



**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO (DAF) PARA LA
REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS EN AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE
BENEFICIO DE BOVINOS MUNICIPAL DE AGUSTÍN CODAZZI**

AUTORES (ES):

YEISON DAVID VENERA SABALLE

RICARDO SALAZAR BENAVIDEZ



**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR
2022**

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO (DAF) PARA LA
REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS EN AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE
BENEFICIO DE BOVINOS MUNICIPAL DE AGUSTÍN CODAZZI**

AUTOR(ES):

RICARDO SALAZAR BENAVIDEZ

YEISON DAVID VENERA SABALLE

DIRECTOR/ ASESOR:

HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA

CO-DIRECTOR/ CO-ASESOR:

ALBERTO MARIO AYOS OÑATE

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR
2022**

DEDICATORIA

Esto va dedicado a cada una de las personas que me brindaron su apoyo y cariño apoyo durante todo el transcurso tanto de la carrera como todo el proceso llevado a cabo para realizar esta tesis, principalmente y en especial a mi madre María Benavides Moreno, sin la cual nada de esto hubiera sido posible, por ser ejemplo de superación, sacrificio y humildad, valores los cuales siempre me ha inculcado desde que tengo memoria, siendo siempre el apoyo y la motivación en mi vida para ser mejor día a día y estar orgulloso de ser lo que soy y lo que seré, eres lo mejor que pude haber tenido y lo mejor que tendré.

Dedico con toda mi alma y corazón esta tesis a mi madre Neila Luz Saballeth Leyva, porque sin ella nada de esto hubiera sido posible, por nunca dejar de creer en mí y apoyar mis sueños aunque parecían irreales, porque cada bendición de cada día al salir de casa a lo largo de mi vida me protege y me ayuda a descubrir mi verdadero camino, por ser la persona que nunca dejo de compartir mis triunfos y derrotas, porque ante sus ojos soy la más grande bendición pero siempre será al revés, tú siempre serás mi más grande bendición y el motivo por hacerte sentir siempre la madre más orgullosa, porque gracias a ti hoy alcanzo un gran anhelo en mi vida y nunca dejare de darle gracias a la vida por tu existir.



AGRADECIMIENTOS

En la universidad logramos comprender el verdadero significado de palabras como: Dedicación, esfuerzo y sacrificio, en este lugar nos dieron la bienvenida a una nueva etapa de nuestra vida, al brindarnos una oportunidad la cual, aunque se veía eterna, aun así, hoy logramos materializar y agradecer.

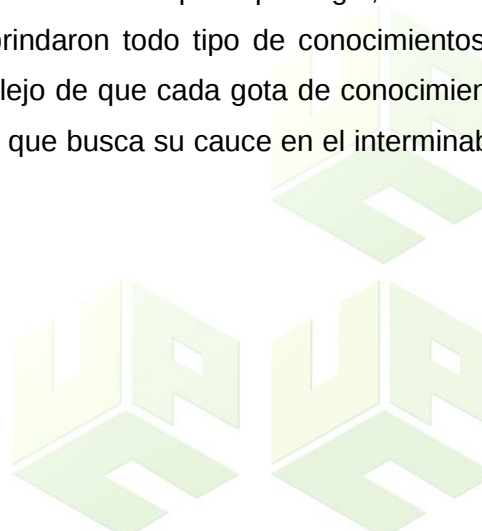
Primeramente, le agradecemos a Dios por cada momento y circunstancia que logramos vivir, porque son las responsables de nuestra victoria.

Le agradecemos a nuestro director de tesis Hernando Oñate por creer en nuestro potencial, por brindarnos mucho más que conocimientos teóricos si no la enseñanza del verdadero significado de un profesional integral.

seguidamente le agradecemos enormemente a nuestra amiga y colega, la ingeniera Cristina Armenta por ser esa voz de apoyo y motivación, esa mano que en repetidas ocasiones nos ayudó a levantar y seguir en todo este proceso, porque su compañía en este camino ha sido la más grande bendición.

Igualmente le agradecemos enormemente a nuestras familias por apoyarnos cada día en este proceso universitario y jamás dejar de desistir y el enseñarnos a siempre persistir.

por supuesto a la ingeniera Melissa por brindarnos paciencia, atención y un espacio en una congestionada agenda donde al escribir nuestro nombre es un completo privilegio, así como también le agradecemos a esos profesores que nos brindaron todo tipo de conocimientos y vivencias a lo largo de estos años, porque somos el reflejo de que cada gota de conocimiento que hoy en la actualidad es una completa fuente hídrica que busca su cauce en el interminable camino de la vida.



RESUMEN

En la presente investigación se evalúa la eficiencia de un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) para el tratamiento de aguas residuales procedentes de una planta de beneficio bovino ubicada en el municipio de Codazzi en el departamento del Cesar. Se trabaja con un equipo piloto de un DAF a escala laboratorio, se determinaron los parámetros de AyG, turbiedad antes y después del tratamiento a presiones de 30 psi, 40 psi y 50 psi y porcentajes de reciclo de 30%, 40% y 50% para encontrar la combinación óptima en cuanto a remoción de parámetros, donde una vez hallada la combinación óptima, se evaluó su eficacia en cuanto a remoción de AyG, turbiedad, DQO, SST Y ST. El sistema DAF fue eficiente para remoción de parámetros fisicoquímicos como AyG con valores entre el 65% y 68% de las aguas residuales, turbiedad con valores entre 49% y 52%, DQO entre 30% y 46%, SST entre 66% y 85% y ST entre 15% y 29%.

Palabras claves: sistema de flotación por aire disuelto (DAF), planta de beneficio, aguas residuales, remoción



ABSTRACT

In the present investigation, the efficiency of a dissolved air flotation (DAF) system for the treatment of wastewater from a bovine processing plant located in the municipality of Codazzi in the department of Cesar is evaluated. We work with a pilot team of a laboratory-scale DAF, the parameters of AyG, turbidity before and after treatment at pressures of 30 psi, 40 psi and 50 psi and recycling percentages of 30%, 40% and 50% were determined. to find the optimal combination in terms of removal of parameters where once the optimal combination was found, its effectiveness was evaluated in terms of removal of AyG, turbidity, COD, TSS and ST. The DAF system was efficient for the removal of physicochemical parameters such as AyG with values between 65% and 67% of wastewater, turbidity with values between 49% and 52%, DQO between 30% and 46%, TSS between 66% and 85% and ST between 15% and 29%.

Keywords: dissolved air flotation (DAF) system, benefit plant, wastewater, removal



Tabla de contenido

Introducción

1. Planteamiento del problema.....	14
1.1. Formulacion del problema.....	15
2. Justificación.....	16
3. Objetivos	18
Objetivo general	18
Objetivos específicos	18
4. Marco referencial.....	19
4.1. Antecedentes de la investigacion	19
4.2. Marco teórico	22
4.3. Marco conceptual.....	41
4.4 Marco contextual.....	43
4.5. Marco legal.....	45
5. Marco metodológico.....	49
5.1. Línea y sublínea de investigación.....	49
5.2. Tipo de investigación.....	49
5.3. Nivel de investigación.....	49
5.4. Población de estudio	49
5.5. Muestra poblacional	49
5.6. Desarrollo metodológico.....	50
5.6.1. Etapa 1: Caracterizar las aguas residuales de la empresa en cuanto a potencial de hidrógeno (ph), sólidos suspendidos totales (sst), aceites y grasas (AyG), temperatura (t), demanda química de oxígeno (DQO), turbidez.....	50

5.6.2. Etapa 2: Establecer una unidad piloto a escala laboratorio que permita simular la operación del sistema de flotación por aire disuelto daf.	57
5.6.3. Etapa 3: Determinar la eficiencia del sistema piloto de flotación por aire disuelto implementado en la remoción de aceites y grasas y otros parámetros fisicoquímicos.	61
6. Resultados y analisis.....	63
6.1 Etapa 1. Caracterizacion de las aguas residuales de la empresa	
6.2 Etapa 2. Comportamiento sistema piloto de flotacion por aire disuelto (DAF)	
6.3 Etapa 3. Eficiencia del sistema piloto de flotacion por aire disuelto en la remosion de parmetros fisicoquimicos.	
7. Conclusiones	84
8. Recomendaciones.....	85
9. Bibliografía.....	83



Lista de figuras

Figura 1. Ubicación matadero municipal de Agustín Codazzi	43
Figura 2. Toma de muestras	50
Figura 3. Determinación de aceites y grasas	52
Figura 4. Determinación de DQO	53
Figura 5. Determinación de sólidos totales	54
Figura 6. Determinación de SST	56
Figura 7. Determinación de Turbiedad	56
Figura 8. Sistema piloto de flotación por aire disuelto	58
Figura 9. Montaje sistema piloto DAF	61
Figura 10. Concentraciones de AyG vs bovinos sacrificados	67
Figura 11. Sistema de flotación por aire disuelto	69
Figura 12. Remoción de AyG con respecto a la presión y volumen de reciclo	70
Figura 13. Remoción promedio de turbiedad con respecto a la presión y volumen de reciclo	71
Figura 14. Intervalos de confianza simultáneos de 95% de Tukey	73
Figura 15. Gráfica de intervalos de AYG vs. Presión	74
Figura 16. Intervalos de confianza simultáneos de 95% de Tukey	75
Figura 17. Gráfica de intervalos de AYG vs. Reciclo	76
Figura 18. Remoción en cuanto a concentración de AYG	78
Figura 19. Remoción en cuanto a concentración de turbiedad	79
Figura 20. Remoción en cuanto a concentración de DQO	81
Figura 21. Remoción en cuanto a concentración de los sólidos SST	82



Lista de tablas

Tabla 1. Características de las aguas residuales	23
Tabla 2. Parámetros para la caracterización de AR	24
Tabla 3. Matriz de identificación de aspectos legales	45
Tabla 4. Especificaciones de diseño	58
Tabla 5. Combinaciones de presión y reciclo.	59
Tabla 6. Producción de os determinados residuos líquidos en cada una de las actividades desarrolladas en el matadero Agustín Codazzi.	63
Tabla 7. caracterización de las aguas residuales del matadero Agustín Codazzi	66
Tabla 8. Eficiencia en la remoción de A y G para la determinación de la combinación optima	70
Tabla 9. Eficiencia en la remoción de turbiedad para la determinación de la combinación optima	71
Tabla 10. Análisis de varianza % remoción de aceites y grasas con respecto a la presión	72
Tabla 11. prueba de Tukey para A y G por efecto principal de presión	73
Tabla 12. Análisis de varianza % remoción de aceites y grasas con respecto al reciclo	74
Tabla 13. prueba de Tukey para AyG por efecto principal de reciclo	75
Tabla 14. Resultado replicas para una presión de 50psi y 50% de reciclo	77



INTRODUCCIÓN

Actualmente la globalización mundial ha enmarcado una ruta acelerada en el crecimiento industrial de los países con una mediana economía de desarrollo, lo que indica de manera clara sin ninguna prevención la demanda y consumo de productos orgánicos e inorgánicos y por ende la producción de residuos sólidos y líquidos en su amplia variabilidad, los cuales a partir de diversos ciclos de utilización en las etapas industriales de las medianas y grandes empresas, terminan en disposición frente a los grandes recursos naturales presentes en los diversos ecosistemas, causando así la degradación ecológica en grandes impactos de contaminación.

A partir de estas acciones, los gobiernos están obligados a regular estas actividades con medidas precautorias y de prevención, para mitigar y prevenir los efectos causados por estas actividades denominadas como industriales, en el caso de Colombia que por medio de las cumbres internacionales de las cuales es participante, está obligado a acatar estas medidas de regulación ambiental en toda su legislación ambiental de orden nacional, las cuales cuentan con todas las medidas y procesos de verificación para el control y mitigación de todos los parámetros considerados como representativos para garantizar la calidad de los recursos naturales de la nación.

En el municipio de Agustín Codazzi, se encuentra una actividad industrial basada en la producción cárnica, la cual posee una relación directa con la utilización y preservación de los recursos hídricos, generando así la disposición de grandes concentraciones de residuos líquidos y de diversa densidad, provenientes de sus etapas industriales.

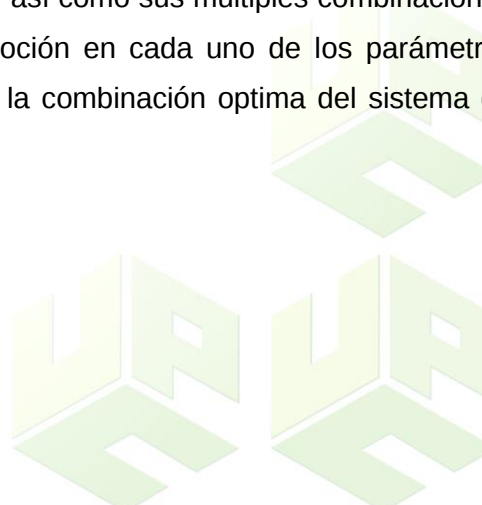
Dichas aguas residuales provenientes de la industria cárnica, poseen una caracterización con grandes concentraciones de residuos sólidos y líquidos, entre los que se caracterizan: aceites y grasas, materia orgánica, residuos químicos, entre otros, y a partir de la alteración ambiental que estos componentes causan en recurso hídrico, se requiere una eficiente depuración de estos.

Por consiguiente, se requiere la utilización de nuevos tratamientos existentes en la industria cárnica como son los sistemas de flotación por aire disuelto (DAF) planteados como una alternativa en el sistema de tratamiento de aguas residuales (cárnicas), el cual permite de manera eficiencia y controlada la remoción de los diversos parámetros representativos.

El objetivo de esta investigación es Evaluar un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) para la remoción de aceites y grasas en aguas residuales de la planta de beneficio municipal de Agustín Codazzi.

en la siguiente investigación, se logra determinar el funcionamiento de la industria cárnica de los países con mediana economía de desarrollo, y por el cual el determinado tratamiento físico o mecánico de las aguas residuales de la industria, a partir de su caracterización, muestreo y análisis, a partir del desarrollo metodológico de la investigación, al determinar la concentración inicial y final de cada uno de los parámetros determinados en esta investigación, desde la etapa de reconcomiendo hasta la etapa de tratamiento a partir el desarrollo in vitro de la etapa experimental que determina la combinación óptima para la remoción de cada parámetro.

Al finalizar esta investigación se plantean los resultados determinados en la etapa experimental, así como su respectiva discusión de resultados. Estos análisis representan la funcionalidad del sistema DAF en cada una de sus etapas de tratamiento, así como sus múltiples combinaciones (presión-reciclo) y sus respectivos porcentajes de remoción en cada uno de los parámetros representativos en esta investigación, y así determinar la combinación optima del sistema de flotación por aire inducido.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las diversas actividades industriales con el paso del tiempo han aumentado con el fin de suplir las necesidades del hombre, estas distintas actividades a su vez generan mayores concentraciones de los contaminantes, así como también nuevos tipos de contaminación que afectan y/o alteran los recursos naturales del medio ambiente. El agua, como recurso natural, se ha ido deteriorando por acción de las actividades industriales realizadas por el hombre ocasionando que un debido tratamiento cada vez sea más difícil de efectuar.

Actualmente todas las industrias que efectúan cualquier tipo de actividad que genere aguas residuales tiene la responsabilidad de realizar un tratamiento adecuado de las mismas cumpliendo con la legislación vigente. Aun así, según la carga contaminante que contiene el agua, hay distintos tratamientos posibles para tratarla, esto ocasiona que haya aguas residuales cuyo tratamiento conlleva altos costos y que la industria no cuente con una situación económica con la que pueda permitírselos.

El matadero municipal de Agustín Codazzi, tiene como actividad principal el procesamiento y conservación de la carne. Debido a esta actividad y a sus respectivos procesos y operaciones que ocurren en el matadero, se genera una alta producción de aguas residuales que luego son vertidas al sistema de alcantarillado de la ciudad.

Entre los agentes contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales son: Residuos de animales y vegetales (Carne, huesos, pelos, fibras vegetales, etc.), Materias en suspensión procedentes de arrastres y lavado (Tierra, arena, arcilla, partículas insolubles.), Productos putrescibles (Grasas, aceites, azúcares, dextrinas, proteínas, fermentos, alpechines.) y Materias en disolución diversas (Sales disueltas, plaguicidas en mayor o menor cantidad según su solubilidad en agua, etc.). (Tavares, 207)

Entre los distintos contaminantes que se pueden encontrar en las aguas residuales producidas en el matadero municipal de Agustín Codazzi, se encuentran las grasas y los aceites, estos son contaminantes que pueden generar un gran impacto negativo al agua debido a que entre sus afectaciones se encuentran: no permiten el paso del oxígeno hacia el agua, tampoco permite la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera y en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles de oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar. (Toapanta, s.f)

Por esto, se pretende evaluar un sistema flotación por aire disuelto (DAF) para el tratamiento de aguas residuales y verificar la eficacia de este método en la remoción de aceites y grasas en las aguas residuales generadas en el matadero municipal de Agustín Codazzi, y así ofrecer una alternativa eficiente y económica para las actividades industriales que se realizan allí. Ya que la flotación con aire disuelto (DAF) es un método eficaz para eliminar partículas de baja densidad de una suspensión, para clarificar líquidos con baja turbiedad y en aguas altamente coloreadas donde se producen flóculos poco densos.

1.1. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Es eficiente implementar un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) para la remoción de aceites y grasas en las aguas residuales generadas por el matadero municipal de Agustín Codazzi?



