



**DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL PARA LA EMPRESA DE BENEFICIO
ANIMAL DEL MUNICIPIO DE SARAVENA, ARAUCA**

**DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA
EMPRESA DE BENEFICIO ANIMAL DEL MUNICIPIO DE SARAVENA, ARAUCA**

AUTOR

YELKIN FERNEY MONTERREY CARRILLO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL Y QUIMICA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS

INGENIERIA AMBIENTAL

PAMPLONA

2020

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

YELKIN FERNEY MONTERREY CARRILLO

DIRECTOR

JULIO ISAAC MALDONADO MALDONADO

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

DEPARTAMENTO DE INGENIERA CIVIL, AMBIENTAL Y QUIMICA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS

INGENIERIA AMBIENTAL

PAMPLONA

2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, que me ha dado la oportunidad de estudiar y prepararme en esta carrera tan importante para el cuidado del mundo.

A mis padres, que han sido mi apoyo desde siempre, por su infinito amor y bondad, a mis amigos y allegados quienes con sus consejos me han alentado para continuar, a mis hermanos Ruber y Yamid por cuidar de mí siempre, a ellos que continuaron y continuarán depositando su confianza y esperanza en mí.

A aquellos compañeros de Universidad que me ayudaron a culminar este trabajo.

¡Mil gracias!

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios, que me ha dado la oportunidad de estudiar y prepararme en esta increíble carrera, que me permitirá poder ayudar a mantener un equilibrio en el mundo y así poder aportar mi grano de arena a la humanidad.

A mis padres y hermanos, les quiero agradecer infinitamente por su apoyo, ya que sin su esfuerzo no podría estar terminando esta gran meta en mi vida, y este logro también será para ellos, dando paso a que se sigan sintiendo orgullosos de mí, como lo han estado siempre.

Agradezco a mi director de trabajo de grado, que sin pensarlo dos veces decidió apoyarme en este proyecto, aportando su gran conocimiento y experiencia tanto en temas académicos, laborales, científicos y, sobre todo en su sabiduría para tomar decisiones.

RESUMEN

La calidad del agua es un factor que limita la disponibilidad del recurso hídrico y restringe su uso. El aumento en la demanda de agua tiene como consecuencia un crecimiento en el volumen de los residuos líquidos, cuya descarga, sin una apropiada recolección, evacuación y tratamiento, perjudica la calidad de las aguas y contribuye con los problemas de disponibilidad del recurso hídrico. (ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2004). La planta de beneficio animal del municipio de Saravena tiene una gran necesidad de tratar las aguas residuales, ya que no existe ningún sistema para estas aguas, por consecuencia, la quebrada donde son vertidas las aguas residuales de esta planta de sacrificio, presenta un alto nivel de contaminación. En este trabajo se plantea el diseño de una planta de tratamiento de agua residual, para remover cargas altas de DBO_5 y de sólidos suspendidos totales presentes en este efluente final de la planta de beneficio del municipio de Saravena, Arauca; Este diseño está compuesto por diferentes etapas como es un pre-tratamiento, tratamiento preliminar, tratamiento primario y tratamiento secundario, el pre-tratamiento comprende un estercolero, en el tratamiento preliminar esta la estructura de cribado para retirar material grueso y una trampa de grasas. El tratamiento primario está compuesto por un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) que realiza el proceso biológico, y el tratamiento secundario, con una laguna facultativa para degradar la materia orgánica remanente y microorganismos patógenos y un lecho de secado para tratar los lodos provenientes del reactor UASB. Para los Esquemas y dibujos del diseño se utilizó el software SOLIDWORKS (versión estudiantil), ya que es una herramienta muy práctica para obtener el dimensionamiento preciso de las estructuras, permitiendo así entender mucho mejor la estructura interna y externa de la planta. Palabras clave: Cribado, DBO_5 , laguna facultativa, trampa de grasas, lecho de secado, reactor UASB

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	17
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
3.	JUSTIFICACIÓN.....	20
4.	OBJETIVOS	21
4.1	Objetivo general.....	21
4.2	Objetivos específicos.....	21
5.	MARCO REFERENCIAL	22
5.1	Marco contextual	22
5.1.1	zona de estudio.....	22
5.2	Antecedentes.....	23
	Contexto nacional.....	23
5.3	Marco teórico.....	25
5.3.1	Aguas residuales	25
5.3.1.1	Tipos de aguas residuales	25
5.3.2	Clasificación de los contaminantes	25
5.3.2.1	Contaminantes orgánicos	26
5.3.2.2	Contaminantes inorgánicos	26
5.3.3	Contaminantes habituales en las aguas residuales	26
5.3.3.1	Arenas.....	26
5.3.3.2	Grasas y aceites	27
5.3.4	Residuos con requerimiento de oxígeno.....	27
5.3.5	Nitrógeno y fósforo	27
5.3.6	Agentes patógenos	27
5.3.7	Otros.....	27
5.3.8	Caracterización de las aguas residuales	28
5.3.8.1	Color, olor y sabor.....	28
5.3.8.2	Turbidez.....	28
5.3.8.3	Oxígeno Disuelto (OD).....	28
5.3.8.4	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅).....	28
5.3.8.5	pH.....	29
5.3.9	Etapas de tratamiento.....	29

5.3.9.1	Pre tratamiento	29
5.3.9.2	Tratamiento primario	29
5.3.9.3	Tratamiento secundario	29
5.3.10	Estructuras de diseño	30
5.3.10.1	Cribado	30
5.3.10.2	Trampa de grasas.....	30
5.3.10.3	Desarenador	30
5.3.10.4	Sedimentador primario	31
5.3.10.5	Lechos de secado.....	31
5.3.10.6	Reactor UASB.....	31
5.3.10.7	Laguna facultativa	31
5.3.11	SolidWorks	32
6.	MARCO LEGAL	33
7.	METODOLOGÍA.....	36
7.1	Recolección de la información.....	36
7.1.1	Muestreo y caracterización.....	37
7.2	Diseño de canal de entrada.....	38
7.3	Pre-tratamiento.....	38
7.3.1	Diseño de estercolero.....	38
7.4	Diseño de unidades de tratamiento preliminar.....	39
7.4.1	Diseño de la rejilla.....	39
7.4.2	Canaleta Parshall.....	40
7.4.3	Trampa de grasas	40
7.5	Tratamiento primario	42
7.5.1	Diseño de reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB).....	42
7.6	Tratamiento secundario.....	42
7.6.1	Diseño de laguna facultativa	42
7.6.2	Diseño de los lechos de secado	42
7.7	Diseño del canal de salida de la planta.....	42
8.	RESULTADOS	43
8.1	Caracterización de las aguas residuales a tratar	43
8.2	Diseño de las Unidades de Pre-tratamiento	43
8.2.1.	Canal de entrada a la planta	43

8.2.2. Diseño de estercolero	46
8.4 Diseño tratamiento preliminar	47
8.4.1 Diseño de la rejilla.....	47
8.4.2 Canaleta Parshall.....	53
8.4.3 Diseño de trampa de grasas	55
8.5 Diseño tratamiento primario.....	59
8.5.1 Diseño de reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB).....	59
8.6 Diseño tratamiento secundario	72
8.6.1 Diseño de laguna facultativa	72
8.6.2 Diseño de lechos de secado.....	76
8.7 Vista de la planta de tratamiento de aguas residuales	78
9. CONCLUSIONES	80
10. RECOMENDACIONES.....	82
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
12. ANEXOS	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Capacidad de retención de grasas</i>	41
Tabla 2 Tiempo de retención hidráulico	41
Tabla 3 Parámetros físico-químicos del vertimiento de la planta de beneficio animal de Saravena	43
Tabla 4 <i>Dimensiones de canal de entrada</i>	45
Tabla 5 Dimensión del estercolero	46
Tabla 6 <i>Coefficiente de pérdida para rejilla</i>	50
Tabla 7 Parámetros de rejillas	51
Tabla 8 Dimensiones de la rejilla	51
Tabla 9 pérdidas de carga en canaleta Parshall	54
Tabla 10 Dimensión canaleta Parshall.....	54
Tabla 11 Dimensiones de la trampa de grasas	57
Tabla 12 Tiempo de retención hidráulico para UASB.....	59
Tabla 13 Área de influencia de los ductos de distribución de caudal	61
Tabla 14 Obtención de Yobs Fuente: (Isaac, 2019)	67
Tabla 15 Remoción.....	68
Tabla 16 Dimensiones del reactor UASB.	68
Tabla 17 Zona de sedimentación de reactor.....	69
Tabla 18 Digestor y tabiques.....	69
Tabla 19 <i>Producción de metano</i>	70
Tabla 20 Producción de lodos	70
Tabla 21 <i>Altura de la laguna facultativa</i>	73
Tabla 22 <i>Resultados de laguna facultativa</i>	75
Tabla 23 Resultados del lecho de secado.....	77

LISTA DE IMÁGENES

Figura 1 <i>Ubicación y límites de la planta de beneficio animal del municipio de Saravena</i>	22
Figura 2 Esquema de estercolero	47
Figura 3 Factor forma de barroto para calcular perdidas en la rejilla.	50
Figura 4 Rejilla.....	52
Figura 5 Inclinación de la rejilla	52
Figura 6 Ilustración de la rejilla en planta Fuente: (Ibañez,2008).....	52
Figura 7 vista frontal y superior de la canaleta Parshall	55
Figura 8 Trampa de grasas.....	58
Figura 9 Esquema de trampa de grasas.....	58
Figura 10 Zona de sedimentación	63
Figura 11 Reactor UASB	71
Figura 12 Esquema de reactor UASB.....	71
Figura 13 Selección de talud.....	75
Figura 14 Esquema laguna facultativa.....	76
Figura 15 Lecho de secado	78
Figura 16 Vista tridimensional de la PTAR.....	78
Figura 17 Toma de muestra y medición de caudales.....	85
Figura 18 Muestra refrigerada.....	85
Figura 19 Limpieza de recipientes	85
Figura 20 Análisis DQO	85
Figura 21 Procedimiento solidos sedimentables	86
Figura 22 <i>Procedimiento solidos totales</i>	86
Figura 23 Preparación bomba de vacío	86
Figura 24 Mediciones de pH.....	86

GLOSARIO

- **Afluente:** “El concepto de afluente es habitual en la hidrología en referencia al cuerpo de agua cuya desembocadura no se produce en el mar, sino que lo hace en un río superior o de mayor importancia. El afluente o tributario se une al efluente en el sitio o zona conocida como confluencia.” (Pérez, 2012)
- **Carga orgánica:** “producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d).” (Romero, 2002)
- **Carga superficial:** “caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento, $m^3 / (m^2 \text{ día})$ ”. (Romero, 2002)
- **Demanda bioquímica de oxígeno:** “Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonacea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados. Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable” (Romero, 2002)
- **Demanda química de oxígeno:** “Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales orgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.” (Romero, 2002)
- **Desarenadores:** “Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena)”. (Romero, 2002)

- **Deshidratación de lodos:** “Proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta.” (Romero, 2002)
- **Eficiencia de tratamiento:** “Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el efluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico, normalmente se expresa en porcentaje.” (Romero, 2002)
- **Efluente:** “Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.” (spinelli, 2016)
- **Carga superficial:** Caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{ día})$, $\text{kg DBO}/(\text{ha-día})$ (RAS, 2000).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) o demanda de oxígeno** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable (RAS, 2000).
- **Descomposición anaerobia:** Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.
- **Digestión aerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

- **Digestión anaerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.
- **Laguna facultativa:** Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.
- **Lechos de secado:** Dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido.
- **Muestra compuesta:** Mezcla de varias muestras alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.
- **Oxígeno disuelto:** Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L (RAS, 2000)
- **Ph:** Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro. Planta de tratamiento (de agua residual) Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales (RAS, 2000)
- **Pretratamiento:** Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario (RAS, 2000).
- **Proceso biológico:** Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.) (RAS, 2000).

