia del tratamiento</p>			
		Precipitación secundaria		El exceso de sustancias utilizadas como floculantes puede afectar la calidad del agua	Se pueden generar olores ofensivos por aumento de la concentración de sulfatos	Se puede utilizar sin necesidad de estructuras adicionales para la separación de lodos, aplicando el método de filtración biológica
		Precipitación simultánea	Logra la reducción de	Casi no hay generación de	Se pueden generar	Se requiere solo de un depósito de

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

			contenidos de fosfatos	lodos	olores ofensivos por aumento de la concentración de sulfatos	sales de aluminio o hierro y un equipo dosificador
		Adsorción	La alta contaminación del agua puede obstruir la superficie de adsorción	Contaminación del aire por la generación de malos olores	Se pueden generar olores ofensivos	Cuando el agua está muy contaminada se necesitan del agente adsorbente o la regeneración frecuente
		Extracción por solventes	Las sustancias disueltas que serán eliminadas, pueden ser separadas y recuperadas. Pero este proceso es utilizado por lo general en la fabricación de coque	No aplica	No aplica	Altos costos de operación y mantenimiento
		Separación por membrana (ultrafiltración, osmosis inversa)	Se utiliza para tratar las emulsiones de aceite que se utilizan en la industria de procesamiento de metales como lubricantes para cortar y templar. También se utiliza en la industria de alimentos y en las industrias galvanoplásticas	No aplica	No aplica	No aplica

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

		Destilación	Se puede lograr una óptima clarificación	Se necesita de bastante energía para el correcto funcionamiento	Ruido por la construcción de las instalaciones	Resulta costoso debido a la energía que se necesita y a la necesidad de grandes instalaciones
		Oxidación	Se utilizan en las plantas galvanoplásticas	Se necesita de bastante energía para el correcto funcionamiento	Generación de ruido	Se necesitan de diferentes sustancias químicas para lograr la oxidación
		Reducción	Se aplica en aguas residuales provenientes de los talleres de cromado	No aplica	No aplica	No aplica
		Proceso de intercambio de iones	Produce un bajo índice de materia foránea. Se utilizan en la industria galvanoplástica y en la remoción de concentraciones residuales después de un tratamiento preliminar	No despiden ningún tipo de sustancia orgánica	No hay generación de olores	Se necesita de resinas e iones
		Separación de compuestos volátiles	Se aplica principalmente en las refinerías de petróleo y la industria química	No aplica	No aplica	No aplica
		Aeración	Se aplica durante el tratamiento previo de las aguas residuales comerciales, en la industria farmacéutica y la industria petroquímica	Se necesita de energía para el correcto funcionamiento	Generación de ruido	Se necesita de equipos y energía

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

		Tratamiento con gas aplicando ácido carbónico o gases de conducto	Se utiliza por lo general para tratar aguas residuales alcalinas, en las refinerías de petróleo, plantas de hidrogenación y plantas petroquímicas	No aplica	No aplica	No aplica
		Evaporación	Se utiliza en la industria potasa, sosa y en las lecherías	No aplica	No aplica	No aplica
		Método de congelamiento	Sólo se ha aplicado en la extracción de agua a partir de lodos muy acuosos	No aplica	No aplica	No aplica
		Cristalización	Se aplica para eliminar el sulfato de hierro de las aguas residuales provenientes de las plantas decapadoras	No aplica	No aplica	No aplica
		Electrólisis	Se utiliza en las plantas decapadoras de cobre y para las aguas residuales que contienen aceite emulsificador	No aplica	No aplica	No aplica

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

		Sales de aluminio y hierro de fabricación comercial	Poseen un grado muy bajo de impurezas y otros aditivos solubles o insolubles	El tipo y la cantidad de aditivos podría contribuir a la descarga de contaminantes	El tipo y la cantidad de aditivos podría contribuir a la descarga de contaminantes lo que impediría la posibilidad de utilizar el agua para consumo o para uso agrícola	Se puede comprar las soluciones acabadas para no tener que comprar equipos para preservar y disolver el material sólido
	Utilización de productos químicos	Agentes polímeros floculantes de tipo comercial	Son utilizados para la remoción de materia orgánica	Algunos polímeros podrían llegar a generar más contaminación del agua	Algunos polímeros podrían llegar a generar enfermedades en el caso de que el agua sea consumida	Su precio varía según el tipo de floculante, sin embargo en algunos casos se necesita de mecanismos para su almacenamiento
		Hidrato de cal	Permite eliminar impurezas, eliminar su turbiedad y neutraliza su acidez, por otro lado se puede lograr una pureza superior al 90%	No se generan impurezas en el agua	No es tóxico, ni se generan olores ofensivos	Es de bajo costo y tiene una simplicidad de operación
Métodos Biológicos	Disposición de sistemas biológicos	Utilización de las aguas residuales agrícolas	Es apto para pequeñas poblaciones, pero se debe tener cuidado cuando se usan plaguicidas en los cultivos porque se puede tener un efecto perjudicial en los organismos que habitan en el cuerpo	Muchos de los contaminantes se descomponen en el agua residual y van humedeciendo el suelo	Las aguas residuales sirven como fertilizantes	Los terrenos no aptos para uso agrícola sirven para realizar descargas de aguas residuales con fines de almacenamiento. Se necesita de un sistema de drenaje.

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

			receptor y en la calidad del agua.			
		Lagunas de sedimentación	Tienen la ventaja de que pueden recibir y retener grandes cantidades de líquido residual crudo. No se generan acumulación de lodos o formación de sólidos flotantes o natas. Sirven como etapa de clarificación previa a las subsiguientes etapas de tratamiento	Se puede ocasionar filtraciones	No hay olores desagradables y si hay una excesiva cantidad de algas se pueden generar como alimento para patos	No hay necesidad de contar con instalaciones complementarias de aereación ni circulación. Se necesitan algas que generen oxígeno y se debe disponer de dos o hasta tres lagunas en series
	Lagunas de estabilización	Lagunas de estabilización no aeradas	Se emplean para la clarificación biológica de las sustancias orgánicas no sedimentadas y disueltas en el agua residual después de un tratamiento mecánico preliminar en las lagunas de sedimentación o utilizando otros medios	Es influenciada por la temperatura, la luz, el viento y demás factores naturales que el hombre no puede controlar	No hay olores desagradables	No hay necesidad de contar con instalaciones complementarias de aereación ni circulación.
		Lagunas de estabilización aeradas	Mayor capacidad de absorción que las lagunas de estabilización no aeradas, una mejor distribución y utilización del oxígeno, una distribución	Tiene cierta independencia de los factores naturales y posible consumo de energía	Generación de ruido	Se debe hacer dos lagunas en serie. Se necesita de aereador. Se debe contar con una zona independiente de maduración y una fase independiente para la

