



Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola

Práctica Empresarial

Anny Katherine Hernández Galvis
CC. 1005210089

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS
TECNOLOGIA EN MANEJO DE RECURSOS AMBIENTALES
BUCARAMANGA 27/02/2024**



Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola

Práctica Empresarial

Anny Katherine Hernández Galvis
CC. 1005210089

Informe de práctica para optar al título de
Tecnóloga en Manejo de Recursos Ambientales

DIRECTOR

Andres Felipe Murcia Patiño, Ing. Ambiental, *MSc*

Silvia Natalia Vanegas

Cargo del delegado: Analista Laboratorio de Aguas

Grupo de Investigación en Ingeniería Verde – GRIIV

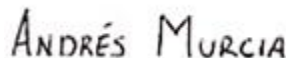
UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
TECNOLOGIA EN MANEJO DE RECURSOS AMBIENTALES
BUCARAMANGA, 27/02/2023

Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos
exigidos por las Unidades Tecnológicas de
Santander para optar por el título de
Tecnólogo en Manejo de Recursos
Ambientales según el acta del
Comité de trabajos de grado número 4 del
28 de febrero de 2023



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

A Dios ante todo, por permitirme llegar a este punto

A mis padres por su apoyo y por el gran esfuerzo que hacen cada día por sacarme adelante

A toda mi familia por motivarme, aconsejarme y ayudarme durante todo este proceso

A la empresa que me dio la oportunidad y me abrió sus puertas

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mis padres Hilda Galvis y Gerardo Hernández, los cuales se han esforzado grandemente por brindarme todo lo que necesito y hasta más, todo lo que soy y lo que logre ser va ser por su trabajo incansable. Agradezco a toda mi familia y amigos que me ayudaron en los momentos en los que necesité algo, siempre estuvieron presentes y dispuestos a brindarme su apoyo, me alentaron, me cuidaron y me dieron su colaboración para poder llegar hasta este punto.

Doy gracias a la empresa que me permitió aprender en seis meses cosas que voy a guardar para toda la vida, a los operarios de la PTAR que me dieron de su tiempo y colaboración para poder aprender sobre el proceso de la planta, a mis jefes Natalia Vanegas y Marcela Alfonso por la confianza, enseñanza y cariño brindado. Por último, pero no menos importante, agradezco a mi director de proyecto Andrés Felipe Murcia Patiño por el seguimiento y orientación en la realización de este proyecto

TABLA DE CONTENIDO

<u>INTRODUCCIÓN</u>	11
<u>1. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA O COMUNIDAD</u>	12
<u>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	13
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	13
2.2. JUSTIFICACIÓN DE LA PRÁCTICA	13
2.3. OBJETIVOS	14
2.3.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2.4. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	15
<u>3. MARCO REFERENCIAL</u>	17
3.1. MARCO TEÓRICO	17
3.2. MARCO GEOGRÁFICO	25
3.3. MARCO LEGAL	25
3.4. MARCO AMBIENTAL	26
<u>4. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA</u>	28
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA PTAR.....	28
4.2. TOMA DE MUESTRAS Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS	28
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	30
<u>5. RESULTADOS</u>	30
5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA PTAR.....	30
5.2. TOMA DE MUESTRAS Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS	49
5.2.1. PROCEDIMIENTOS.....	51
5.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59
<u>6. CONSIDERACIONES ÉTICAS</u>	71
<u>7. CONCLUSIONES</u>	72
<u>8. RECOMENDACIONES</u>	73