- **Reactor anaerobio de flujo ascendente (uasb):** Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente de la materia orgánica. El desecho se retira del proceso en la parte superior; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso (RAS, 2000)
- **Sedimentación:** Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible (RAS, 2000)
- **Tiempo de retención hidráulica:** Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil (RAS, 2000).
- **Tratamiento primario:** Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO (RAS, 2000).
- **Tratamiento secundario:** Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos (RAS, 2000).
- **Vertederos:** Son dispositivos que permiten determinar el caudal. Poseen una ecuación general que depende de la gravedad, de su geometría, de su espesor de pared. La variable independiente será siempre la altura de la lámina de agua sobre el nivel de referencia. De esta forma cualquier vertedero puede calibrarse mediante una curva de calibración del

mismo con base en diferentes alturas de la lámina de agua de los diferentes caudales (ras, 2000).

- **Volumétrico:** El aforo volumétrico consiste en recoger en un tiempo específico una cantidad de material que se está aforando o recoger un volumen específico midiendo el tiempo utilizado en la recolección de este. Es útil para el aforo de vertimientos puntuales de pequeño tamaño (ras, 2000).

1. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más abundante del planeta y cubre aproximadamente un 75% la superficie de la tierra. Sin embargo, actúan muchos factores que limitan la disponibilidad de agua para ser usadas por el ser humano. El vertimiento generado por las diferentes actividades antrópicas genera impactos ambientales negativos en las zonas de descarga, debido a las diferentes características contaminantes que éstas contienen. La disposición final de los vertimientos residuales sin ningún tratamiento o tratamientos físicos como sedimentadores, rejillas, desarenadores, que son llevados a los cauces naturales como ríos, quebradas, lagunas, es una de las alternativas más empleadas en el pasado, aunque en algunos lugares, todavía se mantiene esta alternativa como tratamiento de aguas residuales. Según el tipo de aguas que son vertidas a los diferentes tipos de cauces naturales, contienen una carga orgánica diferente que provocan el deterioro del medio donde serán dispuestas estas aguas residuales, o de igual manera pueden tener la posibilidad de recibir y mitigar estos contaminantes, sin alterar sus parámetros de calidad que me generen cambios en el ecosistema donde serán dispuestos finalmente estos vertimientos.

Según lo anterior, el planeta deja ver que tiene gran capacidad de tratar las diferentes descargas industriales, teniendo en cuenta de no exceder la cantidad de carga que esta pueda soportar para evitar su deterioro, y así garantizar que se siga generando el crecimiento de microorganismos capaces de descomponer la carga orgánica.

El diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), es un mecanismo de tratamiento que puede ser realizado tanto en el suelo como en las aguas. Está compuesta por diferentes procesos, que se clasifican como físico, bilógicos y químicos. Estos diferentes procesos se optimizan teniendo en cuenta costos, uso del terreno, y así obtener una mayor eficiencia de cada uno de los sistemas que componen la planta, cumpliendo con los lineamientos y restricciones

planteados en la normativa colombiana, para preservar los diferentes ecosistemas donde serán dispuestos finalmente estos vertimientos.

En Colombia el tratamiento de las aguas residuales ha venido presentados problemas ambientales, debido al incremento de las aguas residuales tanto domésticas, agropecuaria como industriales contaminando de forma directa los diferentes ecosistemas, como ríos, lagunas, acuíferos subterráneos, etc. Causando un mayor daño en el medio ambiente.

Es de gran importancia para el bienestar de la población, el desarrollo del país, y para la mitigación de los impactos ambientales negativos tratar las aguas, debido a que son utilizadas indiscriminadamente en actividades antrópicas como en el riego de cultivos, donde los agricultores causantes de contaminación, pueden ocasionar enfermedades intestinales, por la utilización de agua residual sin tratar o con un tratamiento muy bajo, en este caso el vertimiento poco tratado de la práctica de sacrificio de ganado bovino.

El presente proyecto tuvo como propósito realizar el diseño hidro-sanitario de la planta de tratamiento de aguas residuales para la planta de beneficio animal del municipio de Saravena, Arauca, teniendo en cuenta la necesidad de la empresa, ya que la entrega de aguas residuales se hace directamente a la quebrada la Pava, sin ningún tipo de tratamiento, y así poder obtener aguas de mejor calidad reduciendo el impacto ambiental sobre esta quebrada cumpliendo con la normatividad vigente.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta de beneficio animal del municipio de Saravena no cuenta con una planta de tratamiento de agua residual acorde para la disminución de cargas contaminantes generadas por esta actividad de sacrificio, ya que como se pudo observar en campo, solo depositan el agua por unos días, para después ser vertidas al cauce. Esta estructura de depósito es de concreto que está totalmente sellada, evitando la salida de los gases y olores. por lo tanto, estos vertimientos de agua residual se descargan directamente a la quebrada la Pava del municipio de Saravena, los cuales se hacen sin ningún tipo de tratamiento, generando grandes impactos negativos sobre el medio ambiente, problemas de salud y malos olores en las viviendas y fincas ubicadas en el área de vertimiento.

La falta tratamiento de estos vertimientos contribuye al aumento de moscas, zancudos y entre otras plagas que son causantes de enfermedades transmisibles como el dengue, paludismo y enfermedades gastrointestinales que afectan a la comunidad del municipio de Saravena, especialmente las que se encuentran aguas abajo del vertimiento de la planta de beneficio animal. Esta problemática conlleva a dar solución a la siguiente pregunta ¿Cómo establecer un tratamiento a ésta agua residual que garantice la remoción y disminución de los contaminantes por la descarga de estos vertimientos a las fuentes hídricas del municipio de Saravena?

3. JUSTIFICACIÓN

El tratamiento de las aguas provenientes de cualquier actividad antrópica, es un tema de gran importancia, ya que el agua es uno de los recursos más importantes para la vida en nuestro planeta, y que no es abundante en todas las partes del mundo y debido al cambio climático y al uso antrópico del agua se ha generado un desequilibrio ecosistémico, provocando sequías y baja calidad del agua que han afectado a toda la población en los últimos tiempos. Por eso se requiere un cuidado especial de los cuerpos de agua e insistir en un correcto tratamiento de aguas utilizadas en actividades antrópicas para así contribuir con el cuidado de la misma.

Como ingeniero ambiental deseo diseñar un mecanismo que influya en la actualidad como refuerzo para mitigar daños que con el paso del tiempo el hombre en su afán de poseer dinero, ha causado en los diferentes ecosistemas, con actividades como es: La explotación minera, Tala de árboles, Vertimiento ilegal entre otros.

Estos son algunas de las causas que hacen que existan fenómenos naturales, que existan vías inundadas o que haya verano en algunas quebradas, ya que las principales víctimas de estos cambios climáticos son las personas de bajo recurso y que deben vivir en condiciones inhumanas.

Al implementar el tratamiento planteado, se obtendrá una remoción y reducción del nivel de contaminación del cuerpo de agua que recibe éste vertimiento, y así, poder aumentar de forma natural los niveles de oxígeno disuelto, de flora y fauna característica de la zona, reducir agentes patógenos, mejorar la calidad de vida de los habitantes, y la figura del municipio de Saravena ayudando al desarrollo integral de la ciudad.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Diseñar la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) para la empresa de beneficio animal del municipio de Saravena, Arauca.

4.2 Objetivos específicos

- Reunir información secundaria inherente al proyecto
- Determinar las características fisicoquímicas de las aguas residuales generadas en planta de beneficio animal del municipio de Saravena.
- Diseñar la planta de tratamiento de agua residual para la remoción de materia orgánica (DBO_5) y sólidos suspendidos totales según lo normado en Colombia.
- Entrega del documento final

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 Marco contextual

5.1.1 zona de estudio

La planta de beneficio se encuentra ubicada en el municipio de Saravena, a una altitud de 653 msnm, con coordenadas 6°58'10" N 71°51'53" W, jurisdicción del departamento de Arauca. Comprende una extensión de 2,6 hectáreas, con poca zona boscosa, pasando por uno de sus linderos la quebrada la Pava, en el cual son vertidos las aguas residuales de esta planta de beneficio animal. Esta zona pertenece a un clima cálido, con una radiación solar alta encontrándose a las afueras del municipio de Saravena.

Figura 1 Ubicación y límites de la planta de beneficio animal del municipio de Saravena

Fuente google earth, 2020



5.2 Antecedentes

Contexto nacional

En el tratamiento de las aguas utilizadas en cualquier actividad antrópica, es necesario eliminar toda aquella sustancia que pueda generar daños al medio ambiente y peligros para la salud humana. “Su utilización comienza a finales del año 1800 y principios del actual siglo y coincide con la época de la higiene”. (Nieto, 2016). Para tratar de evitar estos problemas se crearon nuevos métodos de tratamiento intensivo para tratar las diferentes aguas residuales. De este modo, “se estudió la precipitación química, digestión de fangos, filtración intermitente en arena, filtración en lechos de contacto y finalmente en 1916 se creó la primera planta tratamiento municipal de agua residual en Estados Unidos”. (Nieto, 2016)

Debido a la mal tratamiento y disposición de los vertimientos generados por las diferentes actividades antrópicas como la agricultura y la industria, y de las aguas residuales de origen doméstico, en el país se han generado, en forma exponencial, problemas de salud y de calidad del agua en varias regiones. La situación comienza a ser incontrolable, en la medida en que los cuerpos que reciben estos vertimientos alcanzan su capacidad de asimilar estos contaminantes, y tiene como consecuencia el deterioro y la disminución de la calidad del recurso para su uso posterior, lo cual agrega un costo para el tratamiento de estos cuerpos receptores.

Las diferentes corporaciones ambientales y el gobierno nacional han venido adelantando diferentes acciones con el propósito de aumentar la cobertura en el sector de saneamiento básico y así poder mitigar los impactos ambientales más relevantes. En este contexto, se han generado e implementado diferentes equipos y estrategias, entre las cuales caben destacar: las políticas de agua potable y saneamiento básico, con objetivos específicos de aumentar la cobertura sobre

acueducto y alcantarillado; la política ambiental, donde se han implementado instrumentos económicos como la tasa retributiva, y los análisis, guías y diferentes modelos de priorización para la gestión de aguas residuales; y el establecimiento de relaciones conjuntas entre los Ministerios.

Contexto internacional

Las diferentes entidades internacionales reconocen que el manejo acorde de las aguas residuales a largo plazo no solo mejorará las condiciones de salud y de desarrollo de la población, sino también impulsará a la preservación del recurso hídrico y sus diferentes ecosistemas.

En este sentido dichas instituciones han identificado como tópicos de discusión en múltiples conferencias internacionales, el manejo del agua potable y la protección del recurso marino. Como punto de acuerdo se tiene la necesidad de comenzar acciones necesarias para el uso responsable de agua potable como política para el desarrollo económico-sostenible, donde se incluye los temas de saneamiento básico, salud humana y protección del medio ambiente. Igualmente, se han trazado planes y programas globales para la recuperación del medio marino, los cuales se han concretado a través de convenios regionales.

Con el objetivo de avanzar en esta área, Colombia forma parte de los convenios para la protección y el desarrollo del medio marino de las regiones Caribe y del Pacífico Sudeste. En el marco de estos convenios se han desarrollado protocolos para la protección de la contaminación marina por Fuentes y actividades terrestres, en los cuales se plantean políticas y metas para el manejo de las aguas residuales.

5.3 Marco teórico

5.3.1 Aguas residuales

Llamadas así por ser producto del uso y desecho de actividades domésticas, comerciales o de procesos industriales, las cuales al pasar por una serie de actividades se ven afectadas en su composición natural, acarreado con ellas todo tipo de sustancias solubles e insolubles que no deben desecharse sin tratamiento a los cuerpos naturales, para evitar su contaminación.

5.3.1.1 Tipos de aguas residuales

- Aguas residuales domésticas: son las que derivan de viviendas y lugares donde existe la presencia de humana limitada a sus actividades domésticas.
- Aguas residuales industriales: las aguas residuales industriales son precisamente aquellas que han pasado por un proceso de producción de un determinado producto y puede tener características muy distintas dependiendo del tipo de actividad que realicen dichas industrias y que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.
- Aguas residuales urbanas: se forman de la mixtura tanto de las aguas residuales domésticas, industriales y de escorrentía pluvial todas ellas se acopian en un sistema colector.

5.3.2 Clasificación de los contaminantes

En la composición de las aguas residuales existen diversas sustancias contaminantes, mismas que se detallan a continuación.