2. JUSTIFICACIÓN

En la última década se ha logrado incrementar la demanda de productos y servicios, debido al crecimiento poblacional del departamento del Cesar y en un caso puntual a la planta de beneficio animal Agustín Codazzi, generando así un mayor incremento en el manejo y uso del recurso agua potable para cada una de las correspondientes fases de la industria lechera y cárnica, siendo así el principal motivo de establecer medidas de control y vigilancia a cargo de la corporación autónoma regional del Cesar, para evitar medidas preventivas a través de la resolución 012 del 2018 y así incorporar procedimientos viables y tangibles en el tratamiento de efluentes residuales con alta carga de aceites y grasas, de manera sostenible con el medio ambiente por parte de la planta de beneficio animal Agustín Codazzi.

Debido a la gran importancia de establecer tratamientos para la remoción de aceites y grasas de esta determinada industria, cuyos vertimientos podrían acarrear alteraciones ambientales como acidificación y disminución de oxígeno disuelto en el agua de afluentes hídricos como el Río Magiriaimo, que a través del auto 0152 del 2016 se otorga el permiso de vertimientos de aguas residuales no domesticas con descargas sobre el alcantarillado público, por parte de la autoridad ambiental del departamento (Corpocesar), y a partir de los informes de auditoría definitivas de carácter público de la alcaldía de Agustín Codazzi, entregados por la contraloría general del departamento del Cesar, en los intervalos de tiempo correspondientes a los periodos (2016-2017 y 2017-2018) arrojaron una puntuación específica para dicho ítem de gestión ambiental de 64.6 y 78.6 respectivamente, el cual corresponden a la clasificación deficiente según la guía de auditoría, lo cual corresponde al no cumplimiento de los planes y programas del plan de saneamiento y manejo de vertimientos, donde se registra la no caracterización de las aguas residuales antes y después del vertimiento por parte de usuarios especiales, lo que establece la importancia del desarrollo metodológico de esta investigación, al contribuir con la caracterización de efluentes con alta carga de contenidos y por consiguiente información experimental considerable para la planta de beneficio animal Agustín Codazzi.

A través del desarrollo de esta investigación se logrará evaluar un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) para la remoción de aceites y grasas de la planta de beneficio animal Agustín Codazzi, la cual cuenta con su propio sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas,

pero a partir del desarrollo de esta investigación se logrará evaluar la viabilidad del sistema de flotación por aire disuelto en factores económicos y medio ambientales.

Al llevar a cabo el desarrollo y obtención de resultados de esta investigación se lograra observar no solo la viabilidad del tratamiento por aire disuelto (DAF) para la remoción de aceites y grasas en efluentes residuales de la industria cárnica correspondiente a la planta de beneficio animal Agustín Codazzi, sino también su aplicabilidad en las diversas industrias a nivel departamental responsables del manejo, uso y demanda del recurso agua potable y sus posteriores disposiciones y tratamientos, en estudios posteriores relacionados con el ámbito ambiental y sostenible.



3. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) para la remoción de aceites y grasas en aguas residuales de la planta de beneficio municipal de Agustín Codazzi

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las aguas residuales de la empresa en cuanto a potencial de hidrógeno (pH), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G), temperatura (T), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbidez.
- Establecer una unidad piloto a escala laboratorio que permita simular la operación del sistema de flotación por aire disuelto DAF.
- Determinar la eficiencia del Sistema Piloto de Flotación por Aire Disuelto implementado en la remoción de aceites y grasas y otros parámetros fisicoquímicos.



4. MARCO REFERENCIAL

1.3 4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Caldera, Sánchez & Gutiérrez (2019), desarrollaron la investigación titulada “Flotación por aire disuelto con coagulante policloruro de aluminio para aguas residuales de industrias avícolas”, en la Universidad de Zulia. En la cual Se evalúa la eficiencia del coagulante policloruro de aluminio (PAC) en un sistema de flotación por aire disuelto (FAD) durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola (ARIA). Se trabaja con un equipo de DAF de 4 l en la cámara de flotación. Se determinaron los parámetros A y G, DQO y SST, antes y después del tratamiento, a presiones de 30, 40 y 50 psi, porcentajes de recirculación del efluente de 20, 30 y 40%, sin coagulante y con la adición de PAC. El sistema de DAF fue eficiente para remover entre 87 y 97 % de A y G de las ARIA, con y sin la adición de PAC. El coagulante mejora la eficiencia del sistema de DAF para la remoción de DQO y SST, obteniendo máximos de 90 y 79 %, respectivamente.

Echeverri (2016). Desarrollo la investigación titulada “Remoción de aceite emulsionado en aguas residuales mediante flotación en aire disuelto”, en la universidad de Antioquia. En la cual se consigna un estudio teórico y experimental sobre el tratamiento de aguas residuales industriales con aceite emulsionado, a través del proceso de flotación por aire disuelto (DAF), cambiando algunos parámetros de operación y de algunos tópicos de importancia relacionados con el proceso, Los resultados experimentales y el modelo teórico muestran que la remoción de aceite depende fundamentalmente del pretratamiento químico. Eficiencias de remoción de aceite arriba del 99% se obtuvieron al utilizar la flotación por aire disuelto con ayuda de coagulantes.

Aguilar (2014). Desarrollo la investigación “Diseño de un sistema de flotación por aire disuelto (f.a.d) para mejorar la calidad del agua residual de la industria láctea el ordeño y la corpabe” para optar por el título de ingeniera química en la escuela politécnica nacional en Quito. En la cual se estudió el proceso de flotación por aire disuelto para el tratamiento del agua residual de la Industria Láctea El Ordeño y la Corpabe. En la primera etapa, sin la adición de coagulante

químico, se alcanzó un 43 % y 41,8 % de remoción en aceiteNVs –grasas y sólidos suspendidos, respectivamente, con una presión de 60 psi y 40% de reciclo. La relación mg/L de aire liberado por la despresurización/ mg/L de sólidos en el efluente (A/S) en esta etapa fue 0,031. En la segunda etapa, con una presión de 50 psi, 40% de reciclo y 35 mg/L de poli cloruro de aluminio, se alcanzaron valores de remoción de un 87,7 % para aceites y grasas y un 82,6% de sólidos suspendidos. La relación de A/S para esta etapa fue 0,021. La combinación de los procesos de neutralización y filtración al sistema FAD, permitieron alcanzar porcentajes de remoción en los contaminantes del 62,5 % de la DQO, 91,2 % de aceites y grasas y 88,6 % de sólidos suspendidos.

De Turris, Yabroudi, Valbuena, Gutiérrez, Cárdenas, Herrera & Rojas (2011). Desarrollaron la investigación “tratamiento de aguas de producción por flotación con aire disuelto” en la Asociación Interciencia de Venezuela. En la cual se evaluó un sistema FAD piloto para el tratamiento de aguas de producción con elevada concentración de hidrocarburos y sólidos suspendidos. Los ensayos se realizaron considerando la adición de productos químicos coagulantes y modificando condiciones de operación: presión de 207, 276 y 345kPa, con variación de reciclo de 30, 40 y 50% de agua presurizada. Se caracterizó el efluente midiendo pH, cloruros, alcalinidad, turbidez, sólidos suspendidos, aceites y grasas, al inicio y al final de las pruebas de flotación, a fin de establecer las condiciones del agua. En función de los resultados obtenidos, se seleccionó un producto catiónico de alto peso molecular (FCAPM), con una dosis óptima de 3,59mg·l⁻¹, y se estableció 276kPa de presión y 40% de reciclo como la mejor condición de operación del FAD, con porcentajes de remoción de 90% de aceites y grasas, 72% de sólidos suspendidos y clarificación del efluente de 70%.

Bolaño (2009), desarrollo la investigación titulada “sistema de flotación por aire disuelto para el tratamiento de aguas residuales industriales”, en la escuela de ingeniería de Antioquia. Para evaluar el sistema DAF se empleó un agua residual proveniente de una planta de sacrificio de aves, la cual presenta un alto contenido de solidos suspendidos y grasas y aceites, En la cual se buscó evaluar el sistema DAF por medio de pruebas piloto, desarrolladas en el laboratorio donde se obtuvieron los principales parámetros de operación del sistema, además se obtuvo un

conocimiento acerca del manejo de la celda de flotación por aire disuelto. Durante las pruebas pilotos desarrolladas se pudo determinar que el sistema DAF puede lograr eficiencias superiores al 80% en la remoción de parámetros como DQO, sólidos suspendidos, grasas y aceites presentes en aguas residuales provenientes de las plantas de servicio avícola.



4.2. MARCO TEÓRICO

Aguas residuales

Aguas residuales municipales. Son residuos líquidos originados por una comunidad, formados posiblemente por aguas residuales domésticas o descargas industriales (Pérez y Camacho, 2011).

Características físicas de las aguas residuales. Son aquellos parámetros y valores, que hacen parte del agua residual a tratar en el proyecto.

Según (Romero & Hammeken, 2005) las principales características físicas son el color, olores, sólidos totales, temperatura, turbiedad.

Características químicas de las aguas residuales. Estas características juegan un papel muy importante a la hora de determinar los niveles adecuados de los principales parámetros medibles en el agua residual, a grandes rasgos las características químicas se clasifican en material orgánico y material inorgánico; el primer material es aproximadamente el 75% de los sólidos en suspensión y 40% de los sólidos filtrables que se encuentra en el agua residual, sólidos de origen animal y vegetal o relacionado con actividades humanas o síntesis de los compuestos orgánicos (Romero y Hammeken, 2005) y el material inorgánico son aquellas sustancias que no está formada en gran parte por moléculas de carbono y no es fabricada o metabolizada por los seres vivos si no que se encuentran en la naturaleza a través de reacciones químicas como las sales y los minerales (Pit Box Blog, 2009)

Efectos del problema. Una mala operación y tratamiento de las aguas residuales incide negativamente en muchos aspectos medioambientales especialmente en las matrices de agua, suelo, flora, fauna y componente social

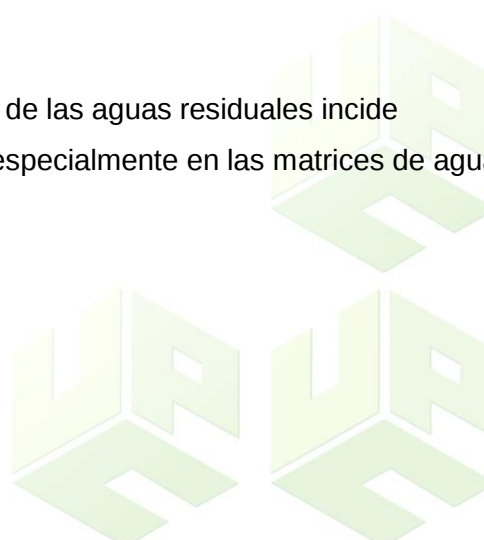


Tabla 1.

Características de las aguas residuales

Características físicas Sólidos Temperatura Color Olor	Suministro de agua, residuos industriales y domésticos Residuos industriales y domésticos Residuos industriales y domésticos Descomposición de residuos líquidos
Características químicas Orgánicos Proteínas Carbohidratos Aceites y grasas Tensoactivos Fenoles Pesticidas Inorgánicos pH Cloruros Nitrógeno Fósforo Azufre Tóxicos Metales pesados Gases Oxígeno Hidrógeno sulfurado Metano	Residuos comerciales y domésticos Residuos comerciales y domésticos Residuos comerciales, industriales y domésticos Residuos industriales y domésticos Residuos industriales Residuos agrícolas Residuos industriales Suministro de agua, residuos industriales e infiltraciones Residuos agrícolas y domésticos Residuos agrícolas, industriales y domésticos Suministro de agua y residuos industriales Residuos industriales Residuos industriales Suministro de agua e infiltraciones Residuos domésticos Residuos domésticos
Características biológicas Virus Bacterias Protozoarios Nematodos	Residuos domésticos Residuos domésticos Residuos domésticos Residuos domésticos

Fuente: (Rojas, 2002)

A partir de las anteriores características de las aguas residuales, se logra estipular la importancia de cada uno de los parámetros, a partir de la consulta bibliográfica observados en la tabla 2. Parámetros para la caracterización de AR

Tabla 2. Parámetros para la caracterización de AR

PARAMETRO	IMPORTANCIA EN AGUAS RESIDUALES
Turbiedad	Indica la calidad de las aguas vertidas o naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.
Temperatura	Influye tanto en el desarrollo de la vida acuática, como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción.
Color	Indica la edad de las aguas residuales
Olor	Indica la descomposición de la MO y ayuda a evaluar la calidad del agua.
Sólidos	Su presencia afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento. Los diferentes tipos de sólidos son los siguientes: sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), sólidos suspendidos (SS), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos disueltos (SD) y sólidos sedimentables (SSD).
Oxígeno Disuelto	Determina si los cambios biológicos en las AR son llevados a cabo por organismos aeróbicos o anaeróbicos. En uno de los ensayos mas importantes para medir la calidad de una corriente de agua, además de ser básico en la determinación de la DBO.
DBO	Indica la cantidad de oxígeno, utilizado por los microorganismos en la estabilización de la MO biodegradable, bajo condiciones aeróbicas.
DQO	Determina el contenido de MO de las AR, oxidando casi completamente todos los compuestos orgánicos a CO ₂ y agua.
Nitrógeno	Es necesario para evaluar la tratabilidad de las AR por tratamientos biológicos.
Fósforo	Es de importancia secundaria en la mayor parte de las aguas residuales domésticas ARD, pero puede ser vital en residuos industriales y en lodos de AR.
Acidez	Condición del agua para disminuir el pH por debajo de 7. Es la capacidad cuantitativa de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo.
Alcalinidad	Indica la cantidad de cambio que ocurrirá en el pH con la adición de cantidades moderadas de ácido, y proporciona información sobre las relaciones de iones bicarbonato y carbonato y la evolución de la química del agua.
Metales Pesados	Son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, en bajas concentraciones pueden perjudicar a los seres vivos y bioacumularse.

Fuente: romero, Jairo A. 2000 y METCALF AND EDDY. 1996

Parámetros físicos

Algunas de las características físicas de las aguas residuales son:

Temperatura: Oscila entre 10 °C y 21 °C, con un valor medio de 15 °C, aproximadamente. Esta mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc. También, el aumento de temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura.

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

Color: Suele ser gris o pardo, pero debido a los procesos biológicos anóxicos el color puede pasar a ser negro.

Sólidos: Se pueden clasificar en:

- Totales: residuos que quedan tras la evaporación y secado de la muestra a 130 °C durante 60 mm.
- Fijos: residuos remanentes después de la evaporación y carbonización á 600 °C, durante minutos.
- Volátiles: es la diferencia entre sólidos totales y fijos.

Representan el contenido de las sustancias que contiene el agua residual. Los sólidos se nos presentan de varias formas en el agua:

- Como materia sólida flotando: Fragmentos de papel, cartón, plástico, madera, heces, etc., que serán retiradas de las aguas y no se cuantificarán.
- Sólidos disueltos: Aquellos que pasarán a través del filtro.

- **Sólidos en suspensión:** Son partículas que tienen un tamaño superior a 0,45 micras, que no pasarán por un filtro de 0,45 micras de poro. Por ejemplo: arena, limo, arcilla, diferentes microorganismos, etc.

Olor: Depende del grado de septización de las aguas. En el agua residual reciente el olor es tolerable, pero conforme va pasando el tiempo y se va agotando el oxígeno, entran en juego los microorganismos anaerobios, que reducen los sulfatos y sulfitos a sulfuros. Estos, si hay hierro presente, reaccionan dando sulfuro de hierro, que confiere un olor desagradable, característico de las aguas sépticas. También se producen gases de olor desagradable en las fermentaciones anaerobias.

Parámetros químicos

Materia orgánica: Constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, siendo los principales compuestos que se pueden hallar:

- Proteínas (40-60 %)
- Carbohidratos (25-50 %)
- Grasas y aceites (10 %)

En las aguas residuales urbanas, la urea y el amoníaco constituyen las principales fuentes de nitrógeno, junto con las proteínas. La materia orgánica también puede aportar azufre, hierro y fósforo. La mayoría de los aminoácidos presentes en la naturaleza pueden detectarse en las aguas residuales, como producto de la descomposición de proteínas.

Otros compuestos importantes son los azúcares como la glucosa, lactosa, sacarosa, fructosa y galactosa; y los ácidos como el acético, propiónico, butírico, láctico y cítrico. También, se pueden encontrar celulosa, almidón y lignina.

Las grasas son descompuestas más lentamente por las bacterias, pero pueden actuar sobre ellas los ácidos minerales, dando glicerina y ácidos grasos; éstos, a su vez, pueden reaccionar con los álcalis, dando glicerina y jabones (sales alcalinas de ácidos grasos).

Debido a que son menos densas que el agua, flotan, y esto interfiere en los procesos de tratamiento y la vida biológica, favoreciendo el ambiente anaerobio, en cuyas condiciones la degradación es más lenta y se desprenden gases que causan malos olores.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza durante 5 ó 3 días a 20 °C por lo que se expresa como DBO ó DBO₅, respectivamente. Se puede obtener mediante determinación de la concentración de oxígeno disuelto de la medida de la DBO₅, es el procedimiento manométrico basado en el respirómetro de Warburg. El CO₂ desprendido determinación de DBO₅.

Demanda química de oxígeno (DQO): mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico.

Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Habitualmente se realiza la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose oxidabilidad al permanganato, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose más propiamente DQO.

Carbono orgánico total (COT): se mide mediante la introducción de una cantidad conocida de muestra en un horno a alta temperatura. El carbono orgánico se oxida a CO₂, en presencia de un catalizador, y se cuantifica mediante un analizador de infrarrojos. Pero como no se oxidan todos los componentes orgánicos presentes, los valores de COT dan una estimación de carbono orgánico inferior a la real.

Demanda total de oxígeno (DTO): esta prueba se realiza en una cámara de combustión catalizada con platino, en la cual se produce una transformación de la materia orgánica en productos finales estables. El oxígeno residual es analizado por cromatografía gaseosa, y por diferencia obtenemos la DTO.