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

			más uniforme de los contaminantes y microorganismos en la laguna			clarificación final
		Lagunas de maduración	Escasa producción de fangos. Fácil adaptación a cambio de caudal y de carga orgánica. Son útiles para la formación de nutrientes.	No hay consumo de energía	Se puede reducir hasta un 99% los coliformes fecales. Sin embargo se pueden generar malos olores	No hay consumo de energía y su mantenimiento es simple
		Lagunas de acumulación	Son necesarias para tratar aguas residuales industriales	No hay consumo de energía	Se puede reducir hasta un 99% los coliformes fecales. Sin embargo se pueden generar malos olores	No hay consumo de energía y su mantenimiento es simple
		Criaderos de peces con agua residual	Pueden considerarse como un tipo especial de laguna de estabilización	No hay consumo de energía	Se puede generar la crianza económica de peces comestibles	Se necesita de peces de especies de carpa o tenca
	El proceso de biopercolación	Lechos biológicos	Sirven para clarificar el agua. Las cantidades de lodos que se generan son reducidas. El área superficial es mayor que el de los métodos compactos artificiales, por lo cual en muchos casos surgen dificultades en el diseño y en el área que requieren. En	Hay consumo de energía	Puede llegar a generar mal olor y moscas	Se necesita comprar microorganismos. El soporte puede ser roca, piedra pómez, escorias y material plástico. Se debe contar con una zona de protección para evitar problemas de salud por la generación de moscas. Se necesita de un sistema de depuradores

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

		los lechos de baja carga se corre el riesgo de congelamiento. Se puede lograr una reducción de carga orgánica de 95% y una completa nitrificación			
	Torres de filtración biológica	Se utilizan específicamente para tratar agua residuales con alto grado de contaminación	Hay consumo de energía	No se producen malos olores ni moscas	Se necesita de un sistema de bombeo, un ventilador y una bomba de recirculación
	Biodiscos rotatorios	Funcionan sin contar con un proceso de recirculación de lodo. Su eficiencia de degradación es de un 10 ó 20% mayor que la degradación obtenida en los lechos sumergidos simples. Los resultados obtenidos han demostrado que los valores del efluente son muchos mejores que los obtenidos con tanques de sedimentación secundaria. El volumen de lodos es menor	Bajo consumo de energía	No existen problemas por ruido, ni malos olores, ni moscas	Fácil operación y mínimo mantenimiento

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

Sistemas de lodos activados	Lodo activado	Se puede lograr una alta clarificación, pero no se puede controlar el flujo de agua, el oxígeno y la densidad bacteriana	Hay consumo de energía	No se producen malos olores ni moscas	Se necesitan equipos de aereación, microorganismos
	Aeración con aire atmosférico	Contribuye a mantener en suspensión las partículas de lodo	Hay consumo de energía	Generación de ruido	Se necesitan equipos de aereación, bombas para la recirculación del lodo
	Aeración con oxígeno puro (burbujeado)	En comparación con el sistema aeración con aire atmosférico la actividad de la biomasa es mayor, se sedimenta más rápidamente y el espesamiento del lodo es mejor. Las unidades de sedimentación secundaria y de activación pueden ser más pequeñas. La nitrificación es posible en sistemas abiertos.	Bajo consumo de energía. El rociado de agua, aerosoles y espumas no afecta al medio ambiente	No se producen malos olores	Es más económico cuando se utiliza para alta carga de contaminación. Se produce un volumen menor de lodo sobrante, lo que generaría un ahorro en el tratamiento de este lodo. Se necesita de un sistema de introducción de oxígeno. Se debe tener equipo para la medición, la alarma y protección. Las unidades de activación deben estar selladas
	Presurización	Se obtienen óptimos rendimientos, el proceso de aereación depende del tamaño de las burbujas. Su construcción es bastante compleja	Hay consumo de energía y agua	No se producen malos olores	Se deben instalar dos unidades para el correcto funcionamiento, se necesita de personal para inspeccionar-la y limpiar los aereadores
	Aeración	Evitan la	Hay consumo	Generación	Los rotores de

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

	superficial	sedimentación del lodo. Permite esparcir el agua y ponerla en contacto con más agua, recirculándola al mismo tiempo	de energía	de ruido	aeración se fabrican con placas de hacer. Se necesitan de tanques longitudinales o tanques de recirculación
	Sistemas de percolación biológica de dos fases	Se ve afectado al obstruirse la primera etapa del lecho con el lodo. Se utilizan como sistemas alternos	Se ve afectado por la temperatura	Se puede producir malos olores y moscos	Resulta ser más costoso que las plantas de una sola etapa, debido a que no se puede omitir el tratamiento preliminar ni el intermedio
	Sistemas de activación de lodos de dos fases	Permite una mejor adaptación a todo el proceso de tratamiento biológico	Hay consumo de energía	Se puede producir malos olores	La inversión es mínima
	Procesos de adsorción en la activación de lodos	Aprovechamiento de los efectos de los coagulantes	Hay consumo de energía	No tiene efectos tóxicos	Es más económico que el sistema de activación de lodos de dos fases
	Lechos biológicos combinados con procesos de activación	Produce descargas finales bajas de demanda química de oxígeno y de carga de contaminante	No se genera contaminación	Se puede producir malos olores	Se debe contar con un sistema de recirculación
	Método de percolación biológica con una etapa anterior de activación	Se obtiene el proceso de purificación, maduración y nitrificación. Un incremento en la carga volumétrica reduce la eficiencia en la eliminación de	Hay consumo de energía	Se puede producir malos olores	Se necesita de altura para los lechos biológicos, lo que complicaría la construcción de este

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

			la carga contaminante			
		Lagunas de maduración posterior	Mejora la eficiencia y el nivel de salubridad	La purificación es natural	Se puede producir malos olores	Los suelos permeables necesitan de impermeabilización
	Tratamiento anaerobio		Se adecua principalmente para aguas residuales ricas en carbohidratos y grasas	No se necesita de energía	La reducción de bacteria patógenas es relativamente bajo	Se necesita de un proceso de digestión anaerobia. Resulta más económico con aguas residuales de alta contaminación. Se necesita de tubería
	Tanques de clarificación final posteriores a sistemas de percolación biológica		El equilibrio de flujo de sólidos se ve afectado por la carga de agua mixta. Se ve afectado por el proceso de floculación de lodo	Hay consumo de energía	Se puede producir malos olores	Se necesita de altura para los lechos biológicos, lo que complicaría la construcción de este
	Tanques de clarificación final posteriores a sistemas de activación	Tanque de clarificación final con flujo horizontal	La eficiencia depende principalmente de la capacidad de floculación del lodo activado	Hay consumo de energía	Se puede producir malos olores	Se necesita de zonas de mezcla turbulenta
		Tanque de clarificación final con flujo vertical	Permite la separación de los sólidos y una última clarificación a través de su flujo	Hay consumo de energía	Se puede producir malos olores	Se debe instalar un deflector o una pared desviadora. Se necesita de un equipo extractor de succión
Métodos físico y fisicoquímicos	Eliminación de sólidos suspendidos	Microfiltro	Permite la separación de bacterias	Se necesita de agua para su limpieza	Se puede producir malos olores	Se pueden conseguir con mallas de acero y con mallas de poliéster
		Filtros de arena	Permite el desarrollo de procesos biológicos	Se necesita de agua y energía para su limpieza	Se puede producir malos olores y ruido	Se necesita de dispositivos para introducir aire