5.3.2.1 Contaminantes orgánicos

Compuestos principalmente de carbono estas sustancias cuentan también en su estructura con compuestos hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Estos se encuentran en los vertidos urbanos y los vertidos de las industrias agroalimentarias. En las aguas residuales se presentan los siguientes componentes orgánicos:

- **Proteínas:** Proviene principalmente de los desechos humanos y de aquellos procedentes de los residuos de productos alimentarios, son fácilmente degradables y los principales causantes de los malos olores.
- **Carbohidratos:** procedentes de proteínas, en este grupo se encuentran los azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proviene de desperdicios y excretas animales.
- **Aceites y Grasas:** los efectos inmiscibles en agua forman una película en la superficie de las aguas residuales provienen de desperdicios de comidas, excepto los aceites minerales que tienen otra procedencia.

5.3.2.2 Contaminantes inorgánicos

Presentes en las aguas residuales, minerales y de origen variable: sales, óxidos, ácidos, bases inorgánicas, metales, etc. Se los encuentra comúnmente en aguas que provienen de industrias. Los compuestos inorgánicos de las aguas residuales van en dependencia de la materia contaminante y también de la misma naturaleza su Fuente de contaminación.

5.3.3 Contaminantes habituales en las aguas residuales

5.3.3.1 Arenas

Son partículas de tamaño pequeño no sobrepasan los dos micrómetros de largo apreciables en su mayoría de origen mineral y tienen la capacidad de adherirse a la materia orgánica.

Son las principales causantes de la turbidez del agua cuando se encuentran en suspensión y forman depósitos de lodo cuando encuentran en medio propicio para sedimentarse.

5.3.3.2 Grasas y aceites

Procedente de lípidos que al ser inmiscibles en agua forman capas de espuma y natas en su superficie impidiendo que pueda ser fácil su tratamiento por lo que es necesario retirarlas antes de estas aguas ingresen en los procesos físicos y químicos del tratamiento.

5.3.4 Residuos con requerimiento de oxígeno

Estos residuos sufren de manera natural procesos de oxidación tomando oxígeno del medio y pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos. Estas oxidaciones se llevan a cabo por dos vías únicamente: por vía química para residuos inorgánicos y por vía biológica para residuos orgánicos.

5.3.5 Nitrógeno y fósforo

Responsables del deterioro de las masas de agua por contribuir en la eutrofización, se presenta en aguas residuales a causa del uso de detergentes, fertilizantes y excretas humanas.

5.3.6 Agentes patógenos

Los principales agentes patógenos causantes de enfermedades son los virus y bacterias concurrencias en los restos orgánicos.

5.3.7 Otros

encontramos varios contaminantes específicos de origen diverso provenientes de aportaciones muy concretas: metales pesados, fenoles, petróleo, pesticidas, etc.

5.3.8 Caracterización de las aguas residuales

5.3.8.1 Color, olor y sabor

Para poder clasificar el color de un agua es necesario diferenciarlo en real o verdadero cuando tiene solo sustancias en solución, o en aparente cuando presenta un color por a la aparición de sustancias que se encuentran en suspensión. En aguas claras y de escasa turbidez los colores real y aparente son casi los mismos.

Olor se define al agregado de sustancias volátiles que pueden ser percibidas por el olfato. Para la medición de olor y su disipación se debe ir diluyendo el agua hasta que no se perciba olor alguno.

5.3.8.2 Turbidez

Se debe a la presencia de sólidos en suspensión compuestos principalmente por arcillas, limos, partículas de sílice, materia orgánica e inorgánica. Se determina la turbidez por su gran aporte en la caracterización de las aguas para su tratamiento esto se lo realiza tanto en campo, como en laboratorio.

5.3.8.3 Oxígeno Disuelto (OD)

Es la medida de la concentración de oxígeno en el agua, usando como referencia el 100% de saturación de oxígeno en el aire.

5.3.8.4 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Mide la cantidad de oxígeno disuelto consumido, bajo condiciones preestablecidas por la oxidación microbiológica de la materia orgánica presente en el agua. Existen diferentes condiciones preestablecidas para determinar este parámetro, pero la más frecuente es la DBO₅, que usa unos periodos de incubación de cinco días.

5.3.8.5 pH

La determinación de la concentración de pH en un agua es un parámetro que determina la calidad de la misma. Existe un intervalo del pH óptimo para el desarrollo de la vida que va de entre 6,5 a 8,5, si este es alterado por sustancias ajenas a la naturaleza de las aguas provocará una acidez o basicidad de la misma que producirá la muerte de la vida acuática.

5.3.9 Etapas de tratamiento

5.3.9.1 Pre tratamiento

Es un proceso en el que usando rejillas y cribas se separan restos voluminosos como palos, telas, plásticos.

5.3.9.2 Tratamiento primario

En el tratamiento primario, los sólidos flotantes y en suspensión se retiran de las aguas residuales. Flujo de las alcantarillas entra en un estante de la pantalla / bar para remover el material grande, flotante, tales como trapos y palos.

Luego fluye a través de una cámara de arenilla donde inorgánicos más pesados tales como arena y piedras pequeñas se eliminan. Remoción de arena es generalmente seguida por un tanque de sedimentación (clarificadores) donde los sólidos suspendidos inorgánicos y orgánicos se resuelven fuera.

Para eliminar las bacterias patógenas, el efluente final del proceso de tratamiento se desinfecta antes de la descarga de las aguas receptoras. El cloro, en la forma de una solución de hipoclorito de sodio, se utiliza normalmente para la desinfección.

5.3.9.3 Tratamiento secundario

Con el tratamiento secundario, las bacterias en las aguas residuales se utilizan para purificar

aún más el agua residual. El tratamiento secundario, es un proceso biológico, que elimina el 85 por ciento o más de la materia orgánica en las aguas residuales en comparación con el tratamiento primario, que elimina aproximadamente el 50 por ciento

Los procesos básicos son variaciones de lo que se denomina el "lodo activado" o "proceso de filtros percoladores", que proporcionan un mecanismo para bacterias, con el aire añadido para el oxígeno, para entrar en contacto con el agua residual para purificarla.

5.3.10 Estructuras de diseño

5.3.10.1 Cribado

El cribado es la operación utilizada para separar el material grueso del agua, mediante el paso de ella por una criba o rejilla. El sistema de rejilla es el sistema más utilizado para remover el material contaminante grueso como basuras, de acuerdo con el método de limpieza, las rejillas son de limpieza manual o mecánica (Romero, 2002).

5.3.10.2 Trampa de grasas

son una caja que tiene como objetivo interceptar grasas y jabones o espumas que estén presentes en el fluido, para evitar así que el suelo se contamine.

5.3.10.3 Desarenador

Esta estructura tiene como objetivo eliminar mediante la sedimentación las arenas, gravas, barro, las partículas más o menos finas de origen inorgánico de manera que la arena retenida no arrastre materias contaminadas, presentes en el agua captada, con el fin de evitar que se produzcan sedimentaciones en los canales y conductos, para proteger las partes móviles de los equipos contra la abrasión y evitar sobrecarga de sólidos en las unidades de tratamiento biológico.

5.3.10.4 Sedimentador primario

Los sedimentadores son diseñados para remover la materia orgánica soluble y coloidal que permanece después del tratamiento primario. (Romero, 2002)

5.3.10.5 Lechos de secado

Los lechos de secado de arenas constituyen uno de los métodos más antiguos para reducir el contenido de humedad de los lodos en forma natural. Su implementación representa una operación sencilla en la gestión de los lodos y bajos costos de operación en comparación con otros tipos de tratamiento para el secado de lodos. (Romero, 2002)

Los lechos de secado son dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de los lodos para el que el resto pueda manejarse como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70 %.

5.3.10.6 Reactor UASB

Los reactores UASB (del inglés *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), también conocido como RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente) son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior. Son reactores anaerobios en los que los microorganismos se agrupan formando biogránulos.

5.3.10.7 Laguna facultativa

En el tratamiento de las aguas servidas, se llaman lagunas facultativas a las lagunas que operan, en su estrato superior como lagunas aeróbicas, en su estrato inferior como lagunas anaerobias, y en el estrato intermedio, con la presencia de bacterias facultativas se crea un estrato particular llamada zona facultativa.

5.3.11 SolidWorks

Es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 2D y 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, S.A. (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Su primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto Esquemas técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (Esquemas y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

6. MARCO LEGAL

Para el manejo de las aguas residuales, el país cuenta con una amplia normatividad, donde las disposiciones legales aplicables al proyecto son las siguientes:

- **Constitución Política. Arto 79.** Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. (constitucion politica de colombia, 1991)
- **Decreto 2811 de 1974.** En este decreto es dictado por el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. La preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social. (ambiente, 1996)
- **Ley 9 De1993.** Por la cual se crea el ministerio del medio ambiente, se reordena el sector publico encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental- SINA y se dictan otras disposiciones. (ambiente, 1996)
- **Resolución 0631 del 2015.** Por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. (Miniambiente, 2015)

- **Ley 142 de 1994. Art 5o.** competencia de los municipios en cuanto a la prestación de los servicios públicos. Es competencia de los municipios en relación con los servicios públicos que ejercen en los términos de la ley, y de los reglamentos que con sujeción a ella expidan los consejos. (empresa de acueducto y alcantarillado de bogotá, 2006)
- **Ley 373 de 1997. Art 1o.** programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para uso eficiente y ahorro del agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico. Las corporaciones autónomas regionales y demás autoridades ambientales encargadas del manejo, protección y control del recurso hídrico en su respectiva jurisdicción, aprobarán la implantación y ejecución de dichos programas en coordinación con otras corporaciones autónomas que compartan las Fuentes que abastecen los diferentes usos. (ministerio del medio ambiente, 1996).
- **Ley 9 de 1979.** Conocida como Código Sanitario Nacional. Establece los procedimientos y las medidas para llevar a cabo la regulación y control de los vertimientos. (empresa de acueducto y alcantarillado de bogotá 2006)
- **CONPES 3177 de 2002.** Establece los lineamientos para formular el plan nacional de manejo de aguas residuales. Con el objetivo de mejorar la calidad del recurso hídrico de la Nación. Busca promover la descontaminación y mejorar las inversiones y las Fuentes de financiación y revisar y ajustar la implementación de la tasa retributiva por contaminación hídrica. (empresa de acueducto y alcantarillado de bogotá 2006)

- **Decreto 3100 de 2003.** Reglamenta los artículos 42 y 43 de la Ley 99 de 1993, respecto a la implementación de tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a un cuerpo de agua. La tasa retributiva consiste en un cobro por la utilización directa o indirecta de las Fuentes de agua como receptoras de vertimientos puntuales y por sus consecuencias nocivas para el medio ambiente. El Decreto establece el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos. La resolución 372 de 1998 establece el monto de las tasas mínimas para Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). (constitución política de Colombia, 1991)
- **Resolución 1433 de 2004.** Por la cual se reglamenta el artículo 12 del decreto 3100 de 2003, sobre los planes de saneamiento y manejo de vertimientos. Se establece la definición de los PSMV, los actores involucrados, información que se debe presentar y se dictan las medidas preventivas y sancionatorias. (Minambiente, 1996)
- **RAS 2000. Título E.** Fija los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado. (RAS, 2000)
- **Resolución 0330 del 2017.** Expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000 y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”. (resolución 0330, 2017).

7. METODOLOGÍA

Para el diseño se va a emplear el reglamento de la comisión reguladora de saneamiento y agua potable RAS 2000 y la resolución 0330 del 2017, donde se aplicaran los siguientes tipos de tratamientos que son pre-tratamiento: diseño de estercolero, tratamiento preliminar: diseño de rejilla y trampa de grasas, tratamiento primario: reactor de flujo ascendente UASB y finalmente el tratamiento secundario mediante una laguna facultativa para reducir patógenos y nutrientes remanentes, y lechos de secado para tratamiento de lodos, donde la selección para cada etapa de tratamiento depende de las necesidades, características de la zona y costos óptimos para su realización, operación y mantenimiento. Una vez desarrollado el tipo de tratamiento a implementar se procederá a la realización de los cálculos pertinentes y los Esquemas de diseño hidráulico de los componentes de la planta de tratamiento.

A continuación, se especifica la metodología para cumplir con los objetivos propuestos

7.1 Recolección de la información

Se inició la investigación con visitas realizadas a la Planta de Beneficio Animal del municipio de Saravena, Alcaldía municipal para obtener información preliminar, de la cual se extrajeron, datos del Plan de Desarrollo Municipal y análisis de los parámetros físico – químico de los vertimientos de la planta de beneficio animal obtenidos en el laboratorio de la Universidad de Pamplona.