Demanda teórica de oxígeno (DTeO): se estima mediante una reacción teórica de oxidación total. Para ello, es necesario conocer la composición de las aguas residuales en carbohidratos, proteínas y grasas

Materia inorgánica

Los componentes inorgánicos de mayor interés, en las aguas residuales, son:

pH: la actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo de pH generalmente estricto. Un pH que se encuentre entre los valores de 5 a 9, no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas a este respecto. Un aspecto importante del pH es la agresividad de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales.

Cloruros: se consideraban como indicador indirecto de contaminación fecal, ya que el hombre elimina unos 6 gr de cloruros al día aproximadamente en las excretas. Pero los cloruros pueden tener otras procedencias, como son la infiltración de aguas marinas, en los acuíferos subterráneos próximos al mar, y también pueden aparecer debido al uso de sustancias ablandadoras, en los tratamientos del agua de abastecimiento, cuando la dureza de ésta es elevada, por lo que en la actualidad los cloruros han perdido todo valor como indicador de contaminación fecal.

Alcalinidad: nos mide la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua. Estos iones se neutralizan con elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio, amoníaco, etc. El agua residual suele tener un cierto grado de alcalinidad, cuyo origen es el agua de suministro y el aporte por las sustancias de uso doméstico.

Nitrógeno: es esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas; la limitación de nitrógeno puede producir cambios en la composición bioquímica de los organismos, y reducir sus tasas de crecimiento. Pero, también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas receptoras, cuando se encuentra en altas concentraciones. Estas altas concentraciones pueden ser resultado de la fertilización en la agricultura, mediante fertilizantes artificiales y abonos animales, y si se filtran a las aguas subterráneas, constituyen un problema para los abastecimientos de agua.

Fósforo: es también esencial para el crecimiento de los organismos. Las formas en que se puede encontrar en las aguas residuales, son ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato satisface los requerimientos de fósforo de todos los organismos y se necesita en niveles mucho más bajos que el nitrógeno. Al igual que éste, es responsable de la producción de procesos de eutrofización.

Azufre: es requerido para la síntesis de proteínas y se libera cuando éstas se descomponen. Prácticamente, todos los microorganismos pueden usar el sulfato como fuente de

azufre, pero algunas especies requieren compuestos en forma más reducida para la biosíntesis. Las bacterias pueden realizar esta reducción de los sulfatos a sulfuros y SH_2 , en condiciones anaerobias.

Compuestos tóxicos: algunos componentes de las aguas residuales son muy tóxicos para los organismos y microorganismos, y por ello, son de gran importancia en cuanto al vertido y tratamiento. Si se hace un vertido indiscriminado sobre masas de agua receptoras, pueden destruir la biota acuática o acumularse en ella, afectando a la cadena alimentaria y pudiendo llegar al hombre.

Metales pesados: algunos de los siguientes se pueden encontrar en las aguas residuales confiriéndoles un carácter tóxico: cobre, cromo, boro, plomo (causante de saturnismo y acumulación en moluscos), plata (puede producir argüiría), arsénico (melanodermia del pie y acumulación en mariscos), antimonio (efecto cancerígeno), bario (efectos sobre el corazón, vasos sanguíneos y nervios), flúor (fluorosis) y selenio produce cáncer y caries).

Gases: Los gases que se encuentran más frecuentemente en la composición de las aguas residuales son nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico, sulfhídrico, amoníaco y metano. Los tres primeros se encuentran en todas las aguas expuestas al aire, ya que son gases comunes en la atmósfera. El resto son resultado de la descomposición de la materia orgánica. Dentro de estos gases, los de mayor interés son:

- *Oxígeno disuelto:* es necesario para la vida de todos los organismos aerobios. Por ello, el crecimiento incontrolado de organismos y microorganismos en el seno de las aguas, puede conducir a su agotamiento. La presencia de oxígeno evita el desarrollo de procesos anaerobios que provocan malos olores en el agua. Por ello, sus niveles son indicativos del nivel de calidad de las aguas.
- *Sulfuro de hidrógeno:* se forma por descomposición anaerobia de la materia orgánica azufrada, o por reducción de sulfatos y sulfitos minerales. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor característico muy desagradable. Si el agua residual contiene hierro, se combina con él, dando sulfuro de hierro que origina un color negro en el agua.
- *Metano:* es el principal subproducto de la degradación anaerobia de la materia orgánica de las aguas residuales. Es un hidrocarburo incoloro, inodoro y de gran valor

como combustible. Aunque no suele encontrarse en grandes niveles, debido a que cantidades muy pequeñas de oxígeno impiden su formación, es necesario tener precaución ante el gran peligro de explosión que supone su alta combustibilidad. En aquellos lugares de las conducciones y alcantarillas donde pueda producirse, es necesaria una ventilación adecuada.

Parámetros biológicos

Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden llevar en su seno gran cantidad de organismos. También influyen en su presencia la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse.

A continuación, se describen los principales grupos de organismos que se pueden encontrar.

Bacterias: pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento. En las aguas residuales brutas, predominan las especies pertenecientes a los siguientes grupos: Escherichia, Salmonella, estreptococos fecales, Proteus, Pseudomonas, Aeromonas, Serratia, Bifidobacterium, Clostridium, Zooglea, Flavohacterium, Nocardia, Achromobacter, Alcaligenes, Mycobacterium, Nitrosomonas, Nitrobacter, etc.

Virus: proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales. Se pueden encontrar virus pertenecientes a distintos grupos: Poliovirus, virus Echo, Cocksackievirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus.

Algas: su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización. Este fenómeno está producido

principalmente por algas de los géneros *Anacystis*, *Anabaena*, *Gleocystis*, *Spirogyra*, *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Stigeoclonium*2 *Ulothrix*, *Chiorella*, *Euglena* y *Phormidium*, etc.

Protozoos: los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que éstos no sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez.

Hongos: la mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales. Los géneros que pueden encontrarse son: *Geotrichium*, *Mucor*, *Aureobasidium*, *Subbaromyces*, *Fusarium*, *Sepedonium* y *Sphaerotilus*. (Espigares & García, 1985)

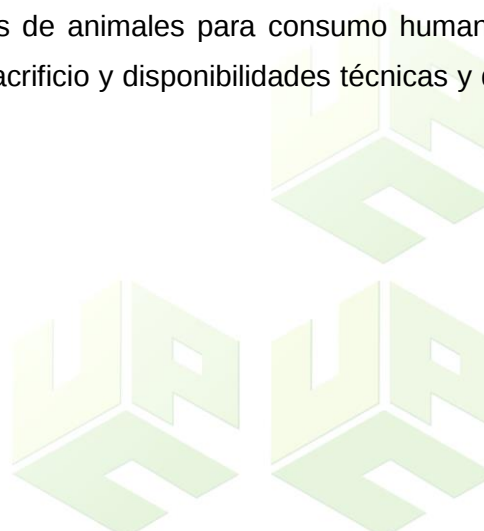
Matadero

Según lo estipulado en el artículo 4 del decreto 2278 1982. Matadero es todo establecimiento dotado con instalaciones necesarias para el sacrificio de animales de abasto público o para el consumo humano, así como tareas complementarias de elaboración o industrialización.

Clasificación de los mataderos en Colombia

Según lo estipulado en 1036 de 1991, Los mataderos de animales para consumo humano, distintos a los de aves, por razón de su capacidad de sacrificio y disponibilidades técnicas y de dotación, se clasifican de la siguiente manera

- Clase I
- Clase II
- Clase III
- Clase IV
- Mínimos



Mataderos de clase I

Los mataderos Clase I deberán tener capacidad instalada para sacrificar 480 o más reses y 400 o más cerdos, en turnos de 8 horas, de conformidad con los requerimientos del Decreto 2278/82. Además de los requisitos establecidos en los Decretos 2278/82 y 1594/84, los mataderos Clase 1, deberán disponer de las siguientes áreas, dependencias y equipos básicos para su funcionamiento.

1. Área de protección sanitaria;
2. Vías de acceso y patios de maniobra, cargue y descargue;
3. Corrales de llegada;
4. Corrales de sacrificio;
5. Corral de observación;
6. Zona de lavado y desinfección de vehículos;
7. Báscula para ganado en pie;
8. Baño para ganado en pie; ;
9. Sala de oreo y cuarteo;
10. Sala de sacrificio, según especies;
11. Sala de deshuese y empaque, cuando estas acciones se realicen en la planta;
12. Sistema de refrigeración;
13. Área para canales retenidas;
14. sala de necroscia o matadero sanitario;
15. Horno crematorio o incinerador;
16. sección especial para procesamiento y empaque de subproductos;
17. sección de calderas y compresores;
18. depósito para decomiso;
19. sistema aéreo para sacrificio y faenamiento;
20. Área y equipo para escaldado de cerdos;
21. sala aislada para lavado y preparación de vísceras blancas;
22. sala refrigerada para almacenamiento de vísceras blancas y rojas;
23. Área para proceso y almacenamiento de cabezas;
24. área para escaldado y almacenamiento de patas;

25. sala para pieles;
26. Báscula de riel para pesaje de las canales;
27. Sistema para almacenamiento de estiércol;
28. oficina de inspección médico-veterinaria;
29. sistema de tratamiento de aguas residuales;
30. Tanque de reserva de agua potable;
31. Almacén y bodegas;
32. Oficinas o dependencias administrativas;
33. Área para servicios varios y mantenimiento;
34. Servicios sanitarios y vertederos;
35. Cafetería

Mataderos de clase II

Los mataderos Clase II deberán tener capacidad instalada para el sacrificio de 320 o más reses y 240 o más cerdos, en turnos de 8 horas. Cumplirán con los requisitos señalados en los Decretos Números 2278/82 y 1594/84 para los mataderos Clase 1, con las siguientes excepciones:

- a) Sala de cuarteo y deshuese;
- b) Zona de lavado y desinfección de vehículos, pero tendrán sistema de des- infección, bomba manual u otro;
- c) Sala de necropsia;
- d) Sala de subproductos a excepción de la de proceso de sangre

Mataderos de clase III

Los mataderos Clase III deberán tener una capacidad instalada para sacrificar 160 o más reses y 120 o más cerdos en turno de 8 horas, de conformidad con el Decreto 2278/82. Cumplirán con los requisitos generales señalados en los Decretos 2278/82 y 1594/84, Y deberán disponer de las siguientes áreas y equipos básicos para su funcionamiento:

1. Área de protección sanitaria;
2. Vías de acceso, patio de maniobras, cargue y descargue;
3. Desembarcadero y corrales de sacrificio;
4. Báscula para pesaje de ganado en pie;

5. Salas de sacrificio;
6. Redes aéreas para sacrificio y faenado de los animales;
7. Área aislada para lavado, preparación y almacenamiento de vísceras blancas;
8. Área de almacenamiento de vísceras rojas;
9. Depósito para decomisos;
10. Área de cabezas y patas;
11. Área para almacenamiento de pieles;
12. Sistema adecuado para tratamiento primario y eliminación de aguas residuales;
13. Estercolero;
14. Tanque de reserva de agua potable;
15. Oficina de inspección médico-veterinaria;
16. Oficinas o dependencias administrativas;
17. Servicios sanitarios y vestideros;
18. Área para servicios varios y mantenimiento

Mataderos de clase IV

Los mataderos Clase IV deberán tener una capacidad instalada para el sacrificio de 40 reses y 40 cerdos, en turno de 8 horas. Cumplirán con los requisitos generales estipulados en los Decretos 2278/82 y 1594/84, y deberán disponer de las siguientes áreas:

- Área de protección sanitaria;
- Vías de acceso, y zona de cargue y descargue;
- Corrales de sacrificio;
- Sala de sacrificio separada según especie;
- Red aérea para el sacrificio y faenado de los animales;
- Área para proceso de vísceras blancas;
- Área para cabezas y patas;
- Área para almacenamiento de pieles;
- Estercolero;
- Sistema de tratamiento de aguas residuales;
- Tanque (s) para reserva de agua potable;



- Oficina administrativa y de inspección;
- Unidad sanitaria y vestidero

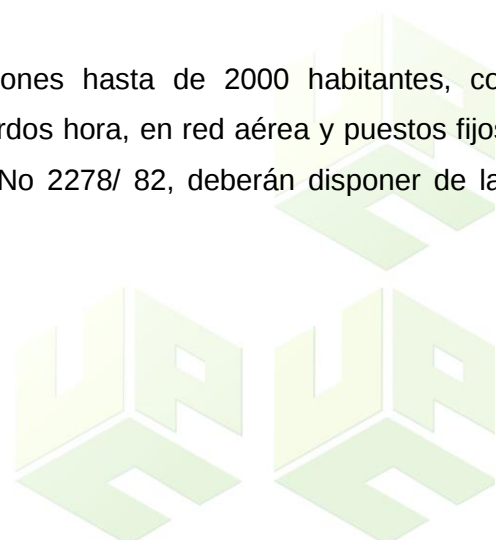
Los mataderos Clase IV deberán estar dotados del siguiente equipo mínimo

- Trampa de aturdimiento;
- Puntilla de aturdimiento;
- Polipastos eléctricos o manuales para izado de reses y de cerdos;
- Redes aéreas para sacrificio y faenado de reses y cerdos;
- Grilletes o troles con esparrancador para bovinos y cerdos;
- Plataformas de niveles;
- Tasajeras y ganchos para vísceras rojas;
- Tasajeras y ganchos para cuartos de canal;
- Vaciadero de panzas y mesones de material inalterable para lavado y proceso de
- vísceras blancas;
- Pinza eléctrica u otro sistema para aturdir cerdos;
- Equipo de gas para el chamuscado de cerdos;
- Tanque escaldador de estómagos de bovinos

Mataderos mínimos

Los mataderos mínimos se establecerán en poblaciones hasta de 2000 habitantes, con capacidad instalada para el sacrificio de 2 reses y 2 cerdos hora, en red aérea y puestos fijos. Además de los requisitos establecidos en el Decreto No 2278/ 82, deberán disponer de las siguientes áreas y equipos:

- Vía de acceso y zona de cargue y descargue;
- Corrales de sacrificio para reses y cerdos;
- Sala de sacrificio;
- Trampa para aturdimiento de reses;
- Puntilla de aturdimiento;



- Polipasto (s) manuales para el izado de los animales;
- Red aérea para sangría y proceso de reses y cerdos;
- Plataforma de niveles;
- Grilletes con esparrancador para bovinos y porcinos;
- Área para proceso de vísceras blancas, cabezas y patas;
- Área para almacenamiento de pieles y decomisos;
- Tasajeras y ganchos para vísceras rojas;
- Tasajeras y ganchos para colgar los cuartos de canal;
- Aturdidor para cerdos;
- Equipo para chamuscado de cerdos;
- Tanque de reserva de agua;
- Unidad sanitaria;
- Tanque séptico;
- Estercolero

Procesos en mataderos de beneficio bovino

Zona de descarga o recepción adecuada para el ganado

Al ganado que entra a la planta se le hace a una inspección ante-mortem, para seleccionar los animales debidamente descansados y que no presenten síntomas que hagan sospechar la presencia de enfermedades. El lavado de la res previo al sacrificio se realiza en el área de corrales.

Insensibilización del animal

El animal es conducido hasta la trampa de aturdimiento donde inicia el sacrificio. Este puede hacerse con lanza, es decir, se utiliza un cuchillo con el cual se realiza una punción en las primeras vértebras cervicales o también puede hacerse con una pistola de perno cautivo, pistola neumática que dispara un perno, perfora la piel y el hueso frontal, tratando de no lesionar la masa cerebral.

Desuello

La separación de la piel, comienza con el desollado de la parte frontal de la cabeza, eliminando luego la piel del resto de partes del cuerpo. Luego se realiza una apertura a lo largo de la línea ventral para el desuello del tórax, brazo, antebrazo, pecho, espalda y paleta. para esta actividad cuentan con un equipo de desuello.

Evisceración

Luego del desollado, se abre el pecho y el resto de la cavidad abdominal, para extraer las vísceras blancas y rojas las cuales son procesadas por separado y posteriormente son comercializadas

Sierra de pecho

Luego de la evisceración, la canal es dividida a lo largo de su línea media dorsal en dos.

Acondicionamiento de la canal

Las canales son lavadas a presión, con abundante agua potable. El corte de la res puede ser en dos canales o en cuartos de canales, dependiendo de la presentación final en la que será distribuida a los clientes.

Procesamiento de Productos Secundarios

- comestibles Vísceras Rojas: corazón, pulmón, hígado, bazo y riñones.
- Vísceras blancas: incluyen panza, bonete, librillo, cuajar, intestino delgado e intestino grueso. Patas, sesos, rabo, lengua, cabeza, órganos genitales.
- Otros restos cárnicos: Esófago y músculo subcutáneos, empleados en la fabricación de embutidos

Procesamiento de Productos Secundarios no comestibles

- Cueros: Evitar cortes y rasgaduras que pudieran disminuir su valor comercial. Normalmente es enviada a las curtiembres.
- Sangre: Es recolectada y destinada para usos múltiples depende del nivel tecnológico de la planta.

- Cachos y cascos: Producto rico en nitrógeno no proteico, empleado en la industria de los fertilizantes.
- Sebo: Es la grasa bruta obtenida en la extracción y limpieza de vísceras. Se utiliza en la formulación y fabricación de alimentos concentrados para animales y en la fabricación de jabones.
- Huesos y restos de carne: Se procesan para obtener en harina de grano muy fino, la cual es utilizada en la fabricación de alimentos concentrados para animales.
- Otros: Hiel, viriles, fetos, cálculos

Sistemas de tratamiento del agua residual en mataderos

En general el tratamiento de aguas residuales tiene en cuenta aspectos como la retención de las sustancias contaminantes, tóxicas y reutilizables; el tratamiento del agua como tal y el tratamiento del lodo. Los contaminantes de importancia son sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable, patógenos, nutrientes, contaminantes prioritarios, materia orgánica refractaria, metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos.