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

			aerobios a lo largo de todo el filtro			
		Filtración en el terreno	Se logra obtener menos de 5 mg/L de sólidos suspendidos	Hay uso de energía	No hay generación de olores	Se necesita de dispositivos para introducir aire
		Ultrafiltración e hiperfiltración	No se aplica para aguas residuales municipales debido a su alto costo	No aplica	No aplica	No aplica
	Eliminación de sustancias orgánicas disueltas	Adsorción mediante carbón vegetal activado	Se elimina la mayor parte de sustancias orgánicas	Alto consumo de energía y generación de gases	Se puede producir malos olores y ruido, aparte de gases generados por los hornos	Se necesitan de hornos que permitan la regeneración térmica. Se requiere de dosis de 100 a 200 mg/L de carbón activado. Se necesitan de dos o más columnas
		Oxidación con ozono	Permite la decoloración y mejora de olor y sabor del agua; reducción de la turbiedad, del contenido de materia suspendida, demanda química de oxígeno y carga contaminante	No genera contaminación	Efectos desinfectantes sobre bacterias y virus, disminuye olores	El equipo necesario es relativamente costoso
		Desorción de sustancia volátiles	Generalmente no se utiliza en aguas residuales municipales	No aplica	No aplica	No aplica
		Ósmosis inversa	Resulta dudosa su aplicabilidad en agua residuales domésticas (municipales). Es un método que se viene evaluando para	Hay uso de energía	Se genera agua que puede ser consumida	Se necesita de membranas de acetato de celulosa integrales y asimétricas

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

			la separación de sustancias orgánicas. Brinda la posibilidad de reducir el oxígeno consumido de permanganato de 3000 a 3500 mg/L hasta 600 a 1200 mg/L			
Eliminación de nutrientes	Eliminación del nitrógeno en sistemas activados	Se crean condiciones óptimas de crecimiento para las bacterias nitrificantes	Se disminuye la eutrofización	Se disminuyen malos olores	Se necesita de microorganismos	
	Eliminación del nitrógeno en reactores de lecho fijo	Se crean condiciones óptimas de crecimiento para las bacterias nitrificantes	Se disminuye la eutrofización	Se puede producir malos olores	Se debe contar con un sistema de recirculación	
	Eliminación de nitrógeno en lagunas de estabilización	Se pueden utilizar como una tercera etapa de clarificación para estabilizar las aguas residuales tratadas	Se disminuye la eutrofización	Se puede producir malos olores	Se necesita de algas, bacterias u hongos	
	Desorción de amoníaco (separación)	El amoníaco disuelto puede ser desorbido y expelido de forma gaseosa	Generación de gases, consumo de energía	Se puede producir malos olores y ruido	Se necesita de equipos de aire. Se utiliza cal. Se necesita la construcción de torres de desorción de 6 a 8 m de alto	

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

			eliminación de fosforo o aluminio estará muy por debajo de lo óptimo			
		Precipitación del fosfato de aluminio	Forma buenas partículas de sedimentación, pero en un tiempo muy largo	Genera un pH neutro en el agua	No se generan malos olores, ni intoxicaciones	Bajo costo
		Precipitación del fosfato de calcio	La turbiedad de la descarga es muy baja. El agua se ablanda, lo cual permite su reutilización. La velocidad de la reacción es rápida	El agua se puede reutilizar	No se generan malos olores	Bajo costo
	Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas	Métodos de intercambio iónico	No se utiliza para tratamiento de aguas residuales municipales	No aplica	No aplica	No aplica
		Electrodíálisis	No se utiliza para tratamiento de aguas residuales municipales	No aplica	No aplica	No aplica
		Hiperfiltración	No se utiliza para tratamiento de aguas residuales municipales	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: (Autores,2018)

De acuerdo con la matriz se escogió para el diseño de la PTAR como tratamiento mecánico las rejillas para retener material grueso, sin embargo, como se puede visualizar esta tecnología obtuvo un color amarillo, pero según la resolución 1096 del 2000 dice que, para el tratamiento de aguas residuales, esto debe ser lo mínimo que se debe tener. De igual manera para el separador de grasas y aceites, que ayuda a remover sustancias livianas sólidas y líquidas; esta técnica obtuvo un color verde dentro de la calificación de la matriz (Czys, y otros, 1991).

Para el tratamiento biológico se escogió biodiscos rotatorios, teniendo en cuenta que dentro de su calificación se obtuvo el color verde y una puntuación de 20, esto debido a que como se evidencia en la tabla 13, esta técnica tiene como ventajas que funciona sin contar con un proceso de recirculación de

lodo, su eficiencia de degradación es de un 10 ó 20% mayor que la degradación obtenida en los lechos sumergidos simples, los resultados obtenidos han demostrado que los valores del efluente son muchos mejores que los obtenidos con tanques de sedimentación secundaria, entre otras ventajas (Czysz, y otros, 1991).

Después de los biodiscos rotatorios se emplazará un sedimentador secundario que en la matriz corresponde a la precipitación secundaria para lo cual se obtuvo un color verde (ver tabla 12). Esta técnica tiene como ventaja mejorar la calidad de la descarga proveniente de la etapa anterior, además de una reducción casi total de fosfatos, la eliminación de la materia en suspensión y de la que produce turbiedad, originada en la etapa de tratamiento biológico.

11.3 Objetivo Específico 3

Elaborar el diseño sociotécnico y conceptual de la PTAR para el matadero de Supatá.

En esta etapa del proyecto se establecieron los parámetros necesarios para el diseño conceptual de la planta de tratamiento.

Rejillas: Son un tipo de enrejado utilizado en el tratamiento de aguas residuales para la separación de material grueso del agua, estas generalmente se ubican transversalmente al flujo. Al pasar el agua el material grueso queda retenido en el enrejado, el cual deberá ser retirado manualmente o con dispositivos mecánicos (Czysz, y otros, 1991).

Teniendo en cuenta la resolución 1096 de 2000 se recomienda para las rejillas limpiadas manualmente tener un espaciamiento entre las barras de la rejilla de 15 a 50mm, la velocidad de aproximación a las rejillas debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s, se debe usar un rango de velocidades entre 0.3 y 0.6 m/s y entre 0.6 y 1.2 m/s y no se permitirá una pérdida de cabeza mayor a 75 cm.

Según (Romero Rojas, 2013) las características de rejillas deben ser las siguientes:

Figura 27. Características de rejillas

Característica	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de las barras	0,5 - 1,5 cm	0,5 - 1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5 - 7,5 cm	2,5 - 7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 - 5,0 cm	1,5 - 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 - 0,6 m/s	0,6 - 1 m/s
Pérdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Fuente: (Romero Rojas, 2013)

De acuerdo con la figura anterior los cálculos para la pérdida energía en la rejilla, según la ecuación de Kirschmer serían los siguientes:

$$h_v = \beta * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{v^2}{2g} * \sin \alpha$$

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

Dónde:

h_v es la pérdida de carga en m; s es el ancho de las barras ($8\text{mm}=8*10^{-3}\text{m}$) en m; b es el espaciamiento libre de las barras en m; v es la velocidad aguas arriba de las rejillas en m/s; α es el ángulo de inclinación de la rejilla respecto a la horizontal; β es el factor de forma (1,79 para barras redondas); g es la gravedad ($9,8\text{ m/s}^2$).