Para lo obtención de estos parámetros, se llevó a cabo mediante el instructivo planteado por el IDEAM para muestreo de aguas residuales provenientes de efluentes industriales, plantas de tratamiento, alcantarillados, entre otras; como parte de la prestación de servicios, convenios, contratos y solicitudes en general.

7.1.1 Muestreo y caracterización

Este tipo de muestreo se ha realizado para todas las muestras residuales a excepción de aquellas con contenido exclusivamente fecal o cuando la autorización de vertido así lo permita, pues la composición del agua varía significativamente a lo largo del tiempo. En la mayoría de los casos, el término “muestra compuesta” se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio. Se recogerán varias muestras simples tomadas a intervalos de tiempo precisados de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios. Para conformarla, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2007):

$$V_i = \frac{V * Q_i}{n * Q_p} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

V_i = Volumen de cada alícuota o porción de muestra

V = Volumen total a componer (pueden ser 2 L)

Q_i = Caudal instantáneo de cada muestra

Q_p = Caudal promedio durante el muestreo

n = número de muestras tomadas

En caso de desconocer la frecuencia de variación de los parámetros, se establece como frecuencia estándar la siguiente: Para jornadas de un solo turno, por ej. de 9 a 17 horas (8

horas): recogida de muestra cada 30 minutos durante las 8 horas, con recogidas de 125 ml, hasta completar un volumen final aproximado de 2 litros. Cuando la composición de las Fuentes varíe en el espacio más que en el tiempo, se requiere tomar las muestras en los sitios apropiados. Ecuación 1

En este trabajo se realizó un muestreo compuesto, durante tres días de la semana, domingo, martes y jueves, durante el tiempo que duro el sacrificio del ganado. En el muestreo se obtuvieron 5 muestras por día, de la cual se obtenía una muestra compuesta por día para su análisis en el laboratorio.

7.2 Diseño de canal de entrada

- El canal de acceso o, de entrada, es la estructura en la cual descarga la tubería del colector de conducción en la planta. Se propone un canal abierto y con sección rectangular. La longitud del canal de acceso no necesariamente habrá de ser calculada, pero habrá de ser suficiente para dar cabida a la basura que se aglomere en las rejillas. Inicialmente se inicia el cálculo de la altura de la lámina de agua en el canal de entrada empleando la ecuación de Manning (Nieto, 2016).
- Se procede a obtener todos los cálculos pertinentes para la obtención de las dimensiones del canal.

7.3 Pre-tratamiento

7.3.1 Diseño de estercolero

Se va a diseñar un estercolero rectangular para retener rumen y estiércol del ganado evitando así que pase a las otras etapas del tratamiento

7.4 Diseño de unidades de tratamiento preliminar

7.4.1 Diseño de la rejilla

El diseñador es libre de escoger el tipo de rejillas, siempre y cuando se cumplan las recomendaciones mínimas de diseño que se estipulan más adelante (RAS, 2000)

Tipos

- Limpiadas manualmente.
- Limpiadas mecánicamente.
- En forma de canasta.
- Retenedoras de fibra.
- **Localización**

Las rejillas deben colocarse aguas arriba de las estaciones de bombeo o de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse por el material grueso que trae el agua residual sin tratar. El canal de aproximación a la rejilla debe ser diseñado para prevenir la acumulación de arena u otro material pesado aguas arriba de está. Además, debe tener preferiblemente una dirección perpendicular a las barras de la rejilla. El sitio en que se encuentren las rejillas debe ser provisto con escaleras de acceso, iluminación y ventilación adecuada (RAS, 2000)

Teniendo claras estas recomendaciones, se procede a diseñar el tipo de rejilla más conveniente para este vertimiento.

en esta fase se diseña la trampa de grasas, con el objetivo de remover las grasas y aceites del efluente y así tener una mayor eficiencia de los sistemas posteriores

7.4.2 Canaleta Parshall

La canaleta Parshall es un elemento primario de caudal con una amplia gama de aplicaciones para medir el caudal en canales abiertos. Puede ser usado para medir el flujo en ríos, canales de irrigación y/o de desagüe, salidas de alcantarillas, aguas residuales, vertidos de fábricas, etc.

7.4.3 Trampa de grasas

Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico. Recibe nombres específicos según al tipo de material flotante que vaya a removerse.

En Sedimentadores se dispone tabiques que permiten retener el material flotante en dispositivos convenientemente proyectados, para encaminarlo posteriormente a las unidades de tratamiento de lodos (RAS, 2000)

- **Localización**

Deben localizarse lo más cerca posible de la Fuente de agua residual (generalmente la cocina) y aguas arriba del UASB para prevenir problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores. Debe tenerse en cuenta, que independientemente de su localización, deben existir condiciones favorables para la retención y remoción de las grasas (RAS, 2000)

- **Parámetros de diseño**

El diseño debe realizarse de acuerdo con las características propias y el caudal del agua residual a tratar, teniendo en cuenta que la capacidad de almacenamiento mínimo expresada en kg. de grasa debe ser de por lo menos una cuarta parte del caudal de diseño (caudal

máximo horario) expresado en litros por minuto.

El tanque debe tener 0.25m² de área por cada litro por segundo, una relación ancho/longitud de 1:4 hasta 1:18, una velocidad ascendente mínima de 4mm/s. En las se pueden ver los caudales y capacidades de retención y los tiempos de retención hidráulica típicos que se deben usar para trampas de grasa respectivamente.

Tabla 1 Capacidad de retención de grasas

Fuente: (RAS, 2000)

Tipo de efluente	Caudal (l/s)	Capacidad de retención de grasa (kg)	Capacidad máxima recomendada (L)
Cocina de restaurante	56	14	190
Habitación sencilla	72	18	190
Habitación doble	92	23	240
Dos habita. Sencillas	92	23	240
Dos hab. Dobles	128	32	330
Lavaplatos para restaurante			
Volumen de agua > 115 L	56	14	115
Volumen de agua > de 190 L	92	23	240
Volumen entre 190 y 378 L	144	36	378

Tabla 2 Tiempo de retención hidráulico

Fuente: (RAS, 2000)

Tiempo de retención (minutos)	Caudal de entrada l/s
3	2--9
4	10--19
5	20 o más

Teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por los reglamentos técnicos se procede con los cálculos necesarios para lograr el dimensionamiento, cumpliendo con la norma mencionada en este trabajo.

7.5 Tratamiento primario

El tratamiento primario consta de una estructura que se encargara del proceso biológico de la planta, conocido como reactor UASB.

7.5.1 Diseño de reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB)

El reactor será diseñado bajo la norma del RAS 2000 y la resolución 0330, teniendo en cuenta todos los criterios técnicos exigidos por estas leyes, ya que con esos parámetros se garantiza la mejor eficiencia de la planta.

7.6 Tratamiento secundario

Este tipo de tratamiento consta de un sistema que servirán de apoyo para tratar contaminantes que no pudieron ser degradados o eliminados en las etapas de tratamiento anteriores, de los cuales tenemos los siguientes

7.6.1 Diseño de laguna facultativa

El diseño de esta laguna sirve para tratar contaminantes remanentes y patógenos. El dimensionamiento de esta estructura, debe cumplir con las normas vigentes en Colombia mencionadas anteriormente.

7.6.2 Diseño de los lechos de secado

Se diseña el lecho de secado para deshidratar los lodos provenientes del sedimentador primario y de la laguna facultativa, para ser secados y poder obtener un producto que pueda generar un ingreso más a la empresa.

7.7 Diseño del canal de salida de la planta

El diseño de este canal tiene como propósito, evacuar las aguas ya tratadas hacia la quebrada la pava, que es a la cual está destinado verter estas aguas.

8. RESULTADOS

Con la información existente brindada por las entidades y los análisis realizado a estos vertimientos, se logró conocer los aportes de agua residual y cargas contaminantes más representativas, que, para este estudio, se van a tomar los parámetros de DBO₅ y SST.

8.1 Caracterización de las aguas residuales a tratar

- Resultados obtenidos en el laboratorio de la universidad de pamplona

Tabla 3 *Parámetros físico-químicos del vertimiento de la planta de benéfico animal de Saravena*

Fuente: autor, 2020

Parámetro	Día 1	Día 2	Día3	Promedio
T °C	25,2	24,2	23,8	24,4
Caudal l/s	1,48	1,6	1,66	1,58
OD	1,38	1,37	1,59	1,45
pH	7,66	7,14	8,34	7,72
ST mg/l	3,044	4,115	2,305	3,155
STV mg/l	2,534	3,675	2,055	2,755
SST mg/l	1,536	1,066	0,675	1,092
SSV mg/l	1,234	0,873	0,345	0,817
SSed. Ml/l	8,5	25	10	14,5
DQO mg/l	1296	1350	3636	2094
DBO ₅ mg/l	816,5	850,5	2290,7	1319,2

8.2 Diseño de las Unidades de Pre-tratamiento

8.2.1. Canal de entrada a la planta

- Caudal de diseño

El caudal de diseño se calculó teniendo en cuenta la capacidad máxima de la planta, que en este caso es de 40 cabezas de ganado diarias, donde se tuvo en cuenta el volumen de agua consumido por cada animal teniendo así el siguiente método de cálculo:

- **Volumen a capacidad máxima de la planta**

$$VT = VA * \#A \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

VA= volumen por cada animal sacrificado

#A= número de animales a capacidad máxima de la planta

- Caudal de diseño

$$QD = \frac{VT}{TS} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

VT= volumen total a capacidad máxima m³

TS= tiempo de sacrificio s

- **Área de canal de entrada a la planta**

$$Q = \frac{R^{2/3} * S^{1/2} * A}{n} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

Q= Caudal de diseño, en m³/s

R= Radio hidráulico, en m

S= Pendiente del fondo del canal, en m/m

n= Coeficiente de rugosidad

A= Área del canal, m²

- **Radio hidráulico**

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

A= Área mojada (m²)

P= Perímetro mojado (m)

- **Área mojada**

$$A = B * H$$

Ecuación 6

Donde:

B= Ancho del canal (m)

H= Altura del canal (m)

- **Dimensiones del canal de entrada**

Se diseñó un canal rectangular, para transportar el agua residual hacia la primera etapa de pretratamiento (cribado).

Tabla 4 Dimensiones de canal de entrada

Fuente: autor, 2020

Canal de entrada	
Número de animales a capacidad máxima	40
Caudal (l/s)	5,42
Pendiente %	1
Volumen de agua por animal m ³	2844
Rugosidad n (concreto)	0,013
Radio hidráulico (m)	0,03
Área (m ²)	0,0075
Perímetro mojado (m)	0,25
B (ancho m) asumo B= 3H	0,15
H (altura m)	0,05
Velocidad (m/s)	0,7

8.2.2. Diseño de estercolero

- Calcular el volumen del estercolero

$$VE = TRH * QD \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

TRH= Tiempo de retención hidráulico (min)

QD= Caudal de diseño (m³/min)

- Área del estercolero asumiendo una altura de 2 metros

$$AE = \frac{VE}{HE} \quad \text{Ecuación 8}$$

- Ancho y largo del estercolero asumo relación 1:2

$$BE = \sqrt{\frac{AE}{2}} \quad \text{Ecuación 9}$$

- Longitud de vertedero

$$LE = 2 * BE \quad \text{Ecuación 10}$$

- Dimensiones del estercolero

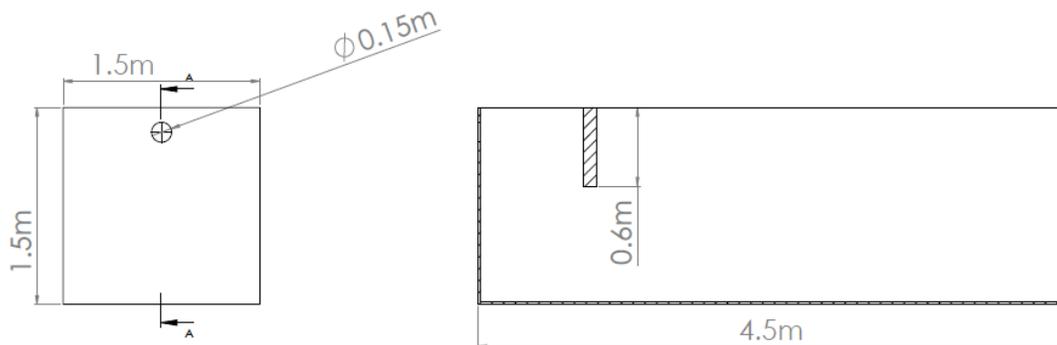
Tabla 5 Dimensión del estercolero

Fuente: autor, 2020

Dimensiones del estercolero	
TRH (min)	20
Altura (m)	1,5
Qd (l/s)	5,42
Volumen (m ³)	6,504
Área (m ²)	4,336
Ancho (m)	1,47
Longitud (m)	2,94
Número de estercoleros	2