Los requerimientos de tratamiento para un agua residual especifican puede determinarse mediante la comparación entre la carga de residuos permitida y la contaminación de las aguas residuales municipales y de ciertos tipos de industrias. La purificación requerida determina la selección del método acorde con la estructura comunal e industrial.

El objetivo principal de las aguas residuales industriales es la recuperación y reutilización de materias primas, los métodos de tratamientos son similares al de las aguas residuales municipales. La carga de contaminante en aguas residuales de matadero se puede reducir: reteniendo los residuos del proceso de evisceración y de la recolección de estiércol, recuperando las grasas en separadores y procesando mejor la sangre, las cerdas y el pelo. (Muñoz, 2005)

Flotación

La flotación es un proceso para separar sólidos de baja densidad o partículas líquidas de una fase líquida. La separación se lleva a cabo introduciendo un gas (normalmente aire) en la fase líquida, en forma de burbujas. La fase líquida se so-mete a un proceso de presurización para alcanzar una presión de funcionamiento que oscila entre 2 a 6 atm, en presencia de suficiente

aire para conseguir la saturación en aire del agua. Luego este líquido saturado de aire se somete a un proceso de despresurización llevándolo hasta la presión atmosférica por paso a través de una válvula reductora de presión. En esta situación, y debido a la despresurización, se forman pequeñas burbujas de aire que se desprenden de la solución. Los sólidos en suspensión o las partículas líquidas (por ej.: sangre coagulada y floculada, aceites y grasas) flotan, debido a que estas pequeñas burbujas se adhieren a los mismos y los obligan a elevarse a la superficie. Los sólidos en suspensión concentrados pueden separarse de la superficie por sistemas mecánicos (rastras). El líquido clarificado puede separarse entonces y, parte del mismo puede reciclarse, para lograr mayores eficiencias de separación de contaminantes. (Salas & Condorhuamán, 2008)

Sistema de flotación por aire disuelto (DAF):

Los sistemas de Flotación por Aire Disuelto (DAF) se rigen por el principio de solubilidad del aire en el agua en función de la presión. Parte del agua tratada en la unidad de flotación, cerca del 25%, pasa por un tanque saturador, el cual se utiliza para disolver el aire en el agua, mediante la inyección de aire comprimido a alta presión. El agua saturada con aire se recircula al equipo de flotación previa disminución de la presión a condición atmosférica, lo que provoca la liberación de gran cantidad de micro burbujas que se adhieren a las partículas contaminantes contenidos en el agua cruda. La fuerza boyante del sistema partícula-burbujas es suficiente como para hacer que los contaminantes floten continuamente para luego ser recogidos por un sistema mecánico de recolección de flotados.

Sistema de flotación por aire inducido (IAF):

Los sistemas de Flotación por Aire Inducido (IAF) son equipos que inyectan aire en forma de micro burbujas a la entrada del proceso. Estas burbujas son generadas por un sistema doble de educutores y disco difusor-impulsor único. Este último tiene una serie de orificios finos en todo su perímetro para lograr una difusión de burbujas de aire ultra finas, en tamaños entre 10 y 100 μm de diámetro. Tanto los educutores como el sistema de disco difusor-impulsor disponen de una facilidad que permite ajustar el volumen de aire y seleccionar el tamaño de las burbujas según las necesidades del proceso.

Sistema de flotación por gas inducido (IGF):

En el proceso de tratamiento de agua producida, los sistemas de Flotación por Gas Inducido son una alternativa interesante ya que, en algunos casos, la inyección de aire no es recomendable por el riesgo de explosión en un ambiente rico en hidrocarburos, además de que un nivel alto de oxígeno disuelto puede tener efectos adversos sobre los equipos de producción, en superficie y sub-superficie, o en las formaciones para disposición por inyección. En los IGF, el gas producido o el gas recirculado se usa para generar las microburbujas para la flotación.

Sistema de flotación por aire suspendido (SAF):

Los sistemas de Flotación por Aire Suspendido utilizan un generador que produce burbujas asistido por un agente surfactante. Este agente recubre las burbujas generadas, haciendo que estas se enlacen con las partículas poliméricas de carga opuesta contenidas en los flóculos mediante vínculos electrostáticos. Esta propiedad de los sistemas SAF permite tasas de ascenso hasta de 8 gpm/ft². (Tecniaguas, 2021)



4.3. MARCO CONCEPTUAL

Agua residual: son cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica. Se trata de agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. (iAgua, s.f)

Aceites y Grasas (AyG): son sustancias de origen vegetal o animal, que consisten predominantemente en mezclas de esteres de la glicerina con los ácidos grasos, es decir, triglicéridos. En general el término “grasa” se usa para referirnos a los materiales sólidos, o más bien sólidos a temperatura ordinaria; mientras que el término “aceite” se refiere a los que son líquidos en las mismas condiciones. (Bailey, 1961)

DBO: parámetro químico que mide la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable durante cinco días y a 20°C y corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica. La relación DQO/DBO5 proporciona una indicación de la biodegradabilidad de las aguas residuales.

DQO: parámetro químico que mide la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica. Esta prueba proporciona un medio indirecto de la concentración de materia orgánica en el agua residual. (Rojas, 2002)

Matadero: es todo establecimiento dotado con instalaciones necesarias para el sacrificio de animales de abasto público o para el consumo humano, así como tareas complementarias de elaboración o industrialización. (art 4, decreto 2278 de 1982)

Sistema de flotación: es un proceso que se utiliza para separar sólidos o líquidos flotables del agua mediante la inyección de burbujas de aire finas. Estas burbujas se adhieren al material particulado y lo hacen flotar. La eficiencia de este proceso depende de la densidad y concentración de las partículas suspendidas, así como del tamaño de las burbujas y el volumen de aire inyectado. (tecnaguas, 2021)

DAF: se rige por el principio de solubilidad del aire en el agua en función de la presión. Parte del agua tratada en la unidad de flotación, cerca del 25%, pasa por un tanque saturador, el cual se utiliza para disolver el aire en el agua, mediante la inyección de aire comprimido a alta presión. (tecnaguas, 2021)

Partículas floculantes: son aquellas moléculas o partículas flotantes en el agua que logran ser coaguladas por medio de un coagulante.

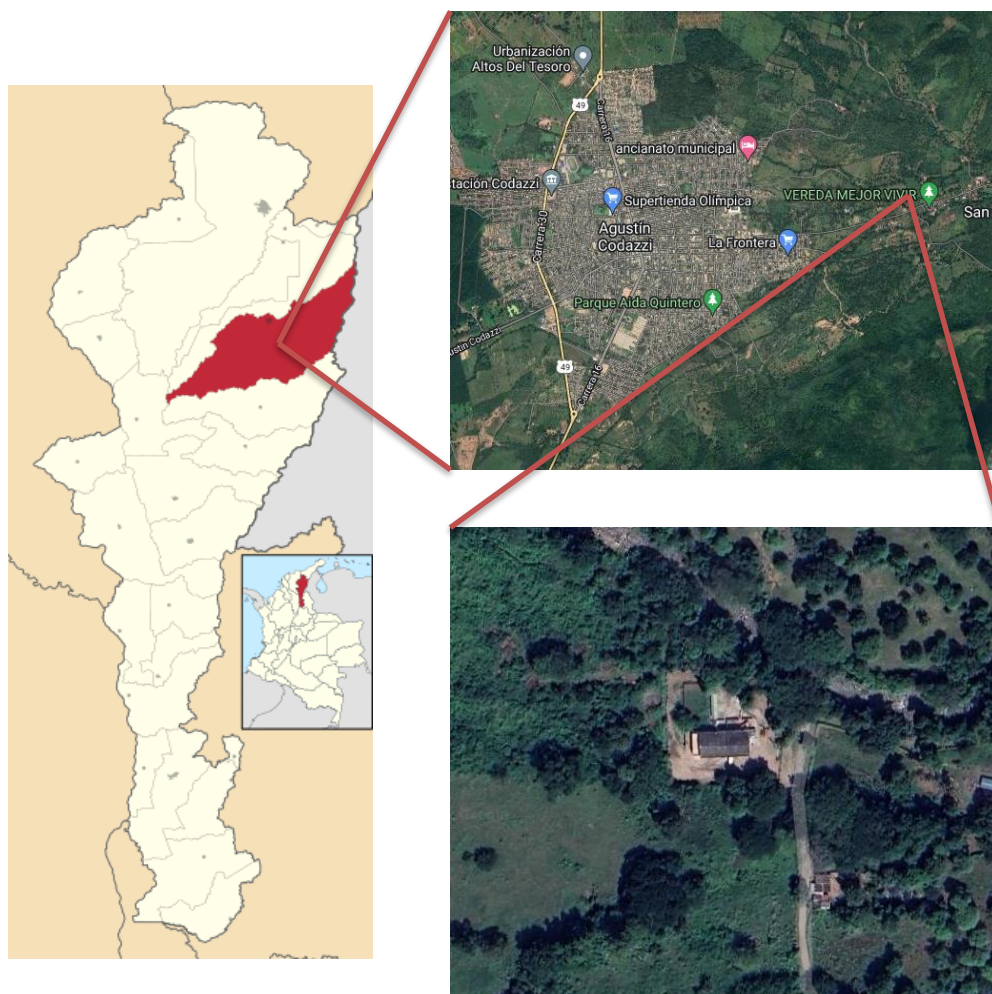


4.4. MARCO CONTEXTUAL

El matadero municipal de Agustín Codazzi, actualmente se encuentra ubicada en la calle 13 en el barrio san Ramón en el municipio de Agustín Codazzi (ver figura 1). Es una empresa que tiene como actividad principal el procesamiento y desposte de bovinos.

Figura 1.

Ubicación matadero municipal de Agustín Codazzi



Fuente: Google maps (2022)

El municipio de Agustín Codazzi tiene el segundo lugar dentro del departamento del Cesar en la cría de ganado, representando el 8% del total departamental con cerca de 112 mil reses, donde predominan las razas Cebú y Pardo Suizo, las cuales son destinadas principalmente a la industria de la carne y la industria de la leche. El peso promedio de del ganado bovino que se cría en el municipio en hembras y machos es de 383Kg y 326Kg respectivamente.

El matadero municipal de Agustín Codazzi es la única planta de sacrificio de bovinos en el municipio, anualmente en producción cárnica genera más de 8 mil toneladas, distribuidas en cerca de 21 mil animales sacrificados, de los cuales el 69% son hembras. (PNUD, 2015)



4.5. MARCO LEGAL

Tabla 3.

Matriz de identificación de aspectos legales

TEMATICA	DECRETO O RESOLUCIONES	CONTENIDO
Artículos		
	A partir de la promulgación de la nueva Constitución Política (1991).	
Constitución	Artículo 8	Es obligación del estado y de las personas proteger las riquezas naturales y culturales de la nación.
	Artículo 79	Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente sano. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica
	Artículo 313	Todo municipio debe expedir los acuerdos necesarios para el control,

	preservación y defensa del patrimonio ecológico.
Ley 9 del 6 de enero de 1979	Por medio del cual se fija el manejo de medidas sanitarias, uso de todo tipo de aguas
Ley 0079 del 10 de enero de 1986	Por medio de la cual se establece el consumo de agua
Ley 373 del 6 de junio de 1997	Por el cual se decreta el programa para el uso eficiente y ahorro de agua.
Decreto 901 de 1997 MMA	Reglamenta el cobro de tasas de retributivas por vertimientos.
Decreto 1594 de julio de 1984 M.S.901 de 1997 M.M.A.	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III- Libro I – del Decreto- Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. (vertimientos)
Decreto 475 de 1998	Por el cual se expiden las normas técnicas de calidad de agua potable.
Resolución 240 de 2004	Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se

AGUA

establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas.

Resolución 2115 de 2007

Por la cual se regula la concentración permisible de parámetros para el consumo de agua potable

Resolución 075 de
2011

Por el cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimientos puntual al alcantarillado público

“Por el cual se establecen los parámetros y 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”.

Resolución 631 del 2015

Artículo 09. parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARND) a cuerpos de aguas superficiales de actividades

productivas de agroindustria y
ganadería

Fuente: Autores. Basado en los Requisitos legales aplicables en la empresa ETICOS
SERRANO GOMEZ Ltda. (2016)



5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación es Sostenibilidad y Gestión Ambiental, donde la sublínea de investigación es gestión integral del recurso hídrico.

5.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo descriptivo y experimental. Ya que con la información obtenida se logrará determinar con mayor amplitud la eficiencia de remoción de los parámetros (potencial de hidrógeno (pH), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G), temperatura (T), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbidez) por medio del sistema de flotación por aire disuelto (DAF) en la planta de beneficio municipal de Agustín Codazzi.

5.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación se lleva a cabo bajo el enfoque de estudio de laboratorio con un nivel de investigación experimental.

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio será la fuente de aguas residuales no domesticas donde se llevará a cabo la evaluación del porcentaje de remoción de los parámetros (potencial de hidrógeno (pH), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G), temperatura (T), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbidez) por medio del sistema de flotación por aire disuelto (DAF) en la planta de beneficio municipal de Agustín Codazzi.

5.5. MUESTRA POBLACIONAL

Selecciona un volumen de 300 ml para la determinación de aceites y grasas antes de iniciar el respectivo tratamiento por parte de la planta de beneficio municipal de Agustín Codazzi, y muestras de 600 ml para la determinación o análisis de la turbiedad, DQO y turbidez.

para el respectivo sistema de flotación por aire disuelto a escala laboratorio se tomará un volumen de 20 litros, la que se lograran durante tres emanar con una variabilidad de dos veces por semana.

5.6. DESARROLLO METODOLOGICO

5.6.1. Etapa 1: Caracterizar las aguas residuales de la empresa en cuanto a potencial de hidrógeno (pH), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G), temperatura (T), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbidez.

Actividad 1.1. Toma de muestras

Descripción:

Sitio de muestreo

Para determinar el sitio de muestreo para recolectar muestras se realizó una visita de las instalaciones del matadero municipal Agustín Codazzi y luego de esta, se estableció como punto de toma de muestras la zona correspondiente al sacrificio y lavado de viseras, justo antes de la ubicación de la trampa de grasas del matadero con el fin de obtener la mayor muestra representativa con relación al parámetro en estudio (A Y G).

Figura 2.

Toma de muestras



La recolección o toma de muestras se realizó teniendo en cuenta los días en la semana en los cuales se presenta la mayor cantidad de sacrificios de ganado, realizándolo así 2 veces a la semana. Para la determinación de los parámetros físico- químicos (AyG, DQO, turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos) y la ejecución de la planta piloto del sistema de flotación por aire disuelto, las muestras se recolectaron en recipientes plásticos con aproximadamente 20L (Figura) y una vez recolectadas se conservaban a una temperatura $\pm 4^{\circ}\text{C}$.

Actividad 1.2. Análisis físico - químicos in vitro de cada una de las muestras

Descripción:

Para la determinación de los parámetros PH y la temperatura, las mediciones se realizaron de manera *in situ* a través del uso de un lector de PH con electrodo de vidrio y un termómetro digital respectivamente, introduciéndolos en cada una de las muestras hasta tener una lectura constante de estas.

Para la determinación de los demás parámetros físico- químicos (AyG, DQO, sólidos y turbiedad) se realizaron teniendo en cuenta los siguientes procedimientos

Aceites y grasas (AyG) método 5520-B

Para la determinación de AyG de las muestras recolectadas, se empleó el método gravimétrico. Para este se utilizaron recipientes de vidrio con un volumen aproximado de 100 ml, con anterioridad estos lavados, secador en un horno a una temperatura de 105°C durante una hora y pesados hasta peso constante (proceso de tarado). Posteriormente, se utilizó un volumen 100 ml de agua residual que fue vertido a un balón de separación previamente lavado y secado, luego se le adiciono 1 ml de ácido clorhídrico y 15 ml de hexano; se agito la emulsión durante 3 a 5 min y se dejó reposar para así continuar con la separación del agua residual de la grasa suspendida: se pasó por el papel filtro y sal de sulfato de sodio decantando en el recipiente anteriormente mencionado.

Este ciclo se repitió 2 veces más por cada muestra, agregando 10 ml de hexano por cada ciclo repetido. La ecuación 1, nos permitió determinar la concentración de A Y G expresada en mg/L.

$$A Y G \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(P_2 - P_1)}{V_m} \times 1.000.000 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

P₁: Peso inicial del recipiente de vidrio (g).

P₂: Peso del recipiente de vidrio + muestra (g).

V_m: Volumen de muestra, (mL).

Figura 3.

Determinación de aceites y grasas



Demanda química de oxígeno (DQO). método 5220-C

Para la determinación de la DQO se utilizó el método de reflujo cerrado, para este se prepararon tubos de digestión agregando 1 ml de solución de dicromato de potación ($K_2Cr_2O_7$) 0.0167M el cual cumple el papel de oxidante; 3 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) más sulfato de plata (Ag_2SO_4) el cual actúa como agente catalizador. Luego se le adiciono en cada tubo 2 ml de la muestra diluida, adicionalmente se preparó un blanco en el cual se le agrego 2ml de agua destilada en lugar de la muestra. Los tubos de digestión se colocaron en un digestor de bloque de calentamiento o termoreactor precalentado a una temperatura de $150 \pm 2^\circ C$ durante 2 horas.

Luego de este tiempo se dejó en reposo hasta temperatura ambiente, después se procedió a titular, adicionándole 3 gotas de indicador de ferina a la muestra y usando como titulante al sulfato ferroso (FAS) el cual se agregó gota a gota hasta que se tornó de un color rojizo la solución.