Reemplazando en la anterior fórmula, para un espaciamiento de 0,03 m, una velocidad aguas arriba de las rejillas de 0,5 m/s y un ángulo de inclinación de la rejilla respecto a la horizontal de 35° la pérdida de carga es la siguiente.

$$h_v = 1,79 * \left(\frac{8 * 10^{-3} \text{m}}{0,03 \text{m}} \right)^{\frac{4}{3}} * \frac{(0,5 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} * \sin 45^\circ$$

$$h_v = 2,77 * 10^{-3} \text{ m}$$

➤ Para el área del canal

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

$$A = \frac{9,26 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{0,5 \text{ m/s}}$$

$$A = 1,85 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Dónde:

A es el área del canal (m^2); Q es el caudal (m^3/s); V es la velocidad aguas arriba de la rejilla (m/s)

➤ Para un ancho de canal de 0,40 m, la altura de la lámina de agua sería:

$$h = \frac{A}{AC}$$

$$h = \frac{1,85 * 10^{-4} \text{ m}^2}{0,40 \text{ m}}$$

$$h = 4,62 * 10^{-4} \text{ m}$$

Dónde:

h es la altura de la lámina de agua (m); A es el área del canal (m^2); AC es el ancho de canal (m)

➤ Para la longitud de la rejilla sería:

$$L = \frac{h}{\sin \alpha}$$

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

$$L = \frac{4,62 * 10^{-4} m^2}{\sin 45^\circ}$$

$$L = 6,53 * 10^{-4} m$$

Dónde:

L es la longitud de la rejilla (m); h es la altura de la lámina (m²); α es el ángulo respecto a la horizontal (°)

➤ Para el número de barras requeridas *n* será:

$$n * 2 + (n - 1) b = AC$$

$$n * 2 + (n - 1) \left(0,03m * \frac{100cm}{1m} \right) = 40cm$$

$$n * 2 + (n - 1)(3 cm) = 40cm$$

Dónde:

n es el número de barras; b es el espaciamiento libre de las barras (cm); AC es el ancho de canal (cm)

Despejando *n* se tiene:

$$n * 2 + (n - 1)(3 cm) = 40cm$$

$$2n + 3n - 3 = 40$$

$$5n = 40 + 3$$

$$n = \frac{43}{5}$$

$$n = 8,6 \approx 9$$

Canaleta Parshall: Es el aforador de flujo crítico más conocido, esta canaleta consta de una contracción lateral que forma la garganta (W), y de una caída brusca en el fondo, en la longitud correspondiente a la garganta, seguida por un ascenso gradual que coincide con la parte divergente (Romero Rojas, 2013).

El diseño tendrá un aforo de canaleta parshall de acuerdo con los parámetros recomendados por (Romero Rojas, 2013), de esta manera las dimensiones deberán ser las siguientes:

La fórmula para la canaleta parshall se obtiene de la siguiente Figura:

Figura 28. Fórmulas para la canaleta Parshall

Ancho de la garganta (cm)		Ecuación*	Capacidad (L/s)
2,5	(1")	$Q = 0,055 H_a^{1,5}$	0,3 – 5
5	(2")	$Q = 0,110 H_a^{1,5}$	0,6 – 13
7,6	(3")	$Q = 0,176 H_a^{1,547}$	0,8 – 55
15,2	(6")	$Q = 0,381 H_a^{1,58}$	1,5 – 110
22,9	(9")	$Q = 0,535 H_a^{1,53}$	2,5 – 250
30,5	(12")	$Q = 0,690 H_a^{1,522}$	3,1 – 455
45,7	(18")	$Q = 1,054 H_a^{1,539}$	4,3 – 700
61,0	(24")	$Q = 1,426 H_a^{1,55}$	12 – 950
91,4	(36")	$Q = 2,182 H_a^{1,566}$	17 – 1.400
121,9	(48")	$Q = 2,935 H_a^{1,578}$	37 – 1.900
152,4	(60")	$Q = 3,728 H_a^{1,587}$	60 – 2.400
182,8	(72")	$Q = 4,515 H_a^{1,595}$	70 – 2.900
213,4	(84")	$Q = 5,306 H_a^{1,601}$	115 – 3.450
243,8	(96")	$Q = 6,101 H_a^{1,606}$	130 – 3.950
305	(120")	$Q = 7,463 H_a^{1,6}$	250 - 5.660

* Q en m³/s; H_a en m.

Fuente: (Romero Rojas, 2013)

Teniendo en cuenta que el caudal del matadero es de 0,09 L/s, de acuerdo con la figura anterior, se seleccionó el ancho de la garganta y la ecuación, para una capacidad de 0,3 – 5 (L/s), es decir que la ecuación para la profundidad de agua H_a sería la siguiente:

$$Q = 0,055 H_a^{1,5}$$

Dónde:

Q es el caudal (m³/s); H_a es la profundidad de agua

Despejando H_a de esta fórmula, se tiene:

$$H_a = \left(\frac{9,26 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}}{0,055} \right)^{\frac{1}{1,5}}$$

$$H_a = 0,01 \text{ m}$$

$$H_a = 1 \text{ cm}$$

Para el cálculo de la profundidad de H_b para sumergencia máxima del 60%, se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{H_b}{H_a} = 0,60$$

Al despejar H_b se tiene:

$$H_b = 0,60 * 1 \text{ cm}$$

$$H_b = 0,60 \text{ cm}$$

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

La canaleta parshall debe tener una configuración, para lo cual se tomaron las dimensiones correspondientes a un ancho de garganta (W) de 2,5 cm, estas dimensiones se muestran señaladas en la siguiente figura:

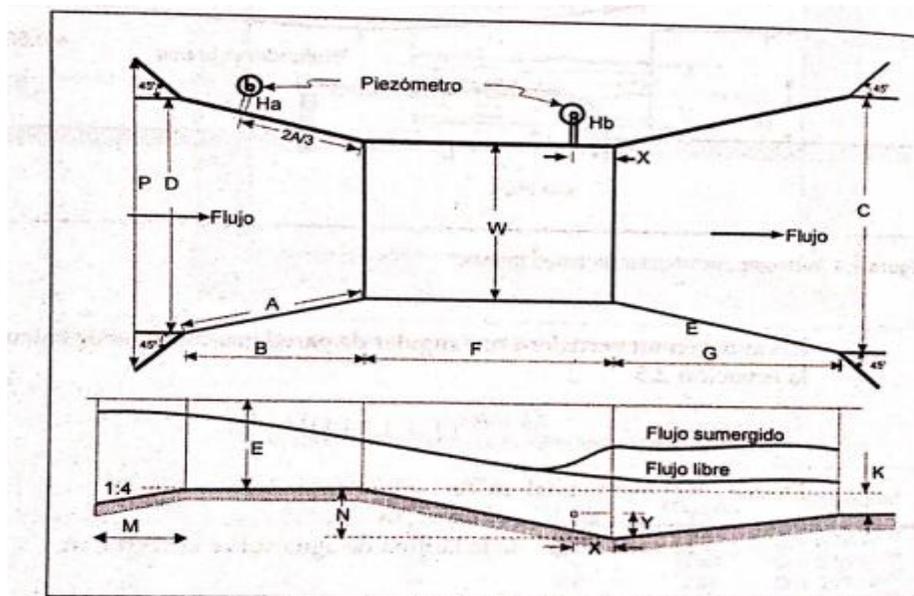
Figura 29. Dimensiones de la canaleta Parshall

W (cm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G (cm)	K (cm)	N (cm)	R (cm)	M (cm)	P (cm)	X (cm)	Y (cm)
2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	50,0	0,8	1,3
5,1	41,4	40,6	13,5	21,4	35,6	11,4	25,4	2,2	4,3	-	-	70,0	1,6	2,5
7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	40,6	30,5	76,8	2,5	3,8
15,2	62,1	61,0	39,4	40,3	45,7	30,5	61,0	7,6	11,4	40,6	30,5	90,2	5,1	7,6
22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	61,0	30,5	45,7	7,6	11,4	40,6	30,5	108,0	5,1	7,6
30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	149,2	5,1	7,6
45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	167,6	5,1	7,6
61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	185,4	5,1	7,6
91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	222,3	5,1	7,6
122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	271,1	5,1	7,6
152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	308,0	5,1	7,6
182,8	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	344,2	5,1	7,6
213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	381,0	5,1	7,6
244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	417,2	5,1	7,6
305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3	-	-	-	30,5	22,9

Fuente: (Romero Rojas, 2013)

Como se puede observar la canaleta Parshall tendra las siguientes dimensiones en cm: A = 36,3; B = 35,6; C = 9,3; D = 16,8; E = 22,9; F = 7,6; G = 20,3; K = 1,9; N = 2,9; P = 50,0; X = 0,8 y Y = 1,3. A continuación se muestra la representación gráfica de la configuración de la canaleta Parshall.