- **Esquema del estercolero**

Figura 2 Esquema de estercolero



8.4 Diseño tratamiento preliminar

En esta etapa se va a diseñar la rejilla, para retención de material grueso y la trampa de grasas para retener grasas y aceites

8.4.1 Diseño de la rejilla

- **Área efectiva (A_e)**

Se calcula el área efectiva de la siguiente ecuación:

$$A_e = 1,5 * A_c \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

A_e = Área del canal de aproximación (m²)

- **Área total (a_t)**

Se obtuvo el área total así:

$$AT = \frac{Ae}{E}$$

Ecuación 12

E= Eficiencia (85%)

- **Eficiencia de la rejilla**

Asumiendo la separación de los barrotes (b) y utilizo la siguiente ecuación

$$E = \frac{b}{s + b}$$

Ecuación 13

Donde:

b= Separación entre barrotes (m)

S = Espesor de la varilla (m)

- **Ancho de la rejilla (Br)**

$$Br = \frac{AT}{Hc}$$

Ecuación 14

Donde:

Hc= Altura del canal (m)

AT= Área total (m²)

- **Número de barras despejando de la Ecuación 11 Ecuación 15:**

$$Br = (S * nb) + (b * (nb + 1))$$

Ecuación 15

Donde:

Nb= Número de barras

S= Espesor de las varillas (m)

B= Separación entre varillas (m)

Br= Ancho de la rejilla (m)

- **Velocidad en la rejilla**

Se debe usar un rango de velocidades entre 0.3 y 0.6 m/s y entre 0.6 y 1.2 m/s para rejillas limpiadas manualmente y mecánicamente respectivamente (RAS, 2000).

$$Vr = \frac{Q}{\frac{nb + 1}{b * Hr}} \quad \text{Ecuación 16}$$

- **Velocidad mínima de aproximación**

Para garantizar un área de acumulación adecuada, la velocidad de aproximación a las rejillas debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s para rejillas limpiadas manualmente, entre 0.3 y 0.9 m/s para rejillas limpiadas mecánicamente (RAS, 2000)

$$Va = \frac{Qd}{AT} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

Qd = Caudal de diseño (m³/s)

AT= Area total (m²)

Cálculo de pérdida de carga

- **Pérdida de carga**

Se recomienda usar la siguiente ecuación (RAS, 2000):

$$K = \beta * \left(\frac{s}{b}\right)^{1,33} * \sin \alpha \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

K= Constante de pérdida (adimensional)

β = factor forma del barrote (adimensional)

s = Espesor del barrote (m)

b= Separación entre barrotes (m)

- **Espaciamiento**

Se recomienda un espaciamiento entre las barras de la rejilla de 15 a 50 mm para rejillas limpiadas manualmente, y entre 3 y 77 mm para rejillas limpiadas mecánicamente (RAS, 2000).

Tabla 6 Coeficiente de pérdida para rejilla

Fuente: (RAS, 2000)

Coeficiente de forma de las barras							
Sección transversal	A	B	C	D	E	F	G
Forma							
B	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Figura 3 Factor forma de barrote para calcular perdidas en la rejilla.

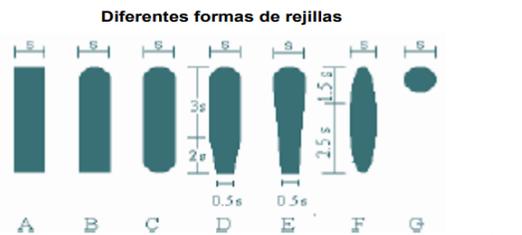


Tabla 7 *Parámetros de rejillas**Fuente: (RAS, 2000)*

Características	Limpeza manual	Limpeza 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
Espaciamiento	2,5-5 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
Perdida de energía	15 cm	15 cm

- **Resultados de diseño de la rejilla**

Se diseñó una rejilla mediana de limpieza manual, con canal de acercamiento de concreto con una rugosidad $n= 0,013$, pendiente de 1%, $S=6,4$ mm (grosor del barrote), $b= 4$ cm (espacio entre barros), $\beta= 1,83$, ya que se tomaron varillas circulares y un ángulo $\theta=45^\circ$.

Tabla 8 *Dimensiones de la rejilla**Fuente: autor, 2020*

Rejilla	
Dimensiones	Valor
Caudal de diseño (l/s)	5,42
Factor de forma de las barras (β)	1,83
Rugosidad (n) concreto	0,013
Grosor de las barras S (m)	0,0064
Espaciamiento entre las barras b (m)	0,0363
Velocidad de aproximación del flujo V_a (m/s)	0,41
Velocidad en la rejilla (m/s)	0,49
Angulo de la rejilla con la horizontal θ (°)	45
Pérdida de energía H_f (m)	0,00208
Ancho de la rejilla (m)	0,264
Pendiente %	1
Altura de canal (m)	0,05

Figura 4 *Rejilla*

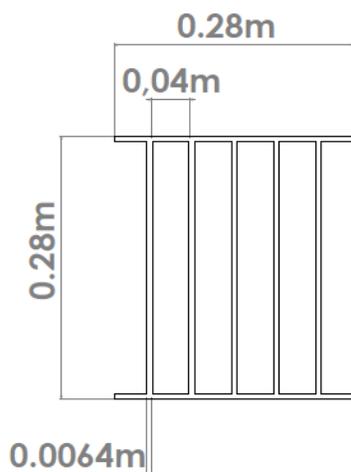


Figura 5 *Inclinación de la rejilla*

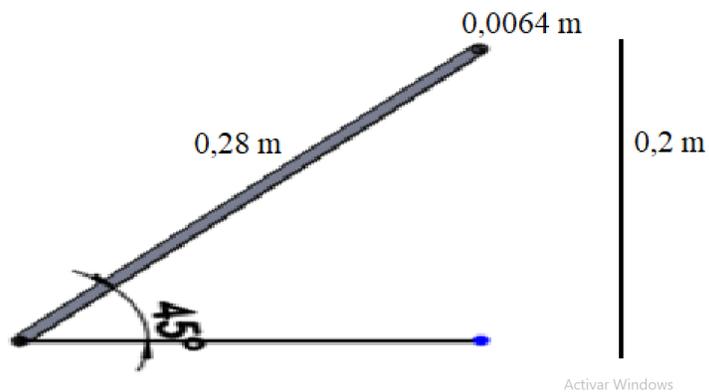
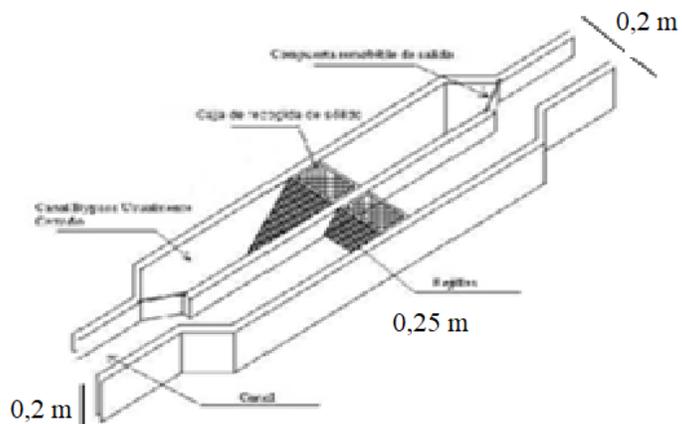


Figura 6 *Ilustración de la rejilla en planta Fuente: (Ibañez,2008)*



8.4.2 Canaleta Parshall

Se va a utilizar esta estructura para estar haciendo mediciones de caudal para la toma de muestras.

- **Altura en la zona a de la canaleta Parshall (H_a)**

$$QD = 0,535H_a^{1,53} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

QD= caudal de diseño m³/s

La fórmula seleccionada es óptima para un ancho w de 22,9 cm, según las características de la canaleta Parshall.

- **Relación H_b/H_a igual 0,7, para determinar la altura en la segunda zona de la Parshall.**

$$H_b = 0,7 * H_a \quad \text{Ecuación 20}$$

- **Asume que el valor de D es igual al valor H_a , para determinar el valor de x**

$$X = D - H_b \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

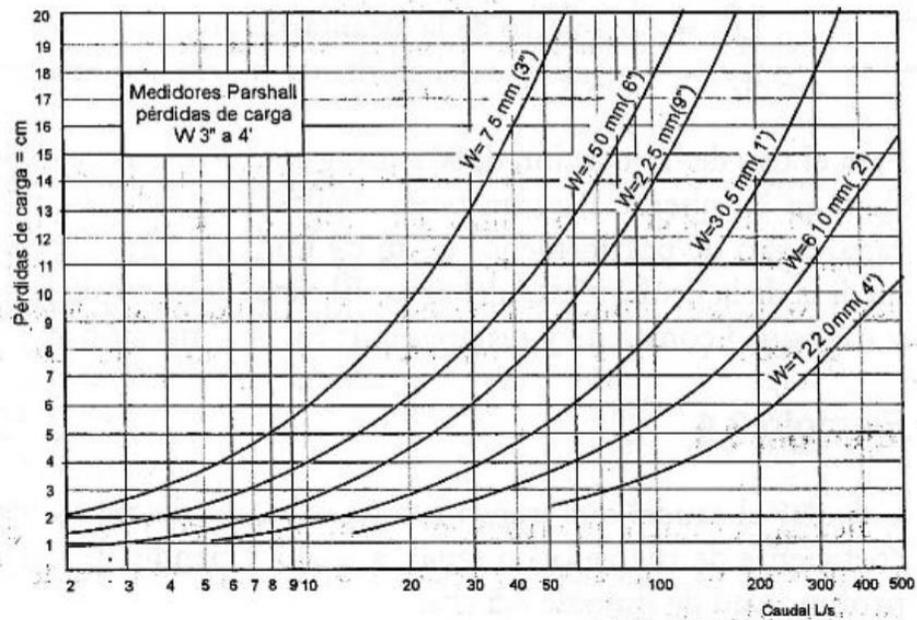
D = altura en zona tres de la canaleta Parshall ver

Figura 7

- **Perdidas de carga en la canaleta**
- Se definen mediante la siguiente tabla

Tabla 9 *perdidas de carga en canaleta Parshall*

Fuente: (Moros, 2007)



- **Dimensiones de la canaleta Parshall**

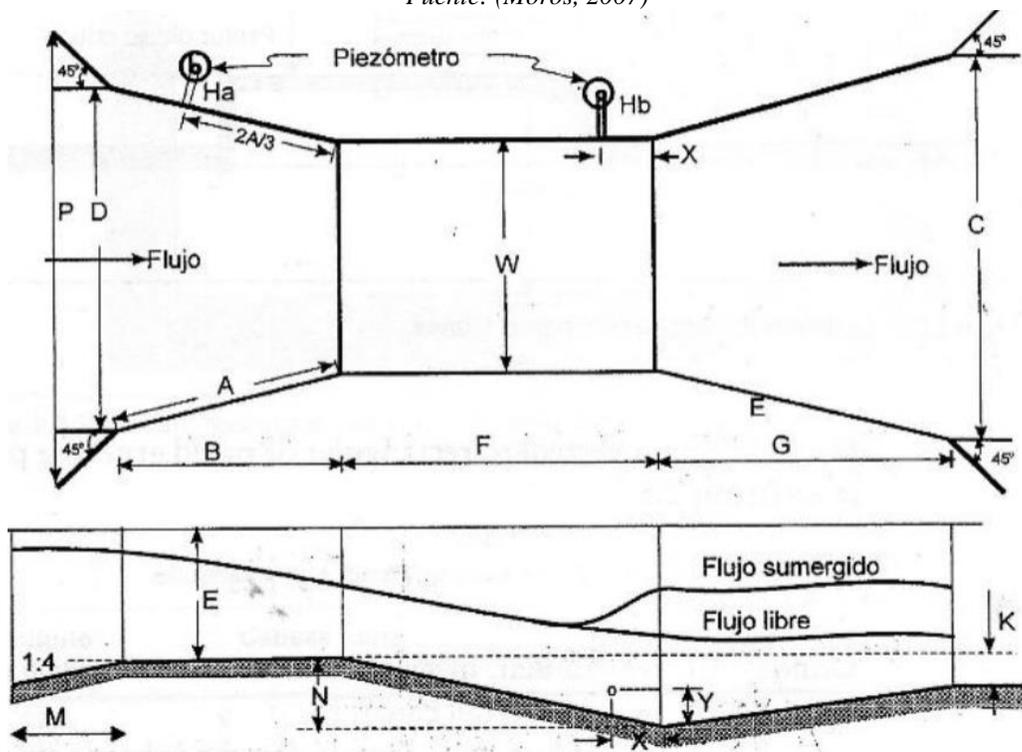
Tabla 10 *Dimensión canaleta Parshall*

Fuente: Autor, 2020

dimensiones canaleta Parshall																			
(cm)	W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y	Ha	Hb	D	x
valor	22,9	88	86	38	67	61	31	45,7	7,6	22,9	50,8	38,1	149	5,1	7,6	5	3,5	5	0,15

Figura 7 vista frontal y superior de la canaleta Parshall

Fuente: (Moros, 2007)



8.4.3 Diseño de trampa de grasas

- **Tiempo de retención hidráulico**

De la *Tabla 2* se obtiene el tiempo de retención hidráulico teniendo en cuenta el caudal de diseño.