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 . Ubicacion industria avicola	25
Figura 2 . Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	28
Figura 3 . Muestras Afluente- Efluente respectivamente	29
Figura 4 . Montaje métodos	29
Figura 5 . PTAR.....	31
Figura 6 . Tanques de almacenamiento agua residual	31
Figura 7 . Bomba y tubería que envía agua al tanque y sistemas GEM	32
Figura 8 . Division tuberia.....	33
Figura 9 . Bomba encargada de inyectar clarex al agua residual	33
Figura 10 . Test de HARRAS.....	34
Figura 11 . Cambios presentes en el agua	36
Figura 12 . Comparación estado del agua.....	37
Figura 13 . Divisio de la tuberia Línea A- Línea B.....	37
Figura 14 . Línea A- Línea B	38
Figura 15 . Entrada Sistema GEM.....	38
Figura 16 . Estructura externa Sistema GEM	39
Figura 17 . Cabezales LSGM	39
Figura 18 . Cartuchos (Interior del cabezal).....	40
Figura 19 . Tanques de almacenamiento de polímeros	40
Figura 20 . Capa de lodos celda de flotación.....	41
Figura 21 . Tolva lodo; separación lodo-agua.....	42
Figura 22 . Salida del agua para alcantarillado.....	42
Figura 23 . Tanque de calentamiento	43
Figura 24 . Panel de control	44
Figura 25 . Tridecanter	44
Figura 26 . Estructura interna del tornillo sinfín.....	45
Figura 28 . Boquillas de Salida- lodo	45
Figura 27 . Caida y almacenamiento	45
Figura 29 . Boquillas salida aceite	46
Figura 30 . Boquilla salida agua	46
Figura 31 . Ductos salidas subproductos.....	47
Figura 32 . Almacenamiento agua para reproceso	47
Figura 33 . Tanque preenfriamiento	48
Figura 34 . Tanque almacenamiento	48
Figura 35 . Tanques almacenamiento PTAR.....	49
Figura 36 . Llave para toma de muestra afluente	50
Figura 37 . Toma de muestre efluente.....	50
Figura 38 . Kit DQO- Espectofotómetro	52
Figura 39 . Determinación pH.....	52
Figura 40 . Lectura de sólidos en equipo.....	53
Figura 41 . Celdas 40 mm	53
Figura 42 . Tensioactivos aniónicos	53

F-DC-128

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO
EN MODALIDAD DE PRÁCTICA

VERSIÓN: 2.0

Figura 43 . Kit Fosfatos	55
Figura 44 . Kit Fósforo total	56
Figura 45 . Reactivo NO3-1; NO3-2	56
Figura 46 . Montaje Nitritos	57
Figura 47 . Montaje Cloruros	58
Figura 48 . Kit Sulfatos	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 . Datos base cálculo de dosificación.....	35
Tabla 2 . Organización toma de muestras	49
Tabla 3 . Resultados obtenidos primera etapa de la primera semana	60
Tabla 4 . Resultados obtenidos segunda etapa de la primera semana	61
Tabla 5 . Resultados obtenidos tercera etapa de la primera semana	61
Tabla 6. Resultados obtenidos primera etapa de la segunda semana	62
Tabla 7 . Resultados obtenidos segunda etapa de la segunda semana.....	63
Tabla 8 . Resultados obtenidos tercera etapa de la segunda semana	63

INTRODUCCIÓN

La industria avícola cuenta con una cadena productiva constituida por varias fases o eslabones como alimento, engorde y beneficio; cada una con procesos que responden a necesidades particulares (Caldera, Gutiérrez, Luengo, Chávez & Ruesga, 2010). Durante cada uno de estos procesos es utilizada el agua y los consumos de este tipo de industrias así mismo como sus residuos terminan siendo grandes cantidades.

Actualmente Colombia solo trata de manera adecuada el 60,4% de sus aguas residuales, lo que genera un impacto ambiental muy grande y un desafío en la sostenibilidad (Ramírez, 2023).

Esta industria avícola comprometida con el medio ambiente y la sostenibilidad trata de reducir los impactos que genera su actividad económica y es por esto que nace la necesidad de poner en funcionamiento una PTAR que le brinde al agua utilizada en sus procesos un adecuado tratamiento para poder ser descargada al alcantarillado en las condiciones establecidas en la Resolución 0631 de 2015. Es por esto consolidada en 2010 la PTAR en la planta de beneficio de esta industria avícola a la que le otorga en 2015 el Área Metropolitana de Bucaramanga el permiso de vertimientos para la descarga de las aguas residuales no domésticas al alcantarillado.

La PTAR proporciona al agua residual un tratamiento primario que consiste en la coagulación y floculación en el sistema GEM, del cual resulta agua tratada y lodos. El agua tratada va directamente al alcantarillado y el lodo va al tridecanter para poder obtener de este aceite, agua y lodo.

Se busca con este proyecto poder evaluar la eficiencia de la PTAR e identificar cuales desventajas ofrece el sistema actualmente utilizado para el tratamiento de agua.

1. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA O COMUNIDAD

Nace en 1969 AVSA S.A. una empresa avícola colombiana reconocida la cual inicialmente se dedicaba a la distribución de alimentos concentrados para todo tipo de animales y actualmente se dedica a la producción, procesamiento y distribución de carne de pollo (Ardila, 2021).

A través de los años la empresa ha sabido mantenerse en el mercado competitivo implementando nuevas estrategias y esto le ha permitido convertirse en una de las cien empresas más exitosas y prosperas del país (Economía, 2023).