Figura 30. Configuración de la canaleta Parshall



Fuente: (Romero Rojas, 2013)

Trampa de grasas

Las trampas de grasas se utilizan para evitar el taponamiento de las tuberías y el efecto deletéreo que pueden llegar a tener sobre la acción bacteriana y la sedimentación en el tanque séptico (Romero Rojas, 2013).

Para la separación de grasas y aceites, el tanque debe tener 0.25m² de área por cada litro por segundo, una relación ancho/longitud de 1:4 hasta 1:18 y una velocidad ascendente mínima de 4mm/s.

Los cálculos para la velocidad son los siguientes:

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

Donde

Q es el caudal (m³/s); V es volumen (m³); t es el tiempo de retención (s)

Para calcular el volumen se tomará un tiempo de retención de 15 minutos despejando se tiene:

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

$$V=Q*t$$

$$V = (9,26 * 10^{-5} m^3/s) \left(15 min * \frac{60 s}{1 min} \right)$$

$$V=0,08 m^3$$

- Para calcular el área se elige la relación ancho/longitud de 1:4 y se tiene:

$$A=L*4L$$

Dónde:

A es el área (m²); L es la longitud (m)

- Relacionando el volumen con el área se tiene:

$$V=A$$

Dónde:

V es el volumen (m³); A es el área (m²)

Reemplazando se tiene:

$$V=A$$

$$V=L*4L$$

$$V=4L^2$$

Despejando L se tiene:

$$V=4L^2$$

$$L^2 = \frac{V}{4}$$

$$\sqrt{L^2} = \sqrt{\frac{V}{4}}$$

$$L = \sqrt{\frac{V}{4}}$$

$$L = \sqrt{\frac{0,08 \text{ m}^3}{4}}$$

$$L = 0,14\text{m}$$

Ya teniendo el valor de L se reemplaza en la ecuación correspondiente al área y se tiene:

$$\begin{aligned} A &= L * 4L \\ A &= (0,14\text{m}) * 4(0,14\text{m}) \\ A &= 0,08 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Biodiscos rotatorios

Los biodiscos rotatorios son un sistema que se utiliza en el tratamiento biológico secundario para aguas residuales, en los cuales la película biológica se encuentra adherida a los discos que se encuentran en un eje horizontal, el cual está girando lentamente. Dicho eje se encuentra sumergido hasta la mitad en el tanque que contiene el agua residual. Cuando los discos giran, la película biológica queda expuesta alternadamente al agua residual y al aire atmosférico. Cuando esto sucede se fija algo de substrato y oxígeno necesario para los microorganismos mineralizantes (Czysz, y otros, 1991).

Los biodiscos rotatorios se diseñaran para una DBO₅ de 20,48 kg/d y de acuerdo a los parámetros establecidos por (Czysz, y otros, 1991).

- Para calcular la superficie necesaria total del disco se tiene:

$$A = \frac{S_{om} * Q}{B_A}$$

$$A = \frac{20,40 \text{ kg/d} * 8\text{m}^3/\text{d}}{0,04 \text{ kg/m}^2\text{d}}$$

$$A = 4.080 \text{ m}^2$$

Dónde:

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

A es la superficie necesaria del disco (m^2); S_{om} es la DBO_5 promedio diario en el afluente (kg/d); Q es el caudal (m^3/d); B_a es la carga superficial de DBO_5 (kg/m^2d), $40 g/(m^2d)$ para el agua residual en vía de degradación, la cual equivale a $0,04 kg/m^2d$

- El área superficial debe ser corregida por el factor de 0,87 para 4 etapas (Romero Rojas, 2013). como se observa en la siguiente Figura:

Figura 31. Factores de corrección de área por número de etapas

Nº de etapas	Factor	% máximo de remoción de DBO
3	0,91	85
4	0,87	90
>4	0,85	90

Fuente: (Romero Rojas, 2013).

El área corregida será:

$$A_c = A * 0.87$$

$$A_c = 4.080 m^2 * 0.87$$

$$A_c = 3549,6 m^2$$

Dónde:

A_c es el área corregida; A es la superficie necesaria del disco

- Para el número de discos se utilizó un diámetro de disco de 3m, por lo tanto se tiene:

$$N^{\circ} de discos = \frac{A_c}{2\pi(d)^2}$$

$$N^{\circ} de discos = \frac{3549,6 m^2}{2\pi(3m)^2}$$

$$N^{\circ} de discos = 62,77 \approx 63 discos/eje$$

En la siguiente figura se muestra las características típicas de los discos biológicos

Figura 32. Características de los discos biológicos

Afluente	Sedimentado
Carga hidráulica	0,04 – 0,06 m/d ⁽⁷⁾ 0,02 – 0,08 m/d ⁽⁶⁹⁾ 0,06 – 0,10 m/d ⁽²⁰⁾
Para remoción de DBO	0,06 – 0,24 m/d ⁽¹¹⁵⁾
Para DBO/SS < 30/30 mg/L	0,08 – 0,16 m/d ⁽²¹⁾
Para remoción de N	0,06 – 0,07 m/d ⁽¹¹⁵⁾
Para DBO/SS < 15/15 mg/L y nitrificación	0,03 – 0,08 m/d ⁽²¹⁾
Carga orgánica	
Sobre la primera etapa	50 – 60 g DBO/m ² .d ⁽⁷⁾ <100 g DBO/m ² .d ⁽²⁰⁾ < 31 g DBO/m ² .d ⁽⁹⁰⁾
DBO soluble	12 – 20 g DBO/m ² .d ⁽¹¹⁵⁾
DBO total	30 – 40 g DBO/m ² .d ⁽¹¹⁵⁾
Tiempo de retención	50 – 70 minutos ⁽⁶⁹⁾
Coefficiente de temperatura	1,02 – 1,04
Ejes	
Velocidad de rotación	1 – 2 RPM ^(7,42)
Longitud	<7,5 m ⁽⁴²⁾
Diámetro	13 – 25 mm ⁽⁹⁰⁾
Motores	3,7 – 5,6 kW/eje ⁽⁹⁰⁾
Discos	
Número de discos por eje	40 – 60
Número de etapas en serie	4 – 5
Diámetro	3,0 – 3,6 m ⁽⁴²⁾ 2 – 3 m ⁽²⁰⁾
Espesor	10 mm ⁽⁷⁾
Material, planos o corrugados	poliestireno o polietileno ⁽⁴²⁾
Sumergencia	40% ^(20, 42)
Velocidad de rotación periférica	20 – 30 cm/s ⁽⁷⁰⁾
Separación	3 – 4 cm ⁽⁷⁾
Área de discos por eje	9.300 – 11.700 m ² ⁽¹¹⁸⁾
Área superficial específica del medio	115 – 175 m ² /m ³ ⁽¹⁷⁸⁾
Sedimentador secundario	
Carga de sólidos para caudal pico	147 – 176 kg/m ² .d ⁽⁶⁹⁾
Tiempo de retención	4 h
Carga superficial	33 m/d ⁽⁷⁾
Efluente	
DBO total	15 – 30 mg/L ⁽¹¹⁵⁾
DBO soluble	7 – 15 mg/L ⁽¹¹⁵⁾
NH ₃ – N	1 – 10 mg/L ⁽¹¹⁵⁾
NO ₃ – N	2 – 7 mg/L ⁽¹¹⁵⁾
Lodos	
Producción	0,04–0,5 kg/kg DBO removida ⁽²¹⁾
Concentración de sólidos	2 – 5%
Eficiencia	
Remoción de DBO	80 – 95% ⁽¹¹⁵⁾
Energía	
Consumo	0,6 W/m ² ⁽⁷⁰⁾
Costo	US\$ 3,2 – \$5,4/m ² ⁽⁷⁰⁾