La ecuación 2 fue utilizada para determinar la concentración de DQO en las muestras de agua residual.

$$DQO \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{[(V_B - V_M)] \times 8000}{V_m} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

V_B : Volumen gastado de FAS (0.1M) por el blanco, (ml).

V_M : Volumen gastado de FAS (0.1M) por la muestra, (ml).

V_m : Volumen de la muestra, (ml).

8000: Peso equivalente del oxígeno multiplicado por 1000 (factor de conversión).

Figura 4.

Determinación de DQO.



Determinación de sólidos totales (SST), sólidos fijos (SF) y sólidos volátiles (SV)

Se empleó el método gravimétrico, trabajado con crisoles, lavaron con agua destilada y se colocaron en la mufla a $550 \pm 50^\circ\text{C}$ durante 5 minutos para remover toda la humedad presente; con la ayuda de unas pinzas se retiró de la mufla y se dejó enfriar ligeramente en el aire para

luego colocarla en el desecador hasta que adquiriera la temperatura del ambiente del cuarto de la balanza, una vez esto, con las pinzas se transfirió a una balanza analítica y se registró su peso (proceso de tarado).

Una vez el crisol tarado, se homogenizó la muestra y se depositaron 15 ml en él, después se llevó a una estufa con el fin de evaporar el volumen de agua presente teniendo cuidado de que no se derrame ni se presenten salpicaduras durante el proceso; al terminar, se llevó la muestra al horno eléctrico a una temperatura de 103-105°C a peso constante durante 1 hora. Una vez transcurrido el tiempo, se transfirió al desecador hasta enfriar para luego llevarla a la balanza analítica y registrar su peso.

Luego para la determinación de sólidos fijos y volátiles, se llevó el crisol de nuevo a la mufla a 550 ± 5°C para dejarla incinerar hasta obtener peso constante en un tiempo de 5 minutos, posteriormente se retiró y se llevó al desecador hasta adquirir la temperatura del cuarto de la balanza para poder transferirla y registrar su peso

La ecuación 3 fue utilizada para determinar la concentración de sólidos totales en las muestras de agua residual

$$ST (mg/L) = [(P2 - P1) / Vm] \times 106$$

Donde:

P1= Peso en gramos del crisol seco a (103 - 105 oC).

P2= Peso en gramos del crisol + muestra, secos a (103 - 105 oC).

Vm = Volumen de muestra en ml.

106 = Factor de conversión de gr/ml a mg/L.

Figura 5.

Determinación de sólidos totales



Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Con el método gravimétrico se determinaron los SST, primeramente, se lavaron los papeles filtro de fibra de vidrio, filtrando para esto 25 ml de agua destilada con una bomba de succión, posteriormente se llevaron a la mufla a una temperatura de $550 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 5 minutos para luego retirarla y llevarla al desecador hasta que adquiriera la temperatura ambiente y registrar su peso en una balanza analítica (proceso de tarado).

Con el uso de pinzas se colocó de nuevo al montaje de filtración y se vertió un volumen de 15 ml de muestra hasta que no se identificara humedad sobre el papel, al terminar, se retiró el papel filtro y se llevó al horno eléctrico a una temperatura de $103-105^\circ\text{C}$ hasta que secara a peso constante durante 1 hora.; después se llevó al desecador hasta que adquiriera la temperatura ambiente del cuarto de balanza para así transferirla a la balanza analítica y registrar su peso.

Luego, para la determinación de los sólidos suspendidos fijos y volátiles se llevó el papel filtro que contiene los sólidos suspendidos secos a la mufla a $550 \pm 5^\circ\text{C}$ para dejarlos incinerar hasta peso constante durante 5 minutos, para luego transferirla al desecador hasta que adquiriera la temperatura ambiente y finalmente registrar su peso en la balanza analítica.

La ecuación 4 fue utilizada para determinar la concentración de sólidos totales en las muestras de agua residual

$$SST (mg/L) = [(P2 - P1) / Vm] \times 106$$

Donde:

P1= Peso en gramos del papel filtro de fibra de vidrio seco a $(550 \pm 50^\circ\text{C})$.

P2= Peso en gramos del papel filtro + muestra, secos a $(103 - 105^\circ\text{C})$.

Vm = Volumen de muestra en ml.

106 = Factor de conversión de gr/ml a mg/L.

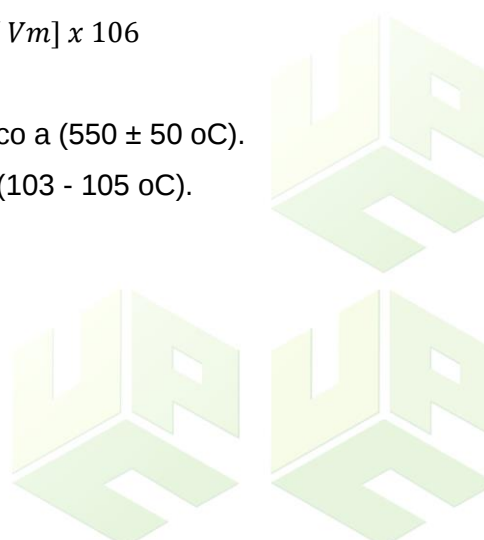


Figura 6.

Determinación de SST



Turbiedad. método 2130B

Para la determinación de la turbidez, se utilizó el método tubidimétrico con un turbidímetro (HACH 2100AN) previamente calibrado disponible en instalaciones del laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria. Se midió la turbidez de la muestra por triplicado, tomando posteriormente el promedio de las mismas

Figura 7.

Determinación de turbiedad



***Actividad 1.3. Tabular los resultados físicos químicos de los diferentes
paramentos evaluados***

Descripción: a partir de los resultados obtenidos de forma in vitro se tabularon en tablas y gráficas con el fin de lograr obtener una información más organizada para dar un análisis amplio y detallado de todos los resultados obtenidos durante la investigación.

5.6.2. Etapa 2: Establecer una unidad piloto a escala laboratorio que permita simular la operación del sistema de flotación por aire disuelto DAF.

Actividad 2.2. Determinar la ubicación estratégica del sistema de flotación por aire disuelto DAF

Descripción: El proyecto el cuál se trata en el presente proyecto a estudio, “Evaluación de un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) para la remoción de AyG en aguas residuales de la planta de beneficio municipal de Agustín Codazzi”, se llevó a cabo en el municipio de Valledupar en las instalaciones de la universidad popular del cesar con dirección diagonal 21 número 29-56 sabanas del valle, específicamente en las instalaciones del laboratorio de la facultad de ingeniería ambiental y sanitaria.

Actividad 2.3. Diseñar el plano del sistema a escala piloto

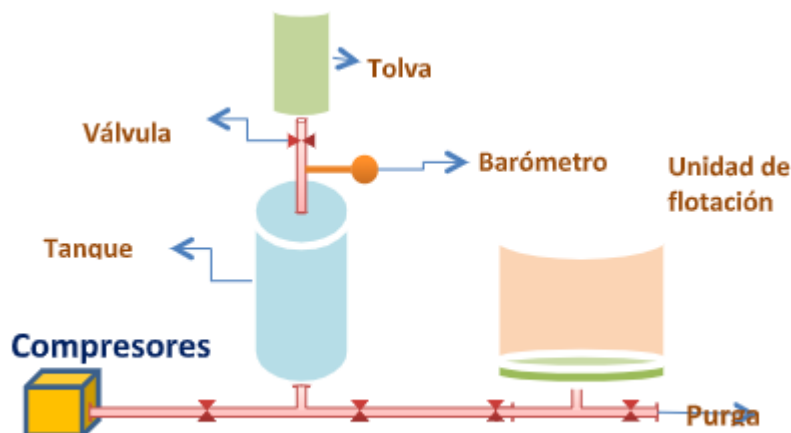
Descripción: En esta etapa se llevó a cabo sistema de flotación por aire disuelto a escala laboratorio diseñado por Maestre y Pacheco (2012), el cual cuenta con los siguientes elementos e instrumentos:

- Una tolva de llenado
- Un tanque presurizado
- Un manómetro
- Un compresor de aire
- Una bomba de vacío
- 4 válvula de paso
- Una unidad de flotación.
- 2 mangueras



Figura 8.

Sistema piloto de flotación por aire disuelto



Y el cual cuenta con unas especificaciones denotadas en la siguiente tabla

Tabla 4.

Especificaciones de diseño

Instrumento	Capacidad	Especificación
Tolva	3 litros	-----
Tanque de presurización	3,2 litros	Tiene en su parte superior una válvula que lo conecta con la tolva de llenado y un manómetro para comprobar la presión interna
Unidad de flotación en acrílico	5,5 litros	Posee un doble fondo donde el primero está conectado a un acople que trae el volumen

proveniente de la
cámara de
presurización y el
segundo esta perforado
por toda la sección con
orificios de un diámetro
aproximado de 1mm.

Fuente: (Maestre, Pacheco. 2012)

Actividad 2.4. Implementar el sistema por aire disuelto a escala laboratorio

Descripción

A partir del montaje piloto diseñado por Maestre y Pacheco (2012) y las bibliografías consultadas, a continuación, se detalla el procedimiento experimental utilizado para evaluar el sistema piloto de flotación por aire disuelto (DAF).

1. inicialmente se introdujo el volumen a tratar en la unidad de flotación y luego el otro volumen a la tolva de llenado utilizando las relaciones entre el volumen que se va recircular (30, 40 y 50 %) del caudal a tratar y las presiones que se le van a inyectar al reciclo (30, 40 y 50 psi) procedentes del tanque de presurización (Ver Tabla 5).

Tabla 5.

Combinaciones de presión y reciclo.

PRESIÓN	VOLUMEN DEL RECICLO		
	30%	40%	50%
30 psi	Montaje 1	Montaje 2	Montaje 3
40 psi	Montaje 4	Montaje 5	Montaje 6
50 psi	Montaje 7	Montaje 8	Montaje 9

Fuente: propia

2. Posteriormente al tanque de presurización se le realizó vacío por medio de una bomba de succión durante 45 seg, lo que facilita la entrada del volumen de reciclo proveniente de la tolva, luego de introducir el reciclo al tanque se le inyectó aire a presión con un compresor. El primer montaje se realizó con la presión de 30 psi y el menor volumen de recirculación 30 %, después se fueron cambiando las presiones y los reciclos según la Tabla anterior, hasta alcanzar la mayor eficiencia del piloto.
3. Se agitó la combinación agua-aire presurizada manualmente durante 3 minutos con el fin de lograr una óptima saturación del aire en el agua.
4. La combinación agua-aire presurizada se hizo pasar desde el tanque de presurización hasta la unidad de flotación, el cambio de presión ocasionó la formación de pequeñas burbujas que, en su recorrido ascendente, se adhieren a las grasas emulsificadas provocando su suspensión.
5. La mezcla en la unidad de flotación se deja reposar durante 10 minutos con el fin que las últimas burbujas asciendan a la superficie y arrastren consigo las grasas y sólidos en suspensión formados durante el proceso.
6. Después de la separación se saca un volumen de clarificado (reciclo) necesario que será vertido nuevamente en la tolva de llenado, volviéndose a repetir el proceso previamente descrito, es decir que por cada relación de volumen de recirculación vs presión el proceso se realizó dos veces.
7. Repetidos los reciclos necesarios, se toma la muestra de agua tratada para su posterior análisis físico-químico.
8. Para lograr el volumen de recirculación vs presión más eficiente se ejecutaron tres rondas de combinaciones en el piloto.

Figura 9.

Montaje sistema piloto DAF



5.6.3. Etapa 3: Determinar la eficiencia del Sistema Piloto de Flotación por Aire Disuelto implementado en la remoción de aceites y grasas y otros parámetros fisicoquímicos.

Actividad 3.1. Toma de muestras, pruebas de flotación por aire disuelto (DAF)

Descripción

Se realizaron las pruebas de flotación por aire disuelto a través del piloto diseñado por Maestre y Pacheco (2012) a diferentes presiones, entre 30 psi, 40 psi y 50 psi y volúmenes de recirculación adecuados entre 30%, 40% y 50% del efluente tratado como lo indica la tabla 5, realizando distintas combinaciones entre ambos factores con el fin de determinar cuál de estas es la más efectiva en función de la remoción de los parámetros de AyG y turbiedad. Durante este proceso se trabajó con un volumen de muestra de 5L para cada una de las combinaciones planteadas y a una temperatura ambiente del laboratorio de 28°C

Actividad 3.2. Análisis físico - químicos in vitro de cada una de las muestras

Descripción

A partir del procedimiento experimental del sistema de flotación por aire disuelto para determinar la combinación más eficiente en cuanto a remoción de AyG, para cada diferente combinación se realizaron las respectivas caracterizaciones de las muestras de agua residual antes y después

de la entrada del sistema piloto de flotación por aire disuelto con el fin de conocer en qué condiciones, en cuanto a concentración, se encuentran las aguas residuales antes y después del tratamiento.

Actividad 3.3. Tabular los resultados físicos químicos de los diferentes parámetros evaluados en las etapas inicial y después de la implementación del sistema de flotación por aire disuelto (DAF) a escala laboratorio.

Descripción

Una vez realizadas los análisis fisicoquímicos de las muestras, los datos se sometieron a técnicas de comparación de datos estadísticos, tabulación y gráficos con el fin de determinar la combinación más óptima o que genere mejores resultados para la remoción de AyG de las aguas residuales procedentes del matadero.

Actividad 3.4. Analizar los resultados en la determinación del porcentaje de remoción de los parámetros físico-químicos antes y después (potencial de hidrógeno (pH), Sólidos Suspendidos Totales (SST), sólidos totales (ST), Aceites y Grasas (A y G), temperatura (T), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbidez) y establecer los respectivos análisis.

Descripción

A partir de los resultados arrojados de los análisis estadísticos, tablas y gráficos, se estableció la eficiencia del sistema de flotación por aire disuelto (DAF) a escala laboratorio en la determinación de porcentaje de remoción de los parámetros como AyG, turbiedad, SST, ST Y DQO.

6. RESULTADOS Y ANALISIS

A partir de la recolección de información correspondiente de las aguas residuales provenientes del matadero municipal Agustín Codazzi, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las etapas realizadas durante el proceso junto con su análisis y discusión, evaluando la eficiencia del sistema piloto como tratamiento para la remoción de parámetros fisicoquímicos.

6.1 Etapa 1. Caracterización de las aguas residuales de la empresa

Inicialmente se realizó una recopilación de información correspondiente al matadero municipal de Agustín Codazzi indicando sus principales actividades a realizar, así como los tipos de residuos líquidos desprendidos durante el proceso de cada uno, los cuales se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 6

Producción de os determinados residuos líquidos en cada una de las actividades desarrolladas en el matadero Agustín Codazzi.

Actividad	Descripción	Residuos líquidos
Insensibilización	Proceso realizado con el fin de interrumpir de manera permanente la conexión de los nervios, que conectan el cerebro y la medula del animal, para prevenir algún tipo de dolor en el bovino.	
Izado y desangrado	A partir de un gancho se iza el animal, de manera vertical desde su extremidad derecha inferior, y por medio de un instrumento afilado se realiza una incisión a nivel de la laringe, para garantizar una buena evacuación sanguínea.	Mezcla líquida (agua-sangre)

Retiro de patas y cabeza	Se realiza un desprendimiento, de las extremidades superiores y posteriores del bovino, y se realiza un desprendimiento superior de la cabeza, para evacuar el contenido sanguíneo restante.	Mezcla líquida (agua-sangre)
Desuello	Proceso por el cual se retira la capa de piel o capilar de la vaca, a partir de un corte con movimiento inferior ascendente, para disminuir la probabilidad de contaminación	Mezcla líquida (agua-sangre)
Corte de esternón y eviscerado	Se lleva a cabo la incisión para el retiro del esternón y por consiguiente la extracción de las vísceras, proceso por el cual se realiza en plazo máximo de 20 minutos, después del proceso de insensibilización.	Mezcla líquida (agua-sangre)
Escaldado y precocido (Limpieza de viseras blancas)	Mediante una solución de agua con cal viva, en un contenedor con un volumen determinado, se agregan las vísceras (escaldado) y por consiguiente precocido, a partir de este proceso se lleva a cabo la limpieza o eliminación de todo rastro de mucosa o residuo sólido o líquido, que podría contaminar el contenido cárnico, y posterior se designa la tarea de limpieza manual y por último el salado de librillos, para así llevar de forma controlada su conservación y comercialización.	Solución con presencia de reactivos químicos (cal vida-NaCl) con presencia de residuos de estiércol
Limpieza de viseras rojas	A partir de la clasificación de las vísceras rojas presentes en el bovino, se lleva a cabo su limpieza por parte de un operador	Mezcla líquida (agua-sangre)

de la planta, y a partir de la utilización de agua a presión se lleva a cabo la remoción de contenido persistente.

Por otro lado, en cuanto al sistema de tratamiento de las aguas residuales del matadero, según lo que estableció la corporación autónoma del cesar (CORPOCESAR) en un informe realizado en 2016, dicho sistema en mención está constituido por:

Trampa de grasas: mediante la utilización de un proceso físico se lleva a cabo el inicio del proceso de tratamiento para el efluente presente en la planta de sacrificio, las cuales cuentan con tres compartimientos de retención, dichos compartimientos garantizan la separación de AyG del agua. en esta parte del sistema no se presentan rejillas, lo cual genera la sedimentación y flotación de AyG, así en la fase de tratamientos biológicos dichos componentes no generen alteración en los siguientes procesos de tratamiento.

Lagunas de estabilización: dicho sistema presenta dos lagunas en serie, las cuales logran garantizar la separación de compuestos orgánicos, estas lagunas se encuentran completamente impermeabilizadas, y a partir de la acción microbiana se realiza la degradación de esos componentes. según el informe de Corpocesar y las visitas realizadas se presentan algunos olores, y se observa la evidencia de una ausencia de frecuencia de muestreo por parte de la planta.