- **Capacidad de almacenamiento de las grasas**

$$W = \frac{Qd}{4} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

W= capacidad de almacenamiento (kg)

Qd= caudal de diseño (l/min)

- **Volumen de las grasas**

$$Vg = \frac{w}{\varphi} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

φ = densidad del lodo (kg/m³)

- **Volumen total de la trampa de grasas (VTG)**

Mediante la siguiente ecuación:

$$VTG = Qd * TRH \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

TRH= tiempo de retención hidráulico (min)

- **Área total**

Según (RAS, 2000), el tanque debe tener 0.25m² de área por cada litro por segundo, una relación ancho/longitud de 1:4 hasta 1:18, una velocidad ascendente mínima de 4 mm/s.

$$0,25 M2 \rightarrow 1 \frac{L}{S}$$

Ecuación 25

$$AT \rightarrow Qd L/S$$

- **Dimensiones de la trampa de grasas**

Asumo una relación de 1:4 donde $LTG=4BTG$ entonces tenemos

$$AT = 4BTG^2$$

Ecuación 26

Donde:

BTG= Ancho de la trampa de grasas (m)

LTG= Longitud de la trampa de grasas (m)

Corregir dimensiones a constructivas y recalcular los valores

- **Altura de grasas (HTG)**

$$HTg = \frac{Vg}{ATG}$$

Ecuación 27

Asumir borde libre de 0,3 metros

- **Altura total de la trampa de grasas (HTTG)**

$$HTTG = HTG + HTg + BL$$

Ecuación 28

- **Dimensiones de la trampa de grasas**

Tabla 11 Dimensiones de la trampa de grasas

Fuente: autor, 2020

Trampa de grasas

Dimensiones	Valor
Caudal de diseño (l/s) QD	5,42
TRH (min)	3
W capacidad de almacenamiento de grasas kg	81,3
V _g volumen de grasas m ³	0,096
P _g densidad de las grasas kg/m ³	850
V _{TG} volumen total de las grasas m ³	0,975
B _{TG} ancho de la trampa de grasas m	0,6
L _{TG} longitud de la trampa de grasas	2,4
Área total de la trampa de grasas m ²	1,44
HT _{TG} altura total de la trampa de grasas	1,6
Φ diámetro de entrada y salida "	4
Mantenimiento días	7

Figura 8 Trampa de grasas

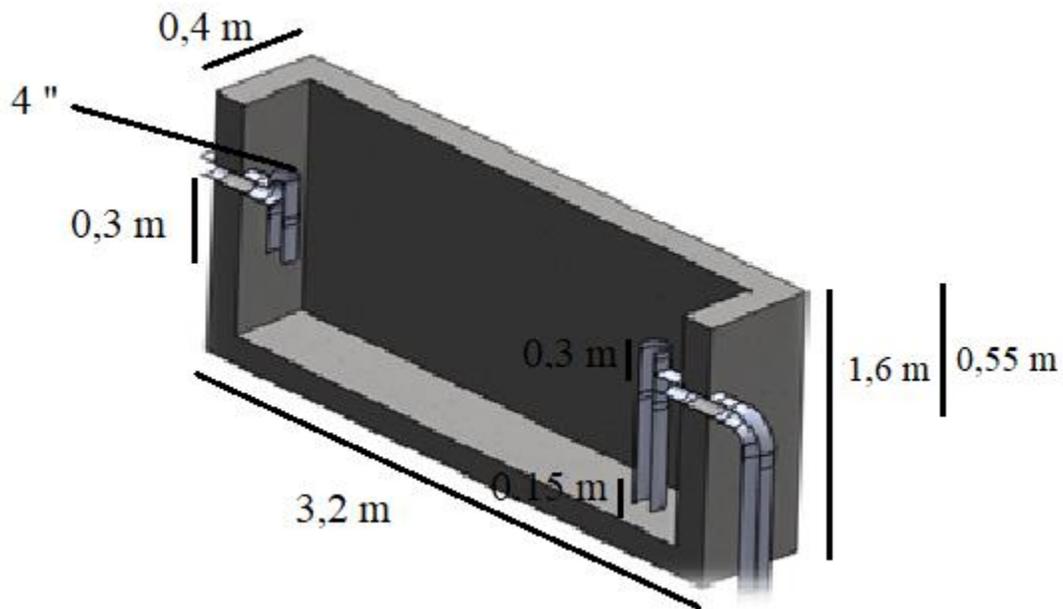
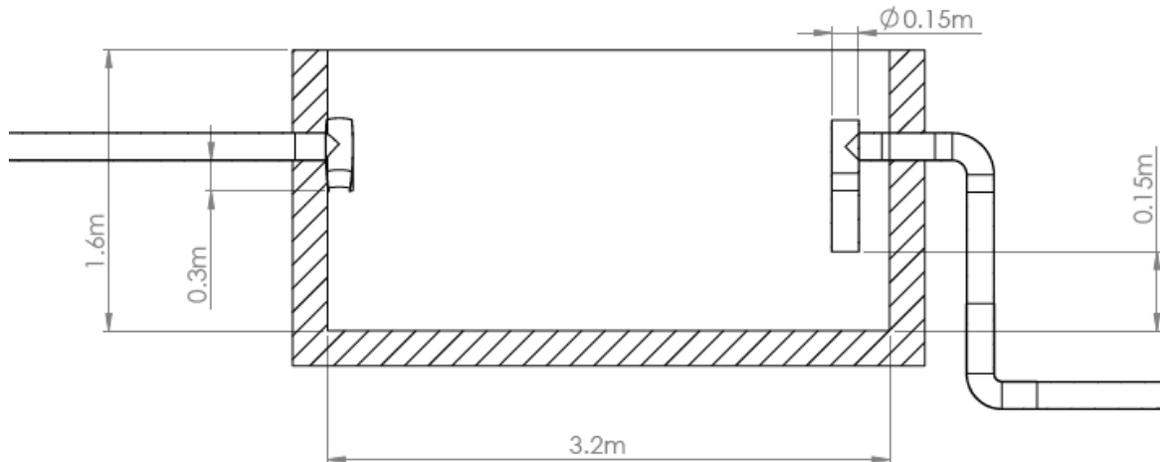


Figura 9 Esquema de trampa de grasas



8.5 Diseño tratamiento primario

8.5.1 Diseño de reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB)

- **Tiempo de retención hidráulico**

Se toma el valor de la *Tabla 12*

Tabla 12 *Tiempo de retención hidráulico para UASB*

Fuente: (resolucion 0330, 2017)

Tiempo de retención hidráulico para UASB	
Temperatura (°C)	Tiempo de retención (horas)
16-19	10--14
22-25	7--9
>25	4--5

- **Volumen del reactor**

$$VR = Qd * TRH \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

Qd= Caudal de diseño (m³/s)

- **Altura del reactor**

El reactor puede considerarse dividido en dos espacios, uno inferior en donde ocurren las reacciones de descomposición y uno superior en donde ocurre la sedimentación de los lodos. El espacio inferior debe tener una altura entre 4.0 y 5.0 m y superior entre 1.5 y 2.0 m. Adicionalmente debe proveerse un borde libre de 40 cm (RAS, 2000). Para cumplir con este requerimiento se procede así:

- Calcular la altura útil asumiendo una velocidad ascensional entre (0,8-1,0) m/h según (resolucion 0330, 2017)

$$V_{asc} = \frac{Hu}{TRH} \quad \text{Ecuación 30}$$

Vasc = Velocidad ascensional (m/h)

TRH= Tiempo de retención hidráulico (h)

Hu= Altura útil

- **Cálculo área superficial (As)**

$$AS = \frac{VR}{Hu} \quad \text{Ecuación 31}$$

VR= Volumen de reactor (m³)

- **Ancho del reactor**

$$AS = BR^2 \quad \text{Ecuación 32}$$

Dónde: BR= Ancho del reactor (m)

- Aproximar L a construcción y recalcular el área y la velocidad ascensional que cumpla con la norma.

- **Calcular área para cada ducto de entrada**

Se presentan rangos para el número de puntos de entrada requeridos en los reactores UASB, según el tipo de lodo formado ver Tabla 13.

Tabla 13 Área de influencia de los ductos de distribución de caudal

Fuente: (Resolución 0330, 2017)

Tipo de lodo	Carga orgánica aplicada (kgDQO/m ³ d)	Área de influencia de cada distribuidor (m ²)
Lodo denso floculento (>40 kg SST/m ³)	<1,0	0,5-1,0
	1,0-2,0	1,0-2,0
	>2	2,0-3,0
Lodo denso floculento (20-40 kg SST/m ³)	1,0-2,0	1,0-2,0
	>3	2,0-5,0
Lodo granular	<2,0	0,5-1,0
	2,0-4,0	0,5-2,0
	>4	>2,0

Se define cantidad de ductos según simetría del área por ducto anteriormente definido de la tabla, con la selección del lodo que obtiene su muestra.

- **Caudal de cada ducto**

$$QD = \frac{Qd}{\#D} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

QD= Caudal por ducto (m³/s)

#D= No de ductos

- **Definir diámetro de los ductos de alimentación**

Según (Resolución 0330, 2017) los diámetros de entrada deben estar entre (1-3)” y las boquillas entre (40-50)mm, con velocidades menor o igual a 0,2 m/s y mayor a 0,2

respectivamente.

- **Velocidad en cada ducto**

$$VD = \frac{QD}{AD} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

AD= Área del ducto

QD= Caudal de cada ducto

- **Velocidad en la boquilla**

Con la Ecuación 34

- **Calcular el volumen del sedimentador (Vs)**

El volumen de sedimentación según está entre el (15- 20) % del volumen del reactor.

$$VS = \%VR \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

%= Porcentaje de volumen (asumir)

VR= Volumen de reactor

Asumir el número de sedimentadores

- **Volumen de cada sedimentador (Vs)**

$$VCS = \frac{VS}{\#S} \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

#S= Número de sedimentadores asumidos.

- **Ancho de cada sedimentador**

$$BSED = \frac{BR}{\#S} \quad \text{Ecuación 37}$$

BR= Ancho del reactor (m)

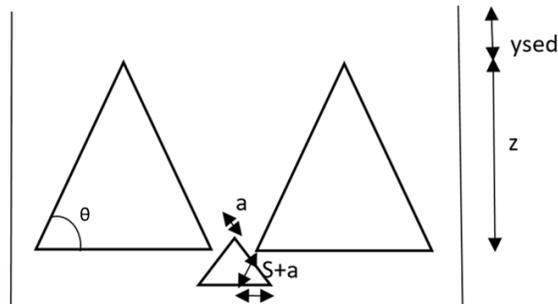
- **Asumir ángulo de sedimentador**

Según (RAS, 2000) el ángulo de inclinación respecto a la horizontal debe estar entre (50-60)°.