Actualmente en el departamento de Santander cuenta con la Planta de Harinas, Planta de Alimentos, Planta de Incubación, Planta de Frigoandes y la Planta de Beneficio y Desprese.

Al pasar de los años se ha ido incrementando la variedad de sus productos y con esto cumplir su misión la cual es poder satisfacer las necesidades nutricionales de la población, siempre ofreciendo la mejor calidad, servicio, variedad, innovación y precio accesible, de manera eficiente y rentable, comprometidos con el bienestar, el desarrollo de su gente, la comunidad, y esto sin dejar a un lado el medio ambiente, la salud, el bienestar animal, todo esto de manera sostenible (Mac Pollo, 2022).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción de la Problemática

En la planta de beneficio de esta industria avícola se genera agua con altas cargas contaminantes durante el desarrollo de su actividad económica, la cual, por sus características, debe ser tratada previamente para poder ser vertida al alcantarillado (Gutiérrez, 2019).

El agua utilizada en las áreas limpias de la planta de beneficio en donde es manipulado el pollo, aguas resultantes del proceso de lavado de estas mismas áreas y las provenientes del laboratorio de aguas van a la planta de tratamiento de aguas residuales. La PTAR recibe 68 metros cúbicos de agua por hora y esta lleva, principalmente, una alta carga orgánica.

El agua llega a los tanques de almacenamiento y de ahí pasa al sistema GEM, el cual da como resultado dos productos: el agua tratada y el lodo (Gutiérrez, 2019). Suponiendo en este punto que el agua cuenta con las condiciones que la consideran apta, es descargada al alcantarillado.

La Resolución 0631 de 2015 establece los límites máximos permisibles de parámetros con los cuales debe cumplir el agua antes de ser descargada, de lo contrario el incumplimiento a la normativa desencadenaría problemas legales contra la empresa debido al riesgo de contaminación que representa el agua sin un adecuado tratamiento (Secretaría de Ambiente, 2019).

2.2. Justificación de la Práctica

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible por medio de la Resolución 0631 de 2015 ejerce control sobre las sustancias contaminantes producto del desarrollo de actividades industriales, comerciales o de servicios que llegan a los cuerpos de agua o al alcantarillado público. El seguimiento por parte de las autoridades

ambientales se hace mediante el monitoreo de la concentración de las sustancias que son descargadas por estas empresas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Es necesario poder evaluar y corroborar si la planta está realizando de manera eficiente el tratamiento en el agua proveniente del proceso de la empresa, de esta manera se puede evitar futuros problemas legales con las autoridades ambientales competentes, debido a que el incumplimiento de la norma puede acarrear sanciones ambientales y además evitar algún tipo de afectación al medio ambiente por estos vertimientos. Esta evaluación puede ayudar a mejorar el sistema en caso de que sea necesario, identificar puntos débiles de la planta, ayudar a optimizar los procesos y poder obtener los mejores resultados posibles.

Para esto se va realizar una caracterización de las condiciones de afluente y efluente durante el proceso de tratamiento para evidenciar de manera directa las condiciones de entrada y salida del agua, identificar si el sistema de tratamiento logra mejorar en gran manera la calidad del agua y se revisará de igual forma los informes de análisis fisicoquímicos anteriormente realizados y presentados a la autoridad ambiental.

2.3. Objetivos

2.3.1 Objetivo General

- Evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales en una empresa avícola

2.3.2. *Objetivos Específicos*

- * Caracterizar el proceso de tratamiento de aguas residuales de una empresa avícola

- * Analizar parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente durante el proceso de tratamiento
- * Determinar la eficiencia del proceso de tratamiento de aguas residuales de la empresa

2.4. Antecedentes de la Empresa

En los inicios de la empresa la producción avícola en el país era una industria naciente, se consideraba una actividad marginal y complementaria con una escasa o casi nula tecnificación de procesos (Carreño, 2009).

Sus orígenes se remontan a esa época con una pequeña planta de alimentos que con la llegada de purina de los Estados Unidos se transformó en Distribuidora Cosandi Ltda, operando como distribuidor en la zona, en donde impulso la producción de huevo comercial y las primeras producciones de pollo. En marzo de 1969 se constituye la sociedad comercial Avidesa Ltda., siendo Distribuidora Cosandi Ltda su principal socio, como distribuidora de alimentos concentrados para todo tipo de animales. Algunos años más tarde, Avidesa Ltda. inicia una producción incipiente de pollo de engorde con un proceso artesanal que después se industrializa en una planta de proceso (Mac pollo, 2014).