Descarga del efluente: según el informe realizado por CORPOCESAR (2016), una vez finalizado el tratamiento biológico, la descarga del efluente se realiza en predios aledaños, por medio de un canal completamente de madera. por medio de la propiedad que tienen los líquidos, esta realiza infiltración en el suelo, a partir del informe presentado en el 2016, este precisa que dicho efluente aun presenta una gran carga contaminante luego de terminar su tratamiento en el sistema presente en el matadero municipal.

Algo importante de mencionar es que dichas descripciones del sistema se realizan de manera general, debido a que no se logró adquirir de manera física los planos arquitectónicos del sistema y de la planta.

La toma de muestras para la determinación inicial de los parámetros fisicoquímicos, así como también la utilizada para la ejecución del sistema piloto de flotación por aire disuelto (DAF) fueron tomadas en el efluente proveniente de las zonas de sacrificio y lavado de viseras justo antes de la ubicación de la trampa de grasa.

En la tabla 7 se resumen los resultados de la caracterización realizada a las aguas residuales provenientes del matadero donde se visualizan las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos máximos y mínimos obtenidos provenientes de las zonas de sacrificio, faenado y lavado de viseras bancas sin ningún tipo de tratamiento previo, las cuales fueron tomadas en dos ciclos, entre los meses de octubre y noviembre del 2021 y entre mayo y junio del 2022.

Tabla 7.

caracterización de las aguas residuales del matadero Agustín Codazzi

Parámetro	Unidades	Max	Min	Promedio
PH	-----	11.63	7.41	8.93
Temperatura	°C	29.9	26.4	27.43
Turbiedad	NTU	851	240	443.37
DQO	Mg/L O ₂	6800	4100	5400
Aceites y Grasas	Mg/L AyG	1470	190	671.25
ST	Mg/L	4200	3400	3866.67
SST	Mg/L	2133.3	1000	1688.87

*Resolución 631 del 2015

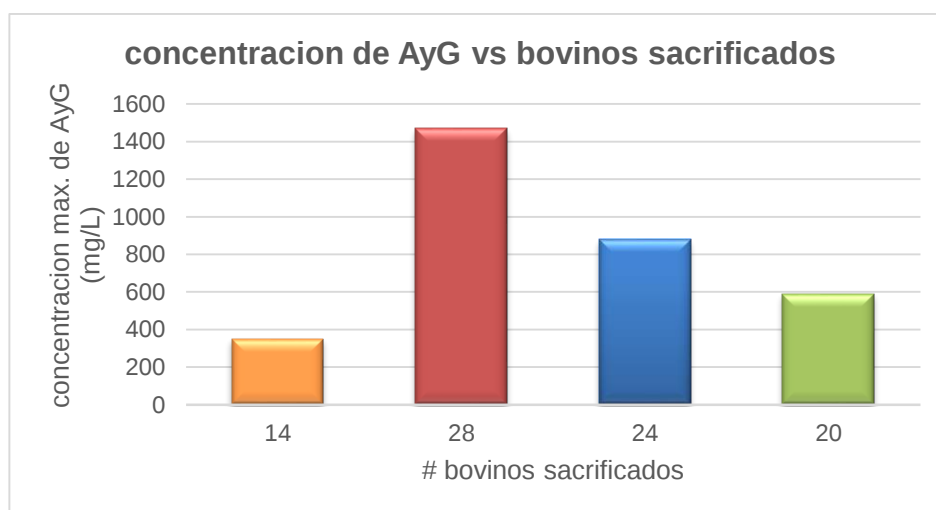
A partir de estos, se evidencia que las aguas generadas en los procesos llevados a cabo por el matadero requieren de un tratamiento antes de su disposición, ya que teniendo en cuenta la Resolución 0631 del 2015 (normativa vigente de vertimientos en Colombia), a excepción del pH y la temperatura, cuyos valores se encuentran dentro de los valores permisibles, los demás

parámetros fisicoquímicos como AyG, DQO y sólidos suspendidos totales (SST) se exceden en cuanto a su valor máximo. Por otro lado, respecto a los parámetros de turbiedad y sólidos totales (ST) aunque no tengan establecido un valor máximo permisible, se evidencian valores elevados.

Aceites y grasas: según la tabla 7, se puede evidenciar los valores correspondientes para el análisis de AyG, los cuales presentaron un rango entre 190 – 1470 mg/L muy superiores a los arrojados por Aguilar (2014) y Caldera, Sánchez & Gutiérrez (2019), los cuales registraron una concentración máxima de AyG para aguas residuales avícolas de 692.23 mg/L y 570.9 mg/L respectivamente, sin embargo, teniendo en cuenta el valor promedio que se presenta en el matadero Agustín Codazzi (671.25 mg/L), si se acerca a dicho valor hallado por ellos. Esto se explicaría teniendo en cuenta que la presencia de AyG en las aguas residuales de mataderos se debe a sus elevadas concentraciones en la sangre de los animales sacrificados (Chaux, Rojas & Bolaños, 2009). Así mismo, en comparación con la investigación realizada por Becerra y Díaz (2014) en una planta de sacrificio bovino, se encuentra una similitud en cuanto al valor de AyG presentes, ya que mostraban un promedio de 410 mg/L.

Figura 10.

Concentración de AyG vs bovinos sacrificados



En la gráfica 1, se muestra el comportamiento de los contenidos de AyG presentes en las aguas residuales del matadero Agustín Codazzi teniendo en cuenta el número de reses sacrificadas, a

partir de esto, es correcto afirmar que la cantidad de reces matadas durante el proceso es un factor estrechamente relacionado a los contenidos de AyG en las aguas residuales presentes en el matadero.

DQO: los valores correspondientes a este parámetro presentaron un rango entre 4100 – 6800 mg/l O₂, siendo así unos valores bastante elevados con respecto al máximo permisible por la normativa vigente colombiana (Resolución 0631 de 2015), que al compararlos con los valores obtenidos en la investigación realizada por Chaux, Rojas & Bolaños (2009), presentan valores inferiores con concentraciones promedio de 9024±945.5 mg/L para el efluente de un matadero de bovinos municipal. Sin embargo, este presenta valores similares a los encontrados por becerra y Díaz (2014) en su investigación, con un valor promedio de 5681 mg/L.

Sólidos suspendidos totales (SST): Los SST dentro de las aguas residuales del matadero se encuentran en un valor promedio de 1688.87 mg/L, estando así muy por encima de lo permisible según la normativa vigente (Resolución 0631 de 2015) al igual que los parámetros de AyG y turbiedad. Estos en comparación con las investigaciones realizadas por Aguilar (2014) y Caldera, Sánchez & Gutiérrez (2019), la presencia de sólidos suspendidos totales en las aguas residuales procedentes de matadero es bastante elevados, con un valor máximo de 2133.3 mg/L y en dichas investigaciones los valores no son superiores a 718 mg/L. por otro lado en comparación con la caracterización realizada por Chaux, Rojas & Bolaños (2009) en un matadero bovino, presenta similitudes en cuanto a su concentración con un valor máximo de 1357±153 mg/L, esto debido al arrastre de grandes cantidades de pelos, sangre coagulada, restos de viseras que son lavados durante los procesos.

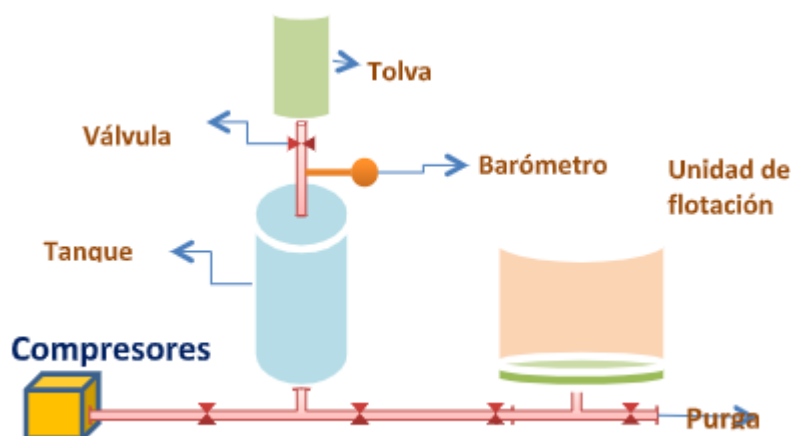
Etapas 2: Establecer una unidad piloto a escala laboratorio que permita simular la operación del sistema de flotación por aire disuelto DAF.

A partir de la caracterización del proyecto y con el fin de lograr un cumplimiento de la metodología del desarrollo experimental del mismo, se implementó el sistema de flotación por aire disuelto (DAF) diseñado por Maestre y Pacheco (2012) con el fin de mirar su eficiencia en cuanto a la

remoción de parámetros fisicoquímicos principalmente AyG. Esto se llevó a cabo en los laboratorios de ingeniería ambiental y sanitaria de la Universidad Popular del Cesar, el cual cuenta con los insumos necesarios para la implementación las pruebas de simulación en los montajes piloto, procurando mantener una adecuada preservación de las muestras, garantizando su representatividad en cuanto a las condiciones presentes en la planta de sacrificio Agustín Codazzi.

Figura 11.

Sistema piloto de flotación por aire disuelto



Comportamiento del sistema de flotación por aire disuelto (DAF) a escala laboratorio

En la tabla 8, se muestran los resultados procedentes de la implementación del sistema piloto a las presiones de 30 psi, 40 psi y 50 psi y con recirculaciones de 30%, 40% y 50%, con un volumen a tratar de 5L, donde se tomó como referencia la remoción de A y G y turbiedad para definir la combinación más eficiente de presión y reciclo como tratamiento para las aguas residuales procedentes del matadero.

Tabla 8.

Eficiencia en la remoción de A y G para la determinación de la combinación óptima

PRESION	PORCENTAJE DE RECICLO		
	30%	40%	50%
Rangos de eficiencia			
30 psi	23.81 – 36.84%	33.33 – 45.71 %	37.36 – 54.29%
40 psi	12.24 – 47.37%	39.46 – 57.14%	60.00 – 64.77%
50 psi	35.37 – 52.63%	39.46 – 57.14%	65.61 – 72.73%

Se observa que para la combinación 50psi y 50% de volumen de reciclo se obtiene el mayor rango de remoción de A y G (65.61 – 72.73%), mientras que la menor remoción se obtuvo para la combinación 30psi y 30% de reciclo con un rango de 23.81 – 36.84% evidenciando que a mayor presión y volumen de reciclo al que se someta la muestra se obtienen mejores resultados en cuanto a la eficiencia de remoción como lo demuestra en la gráfica 2.

Figura 12.

Remoción promedio de A y G con respecto a la presión y volumen de reciclo

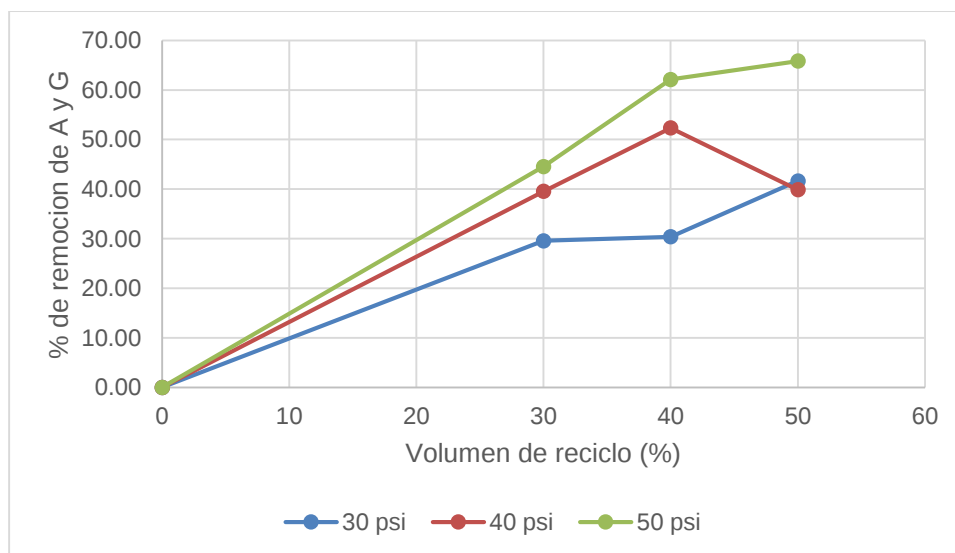


Tabla 9.

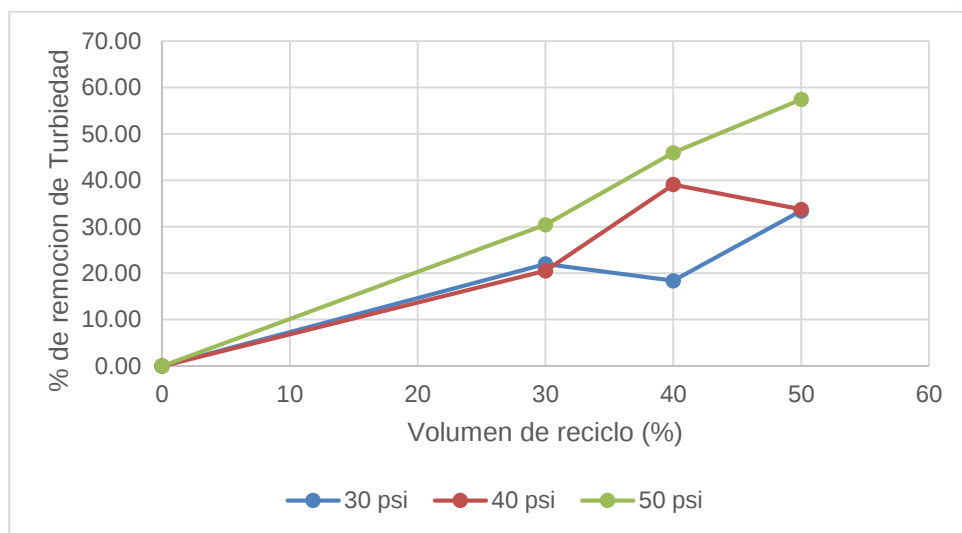
Eficiencia en la remoción de turbiedad para la determinación de la combinación optima

PRESION	PORCENTAJE DE RECICLO		
	30%	40%	50%
Rangos de eficiencia			
30 psi	12.75 – 33.22%	14.71 – 24.29 %	18.63 – 50.08%
40 psi	14.57 – 24.91%	30.69 – 55.56%	34.64 – 57.3%
50 psi	21.08 – 56.39%	20.22 – 52.82%	44.22 – 70.34%

Adicional al parámetro de AyG, también se tuvo en cuenta la remoción de turbiedad para definir la combinación optima con respecto a su remoción. En la tabla 9, se muestran los resultados de estos, en donde la combinación 50 psi y 50% de reciclo presenta el mejor rango de eficiencia entre 44.22 – 70.34%, mientras que la menor remoción se obtuvo en la combinación 30psi y 30% de reciclo con un rango de 12.75 – 33.22, observándose así una relación directamente proporcional con la remoción de AyG, en donde a mayores cantidades de presión y volumen de reciclo mejora su eficiencia como lo muestra la gráfica 3.

Figura 13.

Remoción promedio de turbiedad con respecto a la presión y volumen de reciclo



Con el fin de comprobar la combinación óptima para la remoción de AyG se realizó un diseño experimental teniendo los resultados de cada una de las combinaciones en cuanto al porcentaje de eficiencia de remoción de A y G.

Interacción del factor presión en la remoción de aceites y grasas

En la Tabla 10, se presenta el valor p (0.000) del ANOVA para los porcentajes de eficiencia en la remoción de AyG, el cual nos indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores de eficiencia para este parámetro y las diferentes presiones evaluadas, por ende, se interpreta que la presión sí influye en la eficiencia de remoción de AyG de las aguas residuales, a un nivel de confianza del 95%, con lo cual se rechaza la hipótesis nula planteada inicialmente donde se presupuso que todas las medias eran iguales y es aceptada la hipótesis alterna que indica que no todas las medias son iguales.

Tabla 10

Análisis de varianza % remoción de aceites y grasas con respecto a la presión

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Presión	2	3374	1686,9	14,45	0,000
Error	33	3853	116,7		
Total	35	7226			

Aplicando el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% para determinar en cuál de las presiones implementadas se presenta la mayor remoción de AyG, en la Tabla 11 se determina que existe una diferencia estadísticamente significativa para la media obtenida a partir de una presión de 50 psi, por ende, es correcto afirmar que para esta presión la eficiencia en la remoción de AyG es mayor con respecto a las demás durante el proceso. En la Figura 2, se muestra la gráfica que representa lo anteriormente expuesto.

Tabla 11.

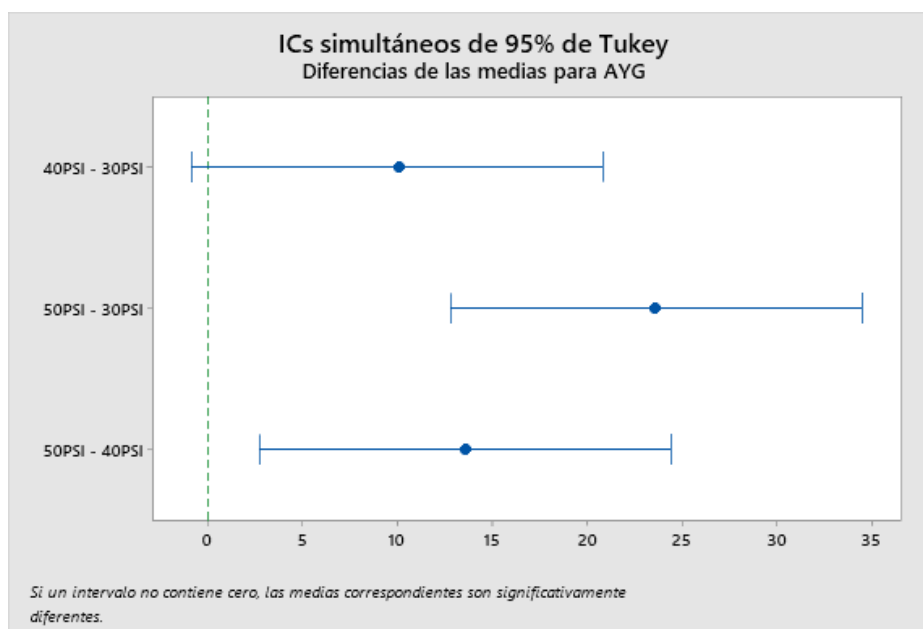
prueba de Tukey para A y G por efecto principal de presión

Presión	N	Media	Agrupación
50PSI	12	57,49	A
40PSI	12	43,92	B
30PSI	12	33,87	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 14.