Fuente: (Romero Rojas, 2013)

El espesor de los discos será de 10 mm con una separación de 3 cm, con una longitud de 7 m para los ejes. La distancia entre los anillos del disco y el tanque debe ser de 9 cm para evitar la acumulación de

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

lodos. Los discos deben estar sumergidos a un 40%. Los anteriores datos se escogieron de acuerdo a la Figura 33.

Sedimentador secundario

Los tanques de sedimentación son utilizados para la sedimentación de partículas con dimensiones menores a 0,2 mm, normalmente son construidos en concreto, concreto armado, ladrillo o tierra, en forma aislada o en grupos (Czysz, y otros, 1991).

El sedimentador se diseña para un caudal de 8 m³/d y con un tiempo de retención de 4 horas como se indica en la Figura 33.

- El volumen del tanque será:

$$V = \frac{Q * t}{24}$$

$$V = \frac{8 \text{ m}^3/\text{d} * 4\text{h}}{24\text{h}/\text{d}}$$

$$V = 1,33 \text{ m}^3$$

Dónde:

V es el volumen del tanque (m³); Q es el caudal (m³/d); t es el tiempo de retención (h)

- Para calcular el área se elige la relación ancho/longitud de 1:4 y se tiene:

$$A=L*4L$$

Dónde:

A es el área (m²); L es la longitud (m)

- Relacionando el volumen con el área se tiene:

$$V=A$$

Dónde:

V es el volumen (m³)

A es el área (m²)

Reemplazando se tiene:

$$V=A$$

$$V=L*4L$$

$$V=4L^2$$

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

Despejando L se tiene:

$$\begin{aligned}V &= 4L^2 \\L^2 &= \frac{V}{4} \\ \sqrt{L^2} &= \sqrt{\frac{V}{4}} \\ L &= \sqrt{\frac{V}{4}} \\ L &= \sqrt{\frac{1,33 \text{ m}^3}{4}} \\ L &= 0,576\text{m}\end{aligned}$$

Ya teniendo el valor de L se reemplaza en la ecuación correspondiente al área y se tiene:

$$\begin{aligned}A &= L * 4L \\ A &= (0,576\text{m}) * 4(0,576\text{m}) \\ A &= 1,33 \text{ m}^2\end{aligned}$$

➤ Para la carga superficial se tiene:

$$\begin{aligned}CS &= \frac{Q}{A} \\ CS &= \frac{8 \text{ m}^3/\text{d}}{1,33 \text{ m}^2} \\ CS &= 6,02 \text{ m/d}\end{aligned}$$

Dónde:

CS es la carga superficial (m/d); Q es el caudal (m³/d); A es el área (m²)

Finalmente, el diseño de la PTAR deberá tener lo siguiente:

- Una rejilla con espaciamiento de 0,03 m, con una velocidad aguas arriba de las rejas de 0,5 m/s, un ángulo de inclinación de la rejilla respecto a la horizontal de 35 °, una pérdida de carga de 2,77*10⁻³ m, un área del canal de 1,85*10⁻⁴ m², una altura de lámina de agua de 4,62*10⁻⁴ m, una longitud de 6,53*10⁻⁴ m y 9 barras.

- Una trampa de grasas con un tiempo de retención de 15 minutos, un volumen de $0,08 \text{ m}^3$ y un área de $0,08 \text{ m}^2$.
- Unos biodiscos rotatorios de 4 etapas, con superficie total del disco de 4.080 m^2 , una carga superficial de DBO_5 igual a $0,04 \text{ kg/m}^2\text{d}$, un área de $3549,6 \text{ m}^2$, un diámetro de 3m para los discos, debe haber 63 discos por eje, los discos deberán tener un espesor de 10mm con una separación de cm, la longitud de los ejes debe ser de 7 m, la distancia entre los anillos del disco y tanque debe ser de 9 cm y por último estos discos deben estar sumergidos a un 40%.
- Un sedimentador secundario con un volumen de $1,33 \text{ m}^3$, un área de $1,33 \text{ m}^2$ y carga superficial de $6,02 \text{ m/d}$

12. Conclusiones

12.1 Conclusiones por Objetivos Específicos

A continuación, se presentan las conclusiones del trabajo de investigación descritas por cada uno de los objetivos específicos.

12.1.1 Objetivos Especifico 1

Realizar un diagnóstico socioambiental para determinar el uso y las condiciones en las que se encuentra el agua de la quebrada hornos como fuente receptora.

De acuerdo con el proceso productivo del matadero de Supatá, en la etapa de desangrado se genera la mayor cantidad de sangre como resultado de un mal manejo de recolección del residuo, el cual es evacuado al exterior sin ningún tratamiento previo. Por otra parte, la etapa de evisceración representa el mayor consumo de agua y como consecuencia se genera agua contaminada producto de la mezcla de residuos de detergente, sangre, grasa, excremento y otros fluidos del animal.

La Metodología para el cálculo de la carga contaminante presuntiva para el matadero de Supatá arrojó que se generan en promedio diariamente $20,40 \text{ kg}$ de DBO_5 , $12,8 \text{ kg}$ de DQO y $16,64 \text{ kg}$ de SST, a pesar de que el valor de la DQO fue menor comparado con el de la DBO_5 y los SST, la carga contaminante en general representa un 20% de la población urbana del municipio.

Los habitantes encuestados reconocen la alta dependencia económica del agua de la Quebrada, la cual es de gran importancia en su entorno productivo, este recurso les provee bienes y servicios ambientales significativos e indispensables en su territorio. El recurso hídrico representa un factor determinante en la producción, especialmente en el riego de cultivos y la ganadería, sin embargo, los habitantes reconocen la alta transformación que ha tenido el agua producto de las malas prácticas efectuadas por el matadero, las cuales han contribuido a la degradación y transformación de la Quebrada Hornos.

12.1.2 Objetivo Especifico 2

Determinar el tipo de PTAR más apropiado para el tratamiento de los vertimientos generados por el matadero.