- **Altura del sedimentador**

$$\tan \theta = \frac{BS}{Z} \quad \text{Ecuación 38}$$

Figura 10 Zona de sedimentación



- **Altura (Y) de sedimentación.**

$$VS = BR * \left(\frac{Z * BS}{2} + (BS * y_{sed}) \right) \quad \text{Ecuación 39}$$

Despejando Y_{sed}

- Altura total de sedimentación

$$HT = y_{sed} + z \quad \text{Ecuación 40}$$

- **Carga hidráulica superficial (CHS)**

Según (RAS, 2000), debe ser menor o igual a $36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$

$$CHS = \frac{\frac{QR}{\#s}}{AS} \quad \text{Ecuación 41}$$

QD= Caudal de diseño ($\text{m}^3/\text{día}$)

AS= Área de un sedimentador (m^2)

- **Velocidad en la garganta**

La velocidad en la garganta debe ser menor a 5 m/h (Isaac, 2019)

$$VGAR = \frac{\frac{QR}{\#GAR}}{AGAR} \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

#GAR= Número de gargantas

AGAR= área de la garganta

➤ **Área de la garganta**

$$AGAR = BR * a \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

Bgar= Ancho de la garganta

B_R = Ancho del reactor

- **Ancho de la garganta (a)**

$$a = \frac{QR}{BR * VGAR} \quad \text{Ecuación 44}$$

Asumo VGAR ≤ 5 m/h

- **Altura del digestor**

Según (RAS, 2000), la altura debe estar entre (4-5) metros

$$HDIG = HU + BL - HS \quad \text{Ecuación 45}$$

BL= Borde libre

HU= altura útil

HS= altura del sedimentador

- **Carga Orgánica volumétrica**

Debe estar entre (0,5-4) kg/m³día

$$COV = \frac{QR * [DBO5]}{VR} \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde

DBO₅= concentración DBO₅ al ingreso del reactor kg/m³

- **Eficiencia del reactor**

➤ **Remoción DQO**

$$EDQO = 100(1 - 0,68 * TRH^{-0,35}) \quad \text{Ecuación 47}$$

➤ **Remoción DBO₅**

$$EDBO5 = 100(1 - 0,7 * TRH^{-0,5}) \quad \text{Ecuación 48}$$

• **Concentración del efluente del reactor [EF]**

$$[]_{EF} = \frac{S_o - (S_o * E)}{100} \quad \text{Ecuación 49}$$

• **Producción de metano**

$$DQO_{CH_4} = Q * [(S_o - C_{efl}) - Y_{obs} * S_o] \quad \text{Ecuación 51}$$

$$K(t) = \frac{P + K_{DQO}}{R * (273 + T)} \quad \text{Ecuación 52}$$

• **Estimación de la producción de metano**

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)}$$

$$Qg = \frac{Q_{CH_4}}{0,75} \quad \text{Ecuación 53}$$

P = 1 atm

KDQO= 64 gDQO/mol

R= 0,08206 atm*l/mol*K

Yobs: Para obtener este valor se utiliza la *Tabla 12*

- **Volumen de metano DQOCH4 al día**

$$DQO_{ch4} = \frac{[DQO_{ch4}]}{k(t)} \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

DQOCH4 = Producción de metano kg/m³

K(t)= coeficiente a cierta temperatura kg/m

- **Caudal de metano con contenido de 75% en el biogás**

$$Q_{gas} = \frac{Q_{CH4}}{0,75} \quad \text{Ecuación 54}$$

- **Producción de lodos (PL)**

$$PL = Y * DQO_{app} * QR \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde:

Y=Coeficiente de rendimiento

DQO_{app}= concentración a la entrada del reactor kg/m³

Tabla 14 Obtención de Yobs Fuente: (Isaac, 2019)

Rendimiento de la producción de lodos	
Rendimiento de la producción de lodos (kgSST/kgDQOaplicada) = y	0,1-0,2
Rendimiento de la producción de lodos en términos de DQO (kgDQOlodo/kgDQOaplicada)	0,11-0,23
Concentración de solidos esperado en el exceso de lodos %	2--5
Densidad del lodo kg/m ³	1020-1040
Diámetros de tubería de descarga mm	100-150
Diámetros de las tuberías de muestreo de lodos	25-50

- **Volumen del lodo (VL)**

$$VL = \frac{PL}{\varphi * \frac{C}{100}} \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde:

C= Concentración de lodo (%)

φ= Densidad del lodo (kg/m³)

- Diámetro de los tubos de purga (4")
- Diámetro de tubo de muestra (2")

- **Resultados de reactor UASB**

- **Remoción en el reactor UASB**

Tabla 15 Remoción

Fuente: autor, 2020

Remoción	
Remoción DQO %	65,58
Remoción DBO ₅ %	73,54
DQO entrada mg/l	2094
DBO ₅ entrada mg/l	1319,2
DQO a la salida mg/l	720,75
DBO ₅ a la salida mg/l	349,1

- **Dimensión general del reactor UASB**

Tabla 16 Dimensiones del reactor UASB.

Fuente: autor, 2020

Dimensiones reactor UASB	
Caudal de diseño (l/s) QD	5,42
Temperatura °C	24,4
TRH (h)	7

Volumen del reactor m ³	136,58
Altura útil m	5,6
Borde libre m	0,4
Área superficial m ²	25
Velocidad ascensional (m/h)	0,8
Diametro ducto de alimentación pulg	3
Ancho canal de salida m	0,3
Altura canal de salida m	0,3
Tipo de lodo	Floculento espesado
Carga orgánica volumétrica kg/m ³ día	2,97

➤ **Zona de sedimentación de reactor UASB**

Tabla 17 Zona de sedimentación de reactor.

Fuente: autor, 2020

Zona sedimentación	
Angulo respecto horizontal	50
Volumen de sedimentador m ³	27,316
Número de sedimentadores	2
Volumen de un sedimentador	13,658
Ancho de sedimentador bs	2,5
Altura z	1,489
Altura y	0,174
Altura total sedimentador	1,67
Carga hidráulica del sedimentador	18,73
Valor de a	0,2
Velocidad en la garganta m/h	4,87
Área de la garganta m ²	1

➤ **Zona de digestión del reactor UASB**

Tabla 18 Digestor y tabiques.

Fuente: autor, 2020

Zona de Digestión	
-------------------	--

Altura del digestor m	4,3
Volumen del digestor m ³	107,5
Tabiques externos	
Angulo respecto horizontal	40
Traslapo m	0,45
Altura de triángulo m	0,53
Tabique central	
Base triangulo b	0,9
Angulo respecto horizontal	40
Altura del triángulo m	0,53

➤ **Obtención de metano del reactor UASB**

Tabla 19 Producción de metano

Fuente: autor, 2020

Producción de metano	
C _{eff}	0,28
Y _{obs}	0,21
Valor de kg/m ³	2,66
Porcentaje de metano en biogás %	75
Presión atm	1
Producción de metano kg/día	187,38
Volumen de metano	70,44
Caudal de metano Q _{CH₄} m ³ /día	93,92

➤ **Producción de lodos del reactor UASB**

Tabla 20 Producción de lodos

Fuente: autor, 2020

Producción de lodos	
Producción kg/día	72,99

Densidad de lodo kg/m^3	1030
Contenido de lodo %	4
Volumen de lodo m^3	1,8
Altura de lodo m	1,8
Evacuación de lodos (días)	25
Ductos de salida	16
Área de cada ducto m^2	1,56
Diámetro de ducto "	3
Caudal por ducto	0,338
Velocidad en ducto m/s	0,07

Figura 11 *Reactor UASB*

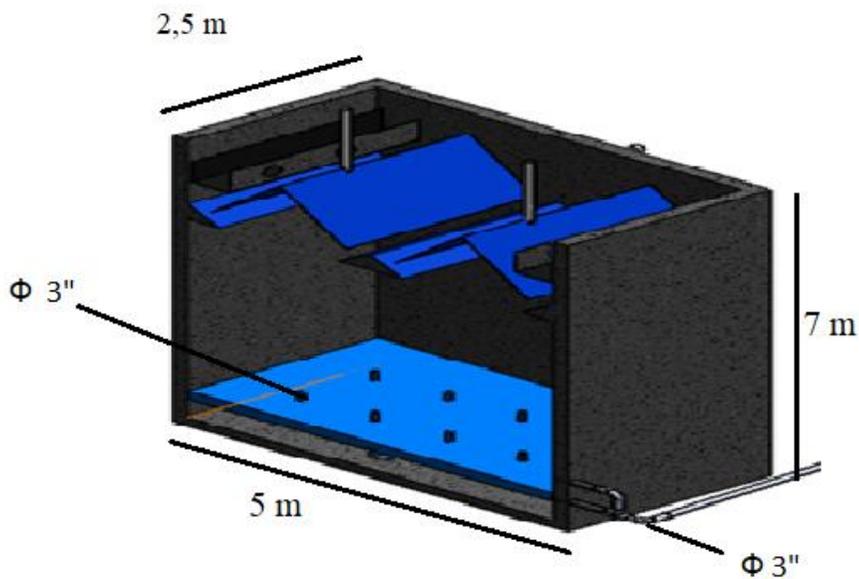
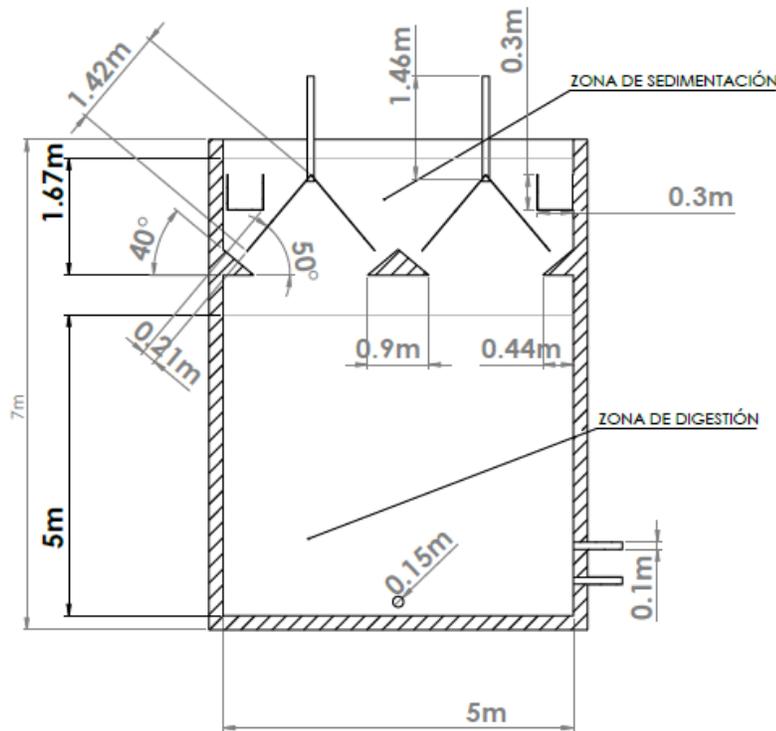


Figura 12 *Esquema de reactor UASB*



8.6 Diseño tratamiento secundario

8.6.1 Diseño de laguna facultativa

- **Volumen de la laguna por modelo empírico de Gloyna:**

Utilizando este método se puede obtener una remoción entera (85-95) %.

$$V = 0,035 * Q * L * 1.085^{35-T} \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde:

V= Volumen de la laguna m³

T= temperatura del agua °C

Q= Caudal de diseño m³/día

L= DBO₅ entrada de la laguna mg/l

- La profundidad se toma de acuerdo a la tabla sugerida por Gloyna:

Tabla 21 *Altura de la laguna facultativa*

Fuente: Gloyna, 1973

Altura (m)	Condiciones
1	Temperatura cálida uniforme, sólidos pre sedimentados
1,0-1,5	Temperatura cálida uniforme, agua residual cruda
1,5-2,0	Temperatura con fluctuaciones estacionales moderadas, agua cruda con sólidos sedimentables
2,0-3,0	Temperatura variable, con arenas y sólidos sedimentables

- **Área de la laguna**

$$AL = \frac{V}{H} \quad \text{Ecuación 58}$$

Donde:

V= Volumen de la laguna m³

H= Altura de la laguna m

- **Carga orgánica superficial y volumétrica**

$$CSA = \frac{Q * L}{A} \quad \text{Ecuación 59}$$

$$COV = \frac{Q * L}{V}$$

- **Tiempo de retención hidráulico**

Según (resolución 0330, 2017), el tiempo de retención hidráulico debe estar entre(5-30) días.