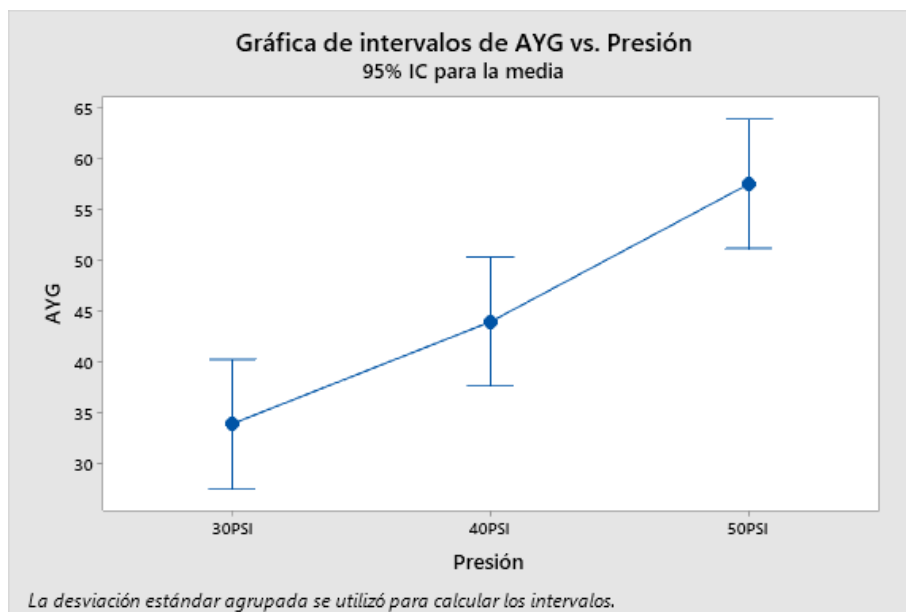
Intervalos de confianza simultáneos de 95% de Tukey



En la Figura 3, se muestran los intervalos de confianza de las medias de cada una de las presiones que se manejaron para los AyG teniendo en cuenta una desviación estándar agrupada de 10.8048 y un intervalo de confianza del 95%, donde se evidencia que la mayor de las medias (% de remoción) corresponde a la presión de 50 psi.

Figura 15.

Gráfica de intervalos de AYG vs. Presión



Interacción del factor reciclo en la remoción de aceites y grasas

Con respecto al factor reciclo, este presenta un valor p de 0.101 del ANOVA para el parámetro de AyG, existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre los valores porcentuales de eficiencia para cada reciclo evaluado, los cuales se pueden evidenciar en la tabla 12, por ende, se interpreta que el volumen de reciclo si influye en la eficiencia de remoción de AyG, a un nivel de confianza del 95%

Tabla 12.

Análisis de varianza % remoción de aceites y grasas con respecto al reciclo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Reciclo	2	937,4	468,7	2,46	0,101
Error	33	6289,0	190,6		
Total	35	7226,4			

Aplicando el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% para determinar en cuál de las presiones implementadas se presenta la mayor remoción de AyG, en la Tabla 13, se determina que no existe una diferencia estadísticamente significativa para las medias obtenidas a partir de los porcentajes de reciclaje implementados, por ende, es válido afirmar que, aunque el factor de reciclaje influye en la remoción de AyG, el porcentaje a utilizar no tiene un papel importante en dicha remoción, es decir, el utilizar un porcentaje de reciclaje de 30%, 40% o 50% darán como resultados valores similares. En la Figura 4, se muestra la gráfica que representa lo anteriormente expuesto.

Tabla 13.

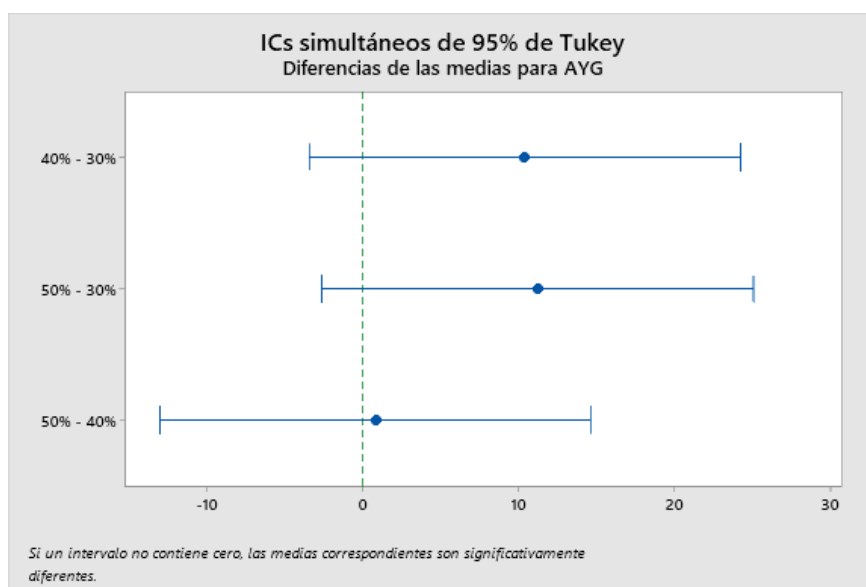
prueba de Tukey para AyG por efecto principal de reciclaje

Reciclaje	N	Media	Agrupación
50%	12	49,11	A
40%	12	48,27	A
30%	12	37,89	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 16.

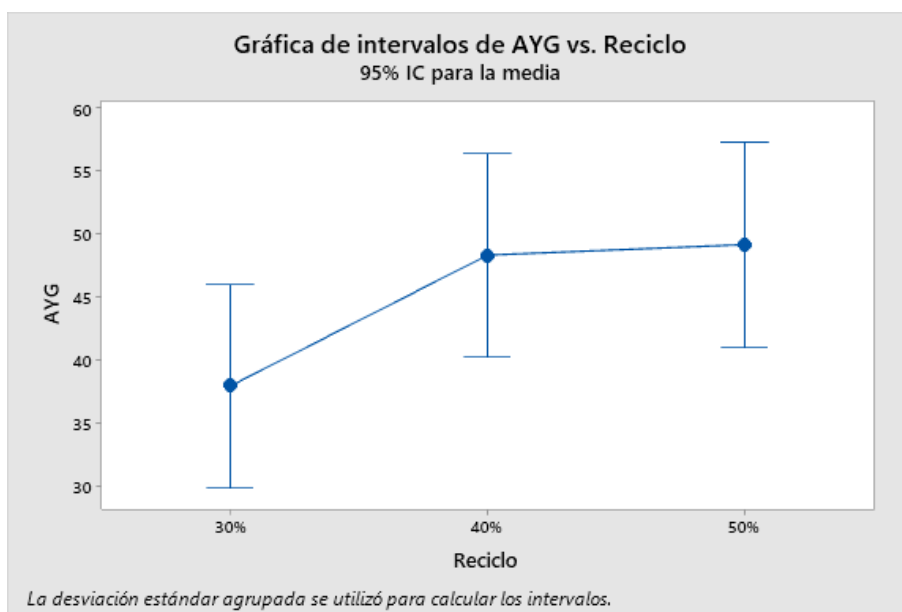
Intervalos de confianza simultáneos de 95% de Tukey



En la Figura 5, se muestran los intervalos de confianza de las medias de cada una de los reciclos que se manejaron para los AyG teniendo en cuenta una desviación estándar agrupada de 10.8048 y un intervalo de confianza del 95%, donde se evidencia que las medias de los reciclos implementados se encuentran con valores similares.

Figura 17.

Gráfica de intervalos de AYG vs. Reciclo



Eficiencia del Sistema Piloto de Flotación por Aire Disuelto (DAF)

Para la combinación óptima de 50psi y 50% (presión y reciclo) que permitieron la mejor remoción de A y G y turbiedad se realizó un triplicado a tres muestras diferentes con el fin de comprobar que los valores en cuanto a la eficiencia de remoción se mantenían constantes y analizar su eficiencia con respecto a la remoción de otros parámetros fisicoquímicos. En la tabla 14 se evidencian los resultados procedentes de dicho proceso.

Tabla 14.

Resultado replicas para una presión de 50psi y 50% de reciclo

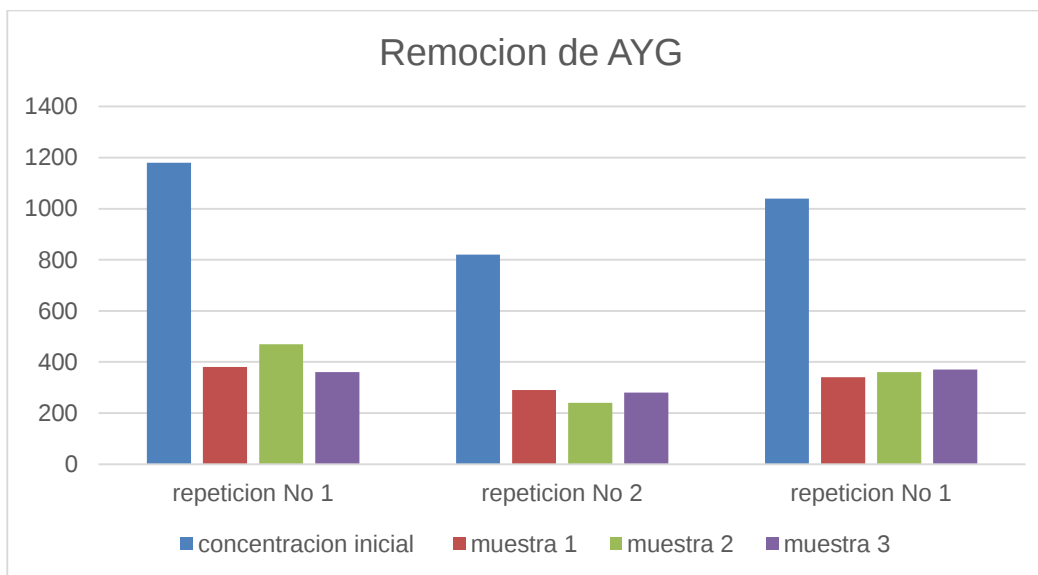
Parámetro	Entada del DAF		Salida del DAF	% eficiencia	Promedio
	Max	Min			
Aceites y grasas	1180 mg/L	820 mg/L	403 mg/L	65.82%	66.20%
			270 mg/L	67.07%	
			357 mg/L	65.71%	
Turbiedad	838 NTU	295 NTU	180 NTU	50,37%	50.46%
			149 NTU	49.38%	
			405 NTU	51,63%	
DQO	6800 mg/L	4100 mg/L	3733.33 mg/L	45.10%	38.11%
			2833.33 mg/L	30.89%	
			3266.66 mg/L	38.36%	
SST	2133,3 mg/L	1000 mg/L	333.3 mg/L	84.38%	74.10%
			333.3 mg/L	66.67%	
			555.6 mg/L	71.26%	
ST	4200 mg/L	3400 mg/L	3377.8	15,56%	22.96%
			2644.4	28,89%	
			1377.8	24,44%	

Eficiencia en la remoción de AYG, combinación óptima

En la figura 6, se presenta cada uno de los resultados obtenidos a partir de las réplicas realizadas, donde se logra comprobar de manera clara la eficiencia de la combinación óptima para la remoción de AYG, manteniéndose así con unos porcentajes de remoción similares.

Figura 18.

Remoción en cuanto a concentración de AYG



Después de la aplicación del tratamiento en dónde las concentraciones iniciales presentaban valores entre 1180mg/L y 820mg/L de AyG, se presentan resultados con valores entre 65% y 68% en remoción de este parámetro, los cuales al compararse con los resultados obtenidos por Amara y Urrego (2016) donde establecieron como combinación óptima una presión de 30 psi y 40% de reciclo y obtuvieron una remoción de 65.1% para una concentración inicial de AyG de 723 mg/L, evidenciándose una similitud en cuanto al porcentaje de remoción observados en la tabla 14, en dónde para una concentración máxima inicial se remueve un promedio de 66.20% de las grasas presentes en el agua residual. Como también lo indica Rojas, Rincón, Díaz, Colina, behling, chacin y Fernández (2008) en su investigación en la que establecen el estudio de todas las combinaciones de presión y reciclo en agua aceitosa en un sistema de flotación (DAF)) donde la combinación óptima es de 40psi y 40% reciclo. Dicha investigación logra estipular la remoción AYG de 90%, con una concentración máxima de AYG de 182mg/L, lo que indica de manera clara la relación directa entre presión y reciclo para lograr una remoción optima del parámetro mientras que en condiciones variables de presión y reciclo la remoción disminuye., dicha condición podría causar el rompimiento de las micro burbujas en el proceso de oxigenación del agua y así

disminuir el porcentaje de eficiencia en la remoción de AyG en aguas residuales provenientes de industrias cárnicas, mientras que Caldera, Gutiérrez, Albarrán, Navarro & Sánchez (2014) realizaron el tratamiento de aguas residuales por medio de un sistema DAF, los cuales obtuvieron una caracterización inicial de 1905mg/L de AYG con una remoción de 45,6% a una presión optima de 50 psi, corroborando la eficiencia del sistema DAF a una presión optima de 50 psi.

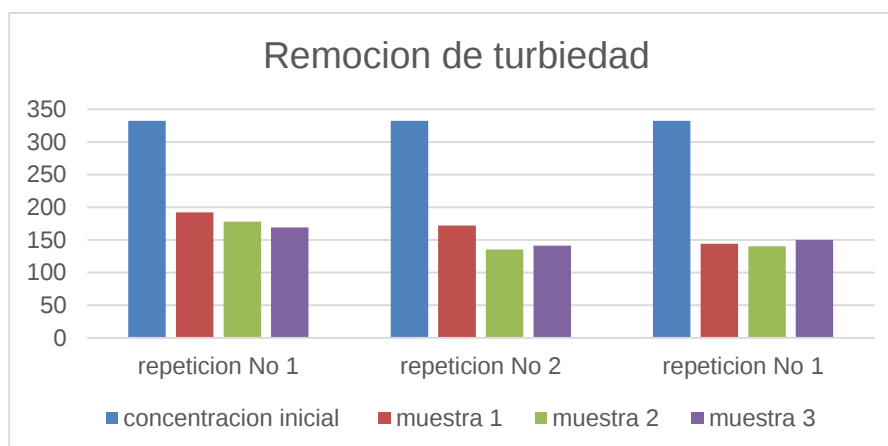
Eficiencia en la remoción de turbiedad. Combinación optima

A partir de los resultados encontrados en cuanto a la eficiencia en la remoción de turbiedad, se alcanzaron valores de remoción desde 49.38% hasta un 51.63% entre los tres muestreos realizados por triplicado, los cuales se encontraban en rangos entre 295NTU y 838NTU. En la investigación realizada por Bolaño (2009) para el tratamiento de aguas residuales provenientes de un matadero de aves a través del sistema DAF en donde obtuvieron una concentración inicial de 848 NTU, lograron obtener una remoción del 96% a partir de una presión optima de 346 kpa (50psi). A partir de esto se puede decir que al mantener una presión de 50 psi en el proceso de tratamiento a aguas residuales provenientes de la industria de sacrificio animal el porcentaje de remoción resultante del parámetro representativo es completamente factible. En la figura 7, se establece las remociones en cuanto a la concentración inicial de las distintas replicas expresando lo dicho anteriormente.



Figura 19.

Remoción en cuanto a concentración de turbiedad



En la investigación realizada por Moursy & Abo El-Ela (1982), los cuales implementaron un sistema DAF para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una refinería de petróleo, a una presión de 54psi lograron una remoción de turbiedad del 94.4%, además logra determinar la eficiencia de dicho sistema para diversos tipos de agua residual a una presión óptima del 50 psi obteniendo resultados satisfactorios en cuanto remoción.

Eficiencia en la remoción de DQO, combinación óptima

A partir de del análisis de la demanda química de oxígeno (DBO) donde se logró determinar el porcentaje de remoción del parámetro por medio de las réplicas realizadas a partir del tratamiento óptimo de 50psi y 50% reciclo, Los cuales se pueden evidenciar en la figura 8.