A partir de las diferentes alternativas de tratamiento estudiadas, teniendo en cuenta aspectos ambientales, técnicos, económicos y sociales se seleccionó el tipo de PTAR más apropiada para el matadero, la cual consiste en un pretratamiento con rejillas; a pesar de que esta tecnología obtuvo en la evaluación de la matriz el color amarillo “medianamente aplicable”, fue seleccionada teniendo en cuenta la resolución 1096 del 2000, la cual dice que para el tratamiento de aguas residuales, el método seleccionado debe ser lo mínimo que se debe aplicar. Después de las rejillas se sugiere emplear una trampa de grasas, seguido de un tratamiento biológico con biodiscos rotatorios y un sedimentador secundario.

Objetivo Especifico 3

Elaborar el diseño sociotécnico y conceptual de la PTAR para el matadero de Supatá.

El diseño de la PTAR consiste en una rejilla para separar material grueso con 9 barras y una longitud de $6,53 \times 10^{-4}$ m, una trampa de grasas diseñada con un tiempo de retención de 15 minutos, cuya área debe ser de $0,08 \text{ m}^2$, unos biodiscos rotatorios de 4 etapas, con un área de $3549,6 \text{ m}^2$ y finalmente un sedimentador secundario con un área de $1,33 \text{ m}^2$.

12.2 Conclusiones Generales

La metodología implementada para la identificación de la carga orgánica producida por el matadero fue eficiente, sin embargo, los resultados muestran que la DQO fue menor que la DBO_5 , lo que debería ser contrario comparado con la mayoría de datos encontrados bibliográficamente en otros mataderos, por lo cual se considera que se debería realizar un análisis fisicoquímico del agua generada por el matadero para próximas investigaciones.

La metodología para la evaluación de las tecnologías para tratamiento de las aguas residuales fue eficaz, en la medida que permitió identificar y seleccionar el tipo de PTAR más apropiado.

Las visitas realizadas al matadero presentaron un grado de dificultad medio, debido a que los permisos fueron bastante limitados por parte de la alcaldía municipal.

Fue difícil encontrar estudios acerca del diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para mataderos con el mismo número y distintos tipos de animal sacrificado. Por lo general el número en los mataderos era el doble comparado con el matadero de Supatá y el tipo más común eran reses y porcinos.

13. Recomendaciones

Es importante recolectar la sangre en su totalidad, ya que es el residuo más contaminante. Se recomienda recolectar la sangre en una pileta de sangrado que debe ser construida en el sitio de degüello o el uso de un recipiente que permita cumplir con la misma función, dando suficiente tiempo de sangrado para lograr evacuar del cuerpo del animal la mayor cantidad de sangre. Dentro de las alternativas para el aprovechamiento de sangre del bovino está el uso como alimento para el engorde de pollos y de cerdos. Generalmente, la sangre animal es procesada añadiéndole desechos de matanza, que no constituyan peligro para la salud animal y otros desperdicios de tejido animal resultantes de la faena. De este proceso, se obtiene un producto final que se puede denominar harina de sangre, carne y hueso

(HSCH), útil en la fabricación de balanceados para la alimentación animal. La cantidad de sangre de un animal corresponde, en promedio, a un 3% de su peso en vivo. Este sistema de obtención de harina de carne y hueso presenta la gran ventaja de que se puede obtener una materia prima de buena calidad de proteína para la industria de los balanceados, aprovechando la sangre y todos aquellos otros desperdicios comestibles de matanza.

El rumen es un contaminante ambiental rico en proteínas, minerales y vitaminas que lo convierte en un residuo aprovechable. El contenido ruminal puede tener uso en la alimentación animal como en la porcicultura. Se recomienda que la harina ruminal sea utilizada en la fabricación de concentrado para animales en ganadería productora de leche, avicultura y cunicultura. Se puede considerar también el uso del contenido ruminal en procesos de producción de humus mediante la lombricultura o el compostaje. Para esto, se recomienda recoger el rumen en una carretilla y ubicarlos en el cuarto ruminal. Este procedimiento puede aplicarse de igual manera al estiércol contenido en el intestino.

Los cascos y cueros son subproductos en el proceso del matadero que por sus características es difícil su recolección y aprovechamiento, sin embargo, pueden llegar a ser utilizados como fuente proteica en alimentos concentrados, en artesanías, en la fabricación de espumas en la industria de extintores y como fertilizantes en la agricultura o abono debido a su alto contenido de nitrógeno.

Con relación a las responsabilidades en el Ahorro y Uso Eficiente de Agua se recomienda cambiar el proceso de limpieza e iniciar la recolección de estiércol en seco utilizando para ellos cepillos, rastrillos y palas. Posteriormente la limpieza final debe ser preferiblemente hecha con ayuda de mangueras de lavado a presión y con el uso de cepillos de cerda dura que faciliten la remoción de los residuos que se encuentran en el piso.

14. Bibliografía

- Acero, R., Riaño, G., & Cardona, D. (2013). Evaluación del sistema de gestión ambiental de los frigoríficos cárnicos en Colombia. *Criterio Libre*, 93-123. Recuperado el 9 de julio de 2018
- Alcaldía de Supatá. (16 de Mayo de 2017). *Supatá*. Recuperado el 9 de julio de 2018, de http://www.supata-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml
- Alcaldia Municipal de Supatá. (2016). *Plan de Desarrollo 2016-2019*. Recuperado el 4 de septiembre de 2018, de <file:///C:/Users/AixaA/Downloads/DIAGNOSTICO%20PLAN%20DE%20DESARROLLO.pdf>
- Arias Hoyos, A., Hernández Medina, J., Castro Valencia, A., & Sánchez Peña, N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural. *Bioteología en el sector Agrario y Agroindustrial (1)*, 29-39. Recuperado el 21 de agosto de 2018
- Bartolome Hiroyuki, K. M. (s.f). *Planta de Faenamiento de Ganado Vacuno*. Recuperado el 18 de septiembre de 2018, de Consultora Ambiental: Ing. Amb. Virginia Filippi: http://www.seam.gov.py/wp-content/uploads/2018/07/R0712.16_PLANTA-DE-FAENAMIENTO-DE-GANADO-VACUNO_197121.15_KONISHI-MIJUDE-BARTOLOME-HIROYUKI-1.pdf
- Bustamante, T. (2017). Evaluación de sostenibilidad ambiental del sistema productivo de la papa mediante indicadores sociales, económicos y ecológicos, estudio de caso municipio de