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 60}$$

- **Ancho y largo de la laguna**

Se asume una relación de 1:2 entre el ancho y largo

$$AL = 2B^2 \quad \text{Ecuación 61}$$

Donde:

B= ancho de la laguna (m)

$$L = 2B \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde:

L= longitud de la laguna (m)

Luego se definen medidas constructivas y se corrigen el área, volumen y tiempos de retención hidráulico que cumplan con la norma vigente.

- **Talud de la laguna (z)**

Se asume talud a criterio del autor 1:2, 1:3, 1:4

Figura 13 Selección de talud



- **Ancho superior de la laguna (bs) y longitud superior**

$$BS = B + ((HL * Z) * 2) \quad \text{Ecuación 63}$$

$$LS = L + ((HL * Z) * 2)$$

- **DBO₅ a la salida de la laguna**

Asumiendo una eficiencia del 90%

$$DBO5e = DBO5a * (1 - E) \quad \text{Ecuación 64}$$

Donde:

DBO5e= DBO₅ a la salida de la laguna mg/l

DBO5a= DBO₅ a la entrada de la laguna mg/l

E= eficiencia (90% asumido)

- **Resultados de laguna facultativa**

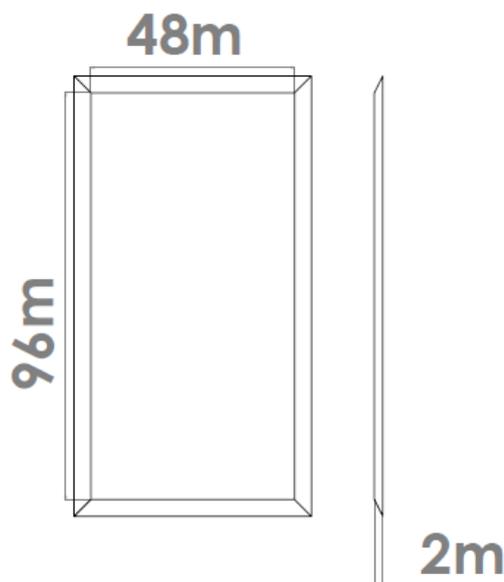
Tabla 22 Resultados de laguna facultativa

Fuente: autor, 2020

Dimensión laguna facultativa

Carga hidráulica superficial kg/ha-d	354,77
Carga orgánica volumétrica g/m ³ -d	18,3
Temperatura del agua °C	24,4
Área de la laguna, m ²	4608
Volúmen de la laguna, m ³	8923
Tiempo de retención hidráulico, d	19,05
Ancho de laguna m	48
Longitud de la laguna m	96
Talud	2
Ancho superior	56
Longitud superior, m	104
Porcentaje de remoción DBO ₅ % (asume)	90
Entrada DBO ₅ a la laguna mg/l	349,1
Salida DBO ₅ de laguna mg/l	34,91

Figura 14 Esquema laguna facultativa



8.6.2 Diseño de lechos de secado

- Área del lecho

$$AL = \frac{VL}{HL}$$

Ecuación 65

Donde:

VL= volumen de lodo proveniente del reactor UASB (m³)

HL Altura de lodos (m) se recomienda que este en 300 mm

- **Espesor de la grava y arena**

Se recomienda que la capa de grava tenga un espesor entre 200 y 460 mm. y la capa de arena un espesor entre 300 y 460 mm (RAS, 2000)

- **Recolección de percolados**

La recolección de percolados se efectuará a través de tuberías de drenaje de plástico o de teja de arcilla vitrificada con junta abierta. Las tuberías de drenaje principal deben tener no menos de 100 milímetros de diámetro y una pendiente no menor a 1%; deben espaciarse entre 2.5 y 6 m y debe tenerse en cuenta el tipo de remoción de lodo que se emplee. Se localizarán por debajo de la capa de grava con no menos de 150 mm de este material por encima de ellas. Se recomienda que los canales laterales de alimentación de las tuberías principales tengan un espaciamiento entre 2.5 y 3 m (RAS, 2000).

- **Resultados de lecho de secado**

Tabla 23 *Resultados del lecho de secado*

Fuente: autor, 2020

Dimensión lecho de secado

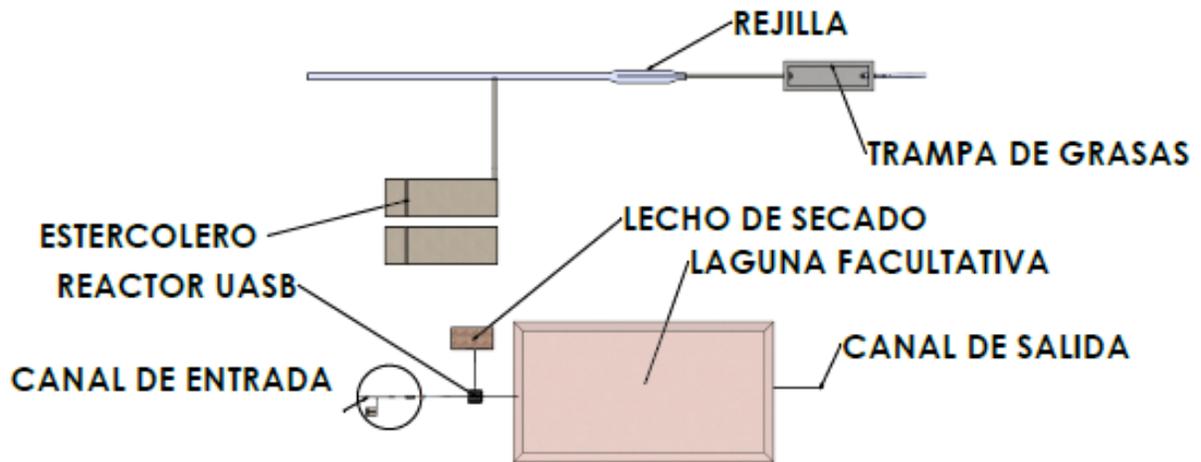
Volumen de lecho m ³	45,62
Área de lecho m ²	153
Altura de lodos m	0,3
Espesor de grava m	0,3
Espesor de la arena m	0,3
Borde libre m	0,5
Pendiente de fondo %	3
Diámetro de la arena m	0,0004
Diámetro de la grava m	0,0015
Separación de canales de alimentación m	3
Número de tubos alimentadores	5
Diámetro de tubos alimentadores pulg	4
Número de lechos	3
Diámetros de tubos de drenaje pulg	4

Figura 15 *Lecho de secado*



8.7 Vista de la planta de tratamiento de aguas residuales

Figura 16 *Vista tridimensional de la PTAR*



9. CONCLUSIONES

- En los resultados obtenidos de remoción de contaminantes, de DBO₅ se obtuvieron eficiencias muy buenas con una remoción de 97,35% en todo el proceso de la planta. Estos rangos son permisibles en la norma colombiana (Miniambiente, 2015), ya que los vertimientos salen con una carga DBO₅ de 34,9 mg/l.
- Los resultados obtenidos en el laboratorio arrojaron valores acordes al tipo de agua que se está tratando, lo cual genera confiabilidad en los resultados obtenidos y así poder obtener un buen diseño de la planta.
- Por lo general, en las plantas de tratamiento de aguas residuales se generan olores fuertes y repulsivos, por lo que se debe hacer un mantenimiento continuo a los diferentes sistemas para reducir esta problemática.
- Con el futuro diseño de esta planta de tratamiento de agua residual, se busca reducir el impacto ambiental en la quebrada la pava, siendo muy necesario, ya que de estas aguas se llevan a cabo muchas actividades antrópicas, agrícolas y agropecuarias, permitiéndoles así gozar de un agua de mayor calidad.
- Este trabajo se centró en el cálculo hidráulico y el comportamiento biológico con que puede ser tratado estos vertimientos, y no se enfocó en la parte estructural ya que los sistemas de la planta no son de grandes dimensiones y puede ser construido con materiales comunes del mercado actual.

- En este trabajo solo se hizo el diseño teniendo en cuenta los parámetros de DBO₅, SST, DQO y la temperatura, ya que no fue posible obtener otros parámetros del laboratorio como lo es coliformes fecales, grasas y aceites, que también son necesarios y obligatorios para el diseño de plantas de tratamiento exigidas por la normatividad colombiana de caracterización de vertimientos (Miniambiente, 2015).
- La disposición de terreno y condiciones ambientales de la zona como es las altas temperaturas, la radiación solar, entre otras, favorecen a los procesos de secado de los lodos y al proceso bacteriano que ocurren en el reactor UASB y la laguna facultativa, de lo cual podemos obtener eficiencias altas de los sistemas planteados en este trabajo.

10. RECOMENDACIONES

- Al momento de llevar a cabo, tener cuidado al momento de seleccionar el método de cálculo de cada estructura, ya que estos se ajustan a factores físicos-químicos del agua y de la zona donde se va a diseñar la planta, teniendo así un resultado más acorde al tipo de agua que se está analizando.
- Cuando la planta de tratamiento de agua residual vaya a hacer construida deberá regirse bajo el diseño hidráulico y Esquemas ya que se diseñó cumpliendo los parámetros establecidos del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, 2000 y la resolución 0330 del 2017.
- Los residuos de mataderos son una Fuente valiosa para la elaboración de suplementos de tipo animal o agrícola, lo cual se traduce en ingresos. Por lo cual se recomienda comercializar estos subproductos, y así tener otra entrada económica a la planta dándole así un valor agregado a la empresa.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBIENTE, MINISTERIO DE MEDIO. 1996. “MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE.” In ,
1689–99.

CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA, CONSTITUCION POLITICA DE
COLOMBIA. 1991. “Constitucion Política de Colombia 1991 Preambulo El Pueblo de
Colombia.” : 108.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 2006. *Plan Maestro Acueducto Y
Alcantarillado*.
[http://www.acueducto.com.co/wps_4/wps_4/contenidos/archivos/DocumentotecnicoDTS.p
df](http://www.acueducto.com.co/wps_4/wps_4/contenidos/archivos/DocumentotecnicoDTS.pdf).

Ibañez. 2008. “Propuesta de Intervención de La Planta de Tratamiento de Agua Residual de La
UCLV (Página 3) - Monografias.Com.” [https://www.monografias.com/trabajos-
pdf5/propuesta-intervencion-planta-tratamiento-agua-residual-uclv/propuesta-intervencion-
planta-tratamiento-agua-residual-uclv3.shtml](https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/propuesta-intervencion-planta-tratamiento-agua-residual-uclv/propuesta-intervencion-planta-tratamiento-agua-residual-uclv3.shtml) (June 8, 2020).

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. 2007. “Instructivo Para La Toma
De Muestras De Aguas Residuales.” *Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo
territorial*: 17.
[http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f
5baddf0-7d86-4598-bebd-
0e123479d428%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_Ag
uasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428%5Cfile:///C:/Users](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428%5Cfile:///C:/Users).

Isaac. 2019. “DISEÑO DE REACTORES UASB y RAP.”

Miniambiente,. 2015. “Resolución 631 De 2015.” *Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015 RESOLUCIÓN*(Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. EL): 73.

Moros, Martin. 2007. “Caracterización Del Agua Potable (Caudal) UNET DPTO. ING. AMBIENTAL SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PROF. ING. - PDF Descargar Libre.” <https://docplayer.es/41041261-Caracterizacion-del-agua-potable-caudal-unet-dpto-ing-ambiental-sistemas-de-abastecimiento-de-agua-potable-prof-ing.html> (June 22, 2020).

Nieto,. 2016. 6 “PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL POR ZANJON DE OXIDACION PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VELEZ -SANTANDER.”

RAS,. 2000. “REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO.”

resolucion 0330,. 2017. “0330 - 2017.Pdf.” : 77.

<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>.

Romero,. 2002. *Purificacion Del Del Agua. Bogota : Escuela Colombiana de Ingenieria, 2006.* 9588060664.