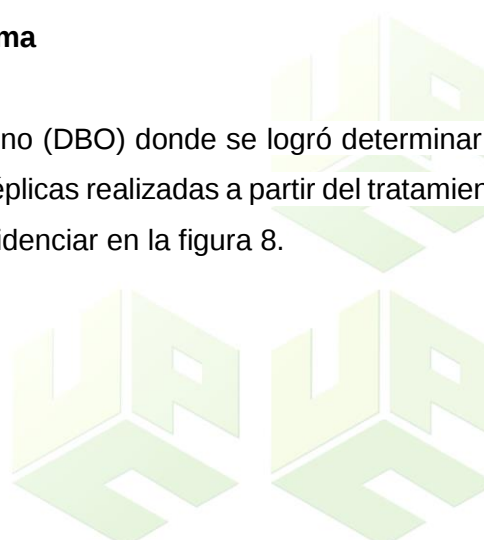
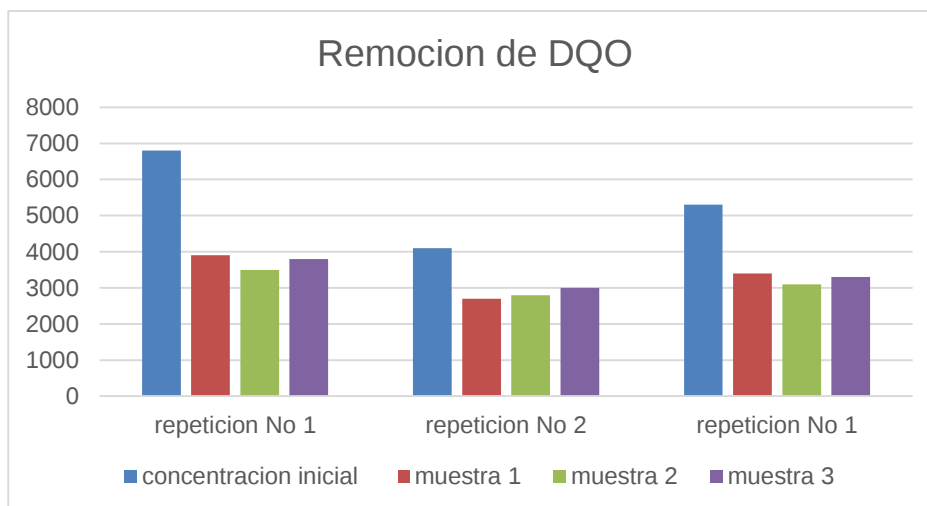


Figura 20.

Remoción en cuanto a concentración de DQO



Para este parámetro, se logró un porcentaje de remoción promedio de 38.11% a partir de unas concentraciones iniciales entre 4100-6500 mg/L, estos concordarían con los resultados encontrados por Salas (2003) para el tratamiento de aguas residuales de bombeo, quien al implementar una presión de 50psi y 50% de volumen de reciclo obtuvo un porcentaje de remoción del 42% (DQO). mientras que Salas & Huamán (2008) con un sistema DAF para un tratamiento de aguas residuales provenientes de un matadero, donde caracterizo una concentración inicial de DQO igual a 4700 mg/L para una recirculación del 50% arrojando un porcentaje de remoción del 42%, lo que nos indica que aunque se encuentre una eficiencia significativa en la remoción de AyG y SST con la condición optima de operación, el sistema DAF tiene una limitada capacidad en remoción para este parámetro siendo menor a un 50%.

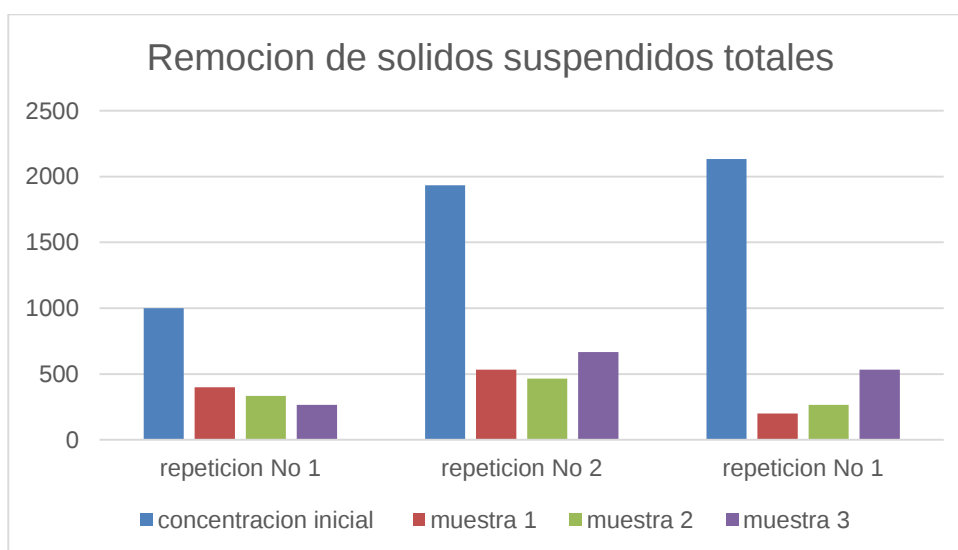
Eficiencia en la remoción de sólidos, combinación óptima

A partir de los resultados obtenidos se observa que la combinación optima logra cumplir una remoción significativa en cuanto a los sólidos suspendidos totales (SST), teniendo un porcentaje de remoción mayor al 60% en cada una de las tres réplicas aplicadas para el tratamiento óptimo (50psi y 50% reciclo). Dicho porcentaje se puede explicar teniendo en cuenta que al oxigenar de

manera óptima las aguas residuales generando microburbujas, debido a su tamaño estas se adhieren a las irregularidades de los sólidos en suspensión y logra una rápida aglutinación (Hernández, 2018). Dichos resultados van acorde con la investigación realizada por Díaz (2018) quien implemento el sistema DAF para aguas oleosas, donde estableció una presión óptima de 58 PSI y una caracterización inicial de SST de 22 mg/l logrando obtener una eficiencia del 86% al reducir la concentración de SST a 3.0 mg/L, evidenciando así que a mayor presión la remoción de SST aumenta, pero se debe tener en cuenta también el volumen de reciclo, ya que si no se mantiene una correcta relación y se excede la presión aplicada durante el tratamiento, podría causar el rompimiento de micro burbujas provocando la agitación de la muestra y la mezcla de los sólidos presentes. Por otro lado, De Turris, et al (2011) desarrollaron un tratamiento de aguas residuales por medio de un sistema (DAF) con diversas combinaciones de presión y reciclo, obtuvieron una remoción del 50% de SST a una presión de 40psi y 40% reciclo. Demostrando que mientras se tenga una estrecha relación entre presión y volumen de reciclo se pueden lograr resultados satisfactorios en cuanto a remoción de este parámetro con vares superiores al 60%

Figura 21.

Remoción en cuanto a concentración de los sólidos SST



Fuente: Autores

A partir de los resultados observados en la correspondiente figura 9 se logra observar la eficiencia en cuanto a remoción de SST de cada una de las réplicas bajo la implementación del sistema (DAF), comprobando de esta manera la teoría establecida por Wang (2005) que establece que el sistema (DAF) es principalmente utilizado para eliminar los SST que se da de forma ascendente al disminuir su densidad aparente.



CONCLUSIONES

Al desarrollar la caracterización inicial del agua residual provenientes de las diversas etapas del matadero Agustín Codazzi, dicho estudio se realizó en la etapa experimental de la metodología, arrojando concentraciones iniciales para los diversos parámetros como: AyG, turbiedad, pH, DQO, ST, SST entre 1180-820 mg/L, 332-273 NTU, 7.41-11.63, 4100-6800 mg/l, 4200-3400 mg/l y 1000-2133 mg/L respectivamente.

Después de realizar de manera practica cada una de la combinaciones entre presión y reciclo a 30psi, 40psi y 50 psi y 30%, 40% y 50% respectivamente con el fin de evaluar cual combinación era más eficiente, se obtuvo que la mejor condición de operación para tratar el efluente generado por el matadero es de 50psi y 50% de reciclo debido a que este obtuvo el mayor porcentaje de remoción en cada uno de los parámetros establecidos en la investigación, demostrando así la factibilidad del sistema de flotación por aire disuelto (DAF) como tratamiento para los efluentes provenientes del matadero.

A partir de la aplicación del diseño experimental se puede comprobar una significancia estadísticamente de los factores de presión y porcentaje de reciclo para la remoción de AyG en las aguas residuales generadas en el matadero municipal Agustín Codazzi. Es decir, ambos factores si influyen en la remoción de dicho parámetro, pero siendo la presión el factor determinante.

En cuanto a remoción de los parámetros fisicoquímicos, se obtuvieron valores satisfactorios en cuanto a la remoción de AyG y solidos suspendidos totales con porcentajes de remoción que oscilaron entre 65-67% y 66-85% respectivamente. Por ende, siendo la remoción el parámetro principal para evaluar la eficacia del sistema, es correcto afirmar que el sistema de frotación por aire disuelto es una alternativa viable como tratamiento de las aguas procedentes de las actividades realizadas en el matadero

RECOMENDACIONES

Se recomienda al matadero municipal Agustín Codazzi la implementación del sistema DAF como alternativa de tratamiento primario para una mayor remoción de AyG y SST y en menor proporción otros parámetros como DQO, turbiedad y ST.

Se recomienda implementar un proceso de filtración del efluente antes de realizar el tratamiento de las aguas residuales con el sistema DAF, esto con el fin de retener los sólidos de gran tamaño para que no interfieran en el proceso, así como también en el correcto funcionamiento de los equipos que lo conforman.

Evaluar la pertinencia del uso de coagulantes químicos o naturales con el fin de mejorar la eficiencia en cuanto a la remoción de los parámetros fisicoquímicos encontrados en esta investigación

Luego de la inyección de presión al tanque de homogenización, se sugiere agitar por un tiempo 3-5 minutos con el fin de lograr una correcta combinación de efluente-aire permitiendo la correcta formación de microburbujas.



9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar Arias, Diana Elizabeth (2014). Diseño de un sistema de flotación por aire disuelto (f.a.d) para mejorar la calidad del agua residual de la industria láctea el ordeño y la corpabe. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8646/3/CD-5816.pdf>

Bailey Alton Edward (1961). Aceites y grasas industriales. España. Editorial reverté S.A. recuperado de <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=npUJEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=grasas&ots=Zfdxdgl-sm&sig=8sUOrAaOt5ro9cT2KH09-txMJak>

Becerra, L & Diaz, J. (2014). Diseño de un sistema de tratamiento para los vertimientos generados en la “planta de sacrificio de ganado de oriente” del municipio de choachí (Cundinamarca), Universidad libre, Bogota DC, Colombia. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11230?show=full>

Bolaño Ennis, Alberto Mario (2009). sistema de flotación por aire disuelto para el tratamiento de aguas residuales industriales. Recuperado de https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/1918/Bola%F1oAlberto_2009_SistemaFlotacionAire.pdf;jsessionid=ADB1CFA806E65E4DE654CB434AC09EBD?sequence=1

Caldera Yaxcelys, Sánchez Mayra & Gutiérrez Edixon (2019). Flotación por aire disuelto con coagulante policloruro de aluminio para aguas residuales de industrias avícolas. Revista boliviana de ingeniería. Recuperado de <https://revistarebi.org/index.php/rebi/article/view/192/567>

Caldera Yaxcelys, Navarro Pedro, Albarrán Henyuri Sánchez Mayra & Gutiérrez Edixon (2014). Qitosano como coagulante en un sistema de flotación durante el tratamiento de aguas residuales de un matadero de aves, Unicersidad del Zulia, Zulia, Venezuela.

Cano, A. (2015). Evaluación de un tratamiento de floculación-flotación para el agua residual generada en el procesamiento de subproductos avícolas, Universidad libre, Bogotá, Colombia.

Contraloría general del departamento del cesar. (2019). Informe definitivo de auditoria modalidad regular. Recuperado de

<http://www.contraloriacesar.gov.co/web/index.php/component/jdownloads/send/95-informes-definitivos-2019/1523-informe-definitivo-auditoria-regular-alcaldia-agustin-codazzi-vigencia-2017-2018>

Chaux, G, Rojas, G, & Bolaños, Lina. (2009). Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades, Universidad del Cauca, Cauca, Colombia. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a12.pdf>

Contraloría general del departamento del cesar. (2018). Informe final de auditoria modalidad regular. Recuperado de

<http://www.contraloriacesar.gov.co/web/index.php/component/jdownloads/send/86-informe-definitivo-2018/1186-informe-definitivo-de-auditoria-regular-emcodazzi-vigencia-2016-2017>

Crites R., Tchbanoglous G., (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Editorial McGrawHill

De Turris, Antonio, & Yabroudi, Suher Carolina, & Valbuena, Brenyith, & Gutiérrez, Charles, & Cárdenas, Carmen, & Herrera, Lenin, & Rojas, Carlos (2011). Tratamiento de aguas de producción por flotación con aire disuelto. *Interciencia*, 36(3),211-218. [fecha de Consulta 21 de febrero de 2021]. ISSN: 0378-1844. Recuperado en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339/33917977009>

Díaz-Díaz, Miguel Angel, Rivas-Trasancos, Lester, Fernández-Rangel, Ditter, Salazar-Alemán, Daylén, & Miller-Palmer, Sandra. (2018). Oily wastewater treatment by dissolved air floatation. *Tecnología Química*, 38(2), 256-270. Recuperado en 31 de agosto de 2022, de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200005&lng=es&tlng=en.

Echeverri-Londoño C. A. (2016). Remoción de aceite emulsionado en aguas residuales mediante flotación en aire disuelto. Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia, (12-13), 52-60. Recuperado de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/325622>

iAgua (s.f), ¿Qué son las aguas residuales?. Recuperado de <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>

Gorvenia, H. (2006). Proyecto del circuito de flotación flash en mejora de la recuperación de oro grueso. Universidad nacional de ingeniería, facultad de ingeniería geológica minera y metalúrgica, Lima, Perú.

Hernandez, C. (2019). Efectos de Micro y Nano Burbujas en Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas: El caso de Pasca, Cundinamarca, Universidad de Cundinamarca, Bogotá DC, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2334/HernandezCarlos2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Herrera R. (2003). Recent developments and advances in formulations and applications of chemical reagents used in froth flotation. Mineral Processing & Extractive Metall. Vol. 24, pp.139-182.

Jiménez Y. Diseño de un separador de sólidos por flotación con aire disuelto (DAF) con fines didácticos y de investigación. XXII Congreso Panamericano COPIMERA 2009. Confederación Panamericana de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Industrial y Ramas Afines (COPIMERA) 2009. Monterrey, Nuevo León, México. Noviembre, 2009. 31 p

Mendez, N. (2008). Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto, universidad autónoma de Yucatán, Merida, Mexico.

Metcalf, Eddy, (1988). Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 7ª edición. Ed Labor S.A., España.

MÁRQUEZ, A.; GUEVARA, E. (2004). Descripción y evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola. En: Revista Ingeniería UC, Vol. 11 N° 2: 92-101

Moursy, A. S., & Abo El-Ela, S. E. (1982). Treatment of oily refinery wastes using a dissolved air flotation process. Environment International, 7(4), 267–270. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(82\)90116-7](https://doi.org/10.1016/0160-4120(82)90116-7)

Muñoz, D. (2005). Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: para una población menor 2000 habitantes, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

Pérez, F., & Camacho, K. (2011). Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas. Tesis, Universidad Veracruzana, Facultad de ciencias químicas, Tuxpan, México.

Pit Box Blog. (07 de 12 de 2009). Materia orgánica y materia inorgánica. Recuperado el 5 de octubre de 2015, de <https://pitbox.wordpress.com/2009/12/07/materia-organica-y-materia-inorganica/comment-page-7/>

PNUD (2015). Perfil productivo municipio Agustín Codazzi. Recuperado de https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil_productivo_codazzi

Rich L. G., (1963). Operaciones Unitarias de Ingeniería Sanitaria. Editorial Compañía Editorial Continental.

Rieras, M., & Graterol, N. (2015). Diseño de una unidad de flotación con aire disuelto para la remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas en una empresa manufacturera, Universidad de Yacambu, Lara, Venezuela.

Rojas, Carlos, Rincón, Nancy, Díaz, Altamira, Colina, Gilberto, Behling, Elisabeth, Chacín, Elsa, & Fernández, Nola. (2008). Evaluación de una unidad de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas aceitosas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 31(1), 50-57. Recuperado el 22 de febrero de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000100007&lng=es&tlng=es.

Rojas, R., (2002, septiembre) Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Conferencia presentada en Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Panamá. Recuperado de https://www.academia.edu/download/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR.pdf

ROJAS, Carlos et al. Evaluación de una unidad de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas aceitosas. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia* [online]. 2008, vol.31, n.1, pp.50-57. ISSN 0254-0770.

Romero, E., & Hammeken, A. (2005). Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula. Cholula, Puebla, México.

Santander M., Souza L., Rubio J., (2001). Flotación como proceso de remoción de contaminantes. III. Nuevas técnicas y equipos. Depto. Ingeniería de Minas, Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Salas Colotta, G. (2003). PROCESO DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE BOMBEO EN LA INDUSTRIA DE HARINA DE PESCADO. *Revista Peruana De Química E Ingeniería Química*, 6(1), 60–68. Recuperado a partir de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4494>

Salas C., G., & Condorhuamán C., C. (2008). TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UN CENTRO DE BENEFICIO O MATADERO DE GANADO. *Revista Peruana De Química E Ingeniería Química*, 11(1), 29–35. Recuperado a partir de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4885>

Salas Colotta, G. (2004). DISEÑO DE UN FLOTADOR POR AIRE DISUELTO (DAF) EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE UNA TEXTIL. *Revista Peruana De Química E Ingeniería Química*, 7(1), 36–39. Recuperado a partir de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4665>

SEMARNAT, (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación

Siqueira, M. (2021). Diseño de una planta de flotación para la obtención de mica, Universidad de Jamue I, Castello, España.

Toapanta Vera, María Isabel (s.f). Grasas y Aceites. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/8/GRASASYACEITES.pdf>

Tavares, Rem (2017). Problemática de las aguas residuales de la industria alimentaria. Recuperado de <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2017/07/13/133242>

Wang, L. K., Fahey, E. M., & Wu, Z. (2005). Dissolved Air Flotation. In Consult Eng (London) (Vol. 43, Issue 4, pp. 431–500). https://doi.org/10.1142/9781848160798_0012