- Lenguazaque Cundinamarca. (Universidad El Bosque, & Facultad de Ingeniería, Edits.) Bogotá, Colombia. Recuperado el 21 de marzo de 2018
- Camacho, J. V. (2001). *Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas*. Real: Universidad de Castilla-La Mancha. Recuperado el 16 de agosto de 2018
- Carrasquero Ferrer, S., Marquina Gelvez, D., Soto López, J., Viloría Rincón, S., Pire Sierra, M., & Díaz Montiel, A. (2015). Remoción de nutrientes en aguas residuales de un matadero de reses usando un reactor biológico secuencial. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 43-60. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de Ciencia e ingeniería neogranadina.
- Castells, X. E. (2002). Madrid: Diaz de Santos. Recuperado el 18 de agosto de 2018
- Castillo, E., & Rangel, R. (2012). Calidad del agua asociada a desechos de mataderos. Caso: microcuenca La Charaveca, Mpio. Cárdenas, estado Táchira. *Geoenseñanza*, 17, 49-65. Recuperado el 15 de agosto de 2018
- Castro Molano, L., Escalante Hernández, H., Gómez Serrato, O., & Jiménez Piñeros, D. (2016). Análisis del potencial metanogénico y energético de las aguas residuales de una planta de sacrificio bovino mediante digestión anaeróbica. *DYNA*, 41-49. Recuperado el 27 de julio de 2018
- Chaux, G. (2009). *Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades caso: Municipio del Tampo (Colombia)*. Recuperado el 20 de septiembre de 2018
- Czysz, W., Denne, A., Rump, H., Schneider, W., Staudte, E., & Supperl, W. (1991). *Manual de disposición de aguas residuales: origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales* (Vol. Tomo 1). Lima: GTZ. Recuperado el 17 de septiembre de 2018
- DANE. (2011). *Proyecciones de poblaciones municipales por área 2005 - 2020*. Recuperado el 16 de septiembre de 2018
- Esquema de Ordenamiento Territorial . (2001-2009). *Supatá, Cundinamarca*. Recuperado el 9 de septiembre de 2018
- Glaría, V. (2013). *Evaluación exploratoria de sustentabilidad de tres socio-ecosistemas en el matorral y bosque esclerófilo de Chile Central*. Recuperado el 30 de marzo de 2018, de <http://journals.openedition.org/polis/8790>
- Hernadéz, D., & Sánchez, S. (2014). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Residual para el municipio de San Marcos -Departamento de Sucre*. Recuperado el 9 de septiembre de 2018, de Universidad Católica de Colombia.
- Hernández Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (Quinta Edición ed.). México: McGraw Hill. Recuperado el 10 de julio de 2018
- Hernández, D., & Sánchez, S. (28 de Mayo de 2014). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA EL MUNICIPIO DE SAN MARCOS-DEPARTAMENTO DE SUCRE*. Recuperado el 11 de julio de 2018, de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2395/1/Dise%C3%B1o%20de%20una%20planta%20de%20tratamiento.pdf>
- Jiménez, B. E. (2001). *La contaminación Ambiental en México*. México: Limusa. Recuperado el 19 de julio de 2018
- Lozano Rivas, W. A. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado el 18 de septiembre de 2018, de Universidad Nacional Abierta y a Distancia: https://www.researchgate.net/publication/298354134_Diseño_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales

- Madureira, J., Melo, R., Pimenta, A., Cabo Verde, S., & Borrely, S. (2017). Evaluation of e-beam irradiation effects on the toxicity of slaughterhouse wastewaters. *Environmental Technology*, 39, 873-877. Recuperado el 17 de julio de 2018
- Maldonado, J. I., & Ramón, J. A. (2013). Sistema de tratamiento de aguas residuales industriales en mataderos. *Revista Ambiental Agua, Aire y suelo*, 34-47. Recuperado el 21 de agosto de 2018, de http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/112/109
- Mendoza, H. (2009). *Capítulo 4*. Recuperado el 6 de septiembre de 2018, de http://ubosquemoodle.unbosque.edu.co/moodle/pluginfile.php/186500/mod_resource/content/1/Estudios%20de%20caso.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente. (2002). *Guía Ambiental de Formulación de Planes de Pretratamiento de Efluentes Industriales*. Recuperado el 17 de septiembre de 2018
- Moreno García, B. (2006). Higiene e inspección de carnes -I. España: Diaz de Santos. Recuperado el 20 de agosto de 2018
- Muñoz Muñoz, D. (2005). *Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de matadero: Para una población menor a 2000 habitantes*. Recuperado el 19 de septiembre de 2018, de Universidad del Cauca: [file:///C:/Users/AixaA/Downloads/Dialnet-SistemaDeTratamientoDeAguasResidualesDeMatadero-6117975%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/AixaA/Downloads/Dialnet-SistemaDeTratamientoDeAguasResidualesDeMatadero-6117975%20(1).pdf)
- Muñoz, D. (2005). Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero para una población menor 2000 habitantes. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 88-98. Recuperado el 2 de agosto de 2018
- Oficina de Planeación de Supatá Cundinamarca. (2016). *Plan de Desarrollo municipio Supatá Cundinamarca 2016-2019*. Recuperado el 25 de julio de 2018
- Portillo, S. N. (2014). *Tratamiento de efluentes líquidos en la industria frigorífica*. Recuperado el 22 de Agosto de 2018, de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/50045/Documento_completo.pdf?sequence=3
- Procuraduría General de la Nación. (2008). *Seguimiento a las plantas de sacrificio bovino y porcino en el país. Informe preventivo*. Bogotá: Procuraduría General de la Nación. Recuperado el 17 de julio de 2018
- Quiroga Tapias, G., & Ortiz Peña, V. (1992). *Planta de Sacrificio de Ganado: Matadero Municipal*. Recuperado el 18 de septiembre de 2018, de file:///C:/Users/AixaA/Downloads/planta_sacrificio_ganado_%20matadero.PDF
- Real Olvera, J., Rustrian Portilla, E., & Landa Huerta, F. (2015). Adsorption of organic pollutants from slaughterhouse wastewater using powder of Moringa oleifera seeds as a natural coagulant. *Desalination and water treatment*, 9971-9981. Recuperado el 17 de julio de 2018
- Romero Rojas, J. A. (2013). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado el 20 de septiembre de 2018
- Russell, D. L. (2012). *Tratamiento de aguas residuales: Un enfoque práctico*. Recuperado el 4 de agosto de 2018, de Editorial Reverté.
- Sossa, J. J., & Alvarez, R. (2016). Implementación del Modelo IWA ADM1 a la modelación y simulación del tratamiento anaerobio de los efluentes industriales de matadero en un Reactor UASB. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz, Vol 3*, 67-80. Recuperado el 15 de julio de 2018, de http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/riiarn/v3n1/v3n1_a09.pdf
- Tariq, M., Mahtab, A., Siddique, S., Waheed, A., Shafiq, T., Khan, H., & Muhammad. (2011). Optimization of coagulation process for the treatment of the characterized slaughterhouse

Propuesta para el diseño conceptual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca

wastewater. *Pakistan journal of scientific and industrial research*, 43-48. Recuperado el 10 de julio de 2018

15. Anexos

Anexo 1. Formato encuesta: Usos de la Quebrada Hornos

 <p>UNIVERSIDAD EL BOSQUE</p>	Número de encuesta ____
PROPUESTA PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MATADERO DE SUPATÁ, CUNDINAMARCA	
<u>USOS DE LA QUEBRADA HORNOS</u>	
<i>Aixa Carolina Alvarez Ozuna, Paola Andrea Murillo Gómez</i>	
1. Utiliza usted el agua de la Quebrada Hornos	
Sí _____ No _____	
2. Para qué utiliza usted el agua de la Quebrada Hornos	
Domestico _____ Pecuario _____	
Riego _____ Recreativo _____	
Otro _____ ¿Cuál? _____	
3. Con que frecuencia utiliza usted el agua de la Quebrada Hornos a la semana	
1 día _____ 2 o 3 días _____	
4 o 5 días _____ Toda la semana _____	
4. Ha percibido usted en la Quebrada Hornos algunas de las siguientes opciones	
Mal olor _____ vectores _____	
Color oscuro _____ Otro _____ ¿Cuál? _____	
5. Califique de 1 a 3 el grado de importancia a nivel ambiental de la Quebrada Hornos	
1 Importancia baja _____ 2 Importancia media _____ 3 Importancia alta _____	

Anexo 2. Mapa del recorrido para la realización de encuestas