Actualmente llamada AVSA S.A., constituye su Planta de Beneficio de Aves de Corral en Floridablanca, la cual tiene capacidad de proceso de aproximadamente 160.000 aves por día (Mesa et al., 2019). Esta fue la primera empresa en Santander en lograr la certificación HACCP bajo el decreto 1500 de 2007. El sistema HACCP es un instrumento con reconocimiento mundial que ofrece un control de calidad óptimo, y asegura un nivel apropiado de protección a la salud y la vida de los consumidores (Mac pollo, 2022).

Al ser una empresa comprometida con el medio ambiente y el desarrollo de una manera sostenible, consolida en 2010 la PTAR con el fin de que pueda darse al agua el tratamiento que esta requiere para ser descargada en las mejores condiciones.

La PTAR permite el máximo aprovechamiento de los residuos que a ella llegan, pues, del proceso de tratamiento de agua resultan dos productos: agua tratada y lodo. Ahora, el lodo pasa por otras etapas de la cual se obtienen los siguientes subproductos: lodo seco que va a la Planta de Harinas, aceite que es vendido y agua que va a reproceso.

Es también fundado el laboratorio de aguas de la Planta de Beneficio de Mac Pollo a finales de 2006 y principio de 2007 ante la necesidad de hacer un seguimiento y monitoreo de las aguas utilizadas durante el proceso de beneficio de las aves, supervisando que cumplan con las condiciones estipuladas en la norma.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. MARCO TEÓRICO

Para poder comprender a cabalidad lo expuesto en este proyecto, se presentarán a continuación algunos conceptos que ayudarán a comprender el contenido del documento.

Aguas residuales: Las aguas residuales, conocidas también como, aguas servidas, son aquellas cuya calidad fue afectada de manera negativa por la influencia de las actividades humanas y es por esto que estas aguas contienen elementos contaminantes producto de actividades de tipo doméstica, industrial, pecuaria, agrícola, recreativa, entre otras, las cuales pueden contener grasas, detergentes, materia orgánica, residuos industriales, sustancias tóxicas, entre otros contaminantes (SAGUAPAC, 2022).

Tipos de aguas residuales

Aguas Residuales Domesticas (ARD): Son aquellas procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se llevan a cabo actividades industriales, comerciales o de servicios y que corresponden a:

1. Descargas de los retretes y servicios sanitarios
2. Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (no se incluyen las de los servicios de lavandería industrial)

Aguas Residuales no Domesticas (ARnD): Son las que provienen de las actividades industriales, comerciales o de servicio distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022). De las aguas residuales más comunes que se encuentran en esta clasificación son:

1. **Aguas residuales industriales:** Son producto de las actividades del sector secundario de la economía. En esta categoría también se incluye el agua que es desechada por fábricas, plantas de producción energética o cualquier otra actividad que involucre la fabricación de productos consumibles o productos manufacturados. Este tipo de agua tiene como característica que contienen niveles elevados de químicos sintetizados y metales pesados (Ferrovial, 2022).
2. **Aguas residuales de la agricultura y ganadería:** Aquellas que provienen del sector primario de la economía. Se producen en gran parte por la ganadería, especialmente por la ganadería intensiva. En el caso de la agricultura, el mantenimiento de cultivos y actividades destinadas al tratamiento de ciertos productos agrícolas, demandan una considerable cantidad de agua que termina convirtiéndose en un residuo.

La principal característica de estas aguas es que contienen niveles elevados de contaminantes derivados de productos químicos utilizados en la cría de ganado, heces fecales y orina (Ferrovial, 2022). Así como productos utilizados en los cultivos para potenciarlos, evitar plagas, aportar nutrientes a los suelos, etc.

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): Hace referencia a una instalación, un espacio físico, equipado y cuyo objetivo es aplicar procesos

químicos, físicos y biológicos con el fin de eliminar contaminantes presentes en el agua residual (GC Tratamiento, 2023).

Afluente: Agua residual u otro líquido que ingresa a un reservorio, o algún proceso de tratamiento (Sánchez, 2019).

Análisis fisicoquímico del agua: Son aquellas pruebas realizadas a una muestra en un laboratorio con el fin de determinar sus características físicas, químicas o ambas (Sánchez, 2019).

Cloruro: El ion cloruro es uno de los iones inorgánicos que se pueden encontrar en gran cantidad en aguas naturales, residuales no tratadas y tratadas, y también en aguas potables ya que en estas aguas su presencia es necesaria ya que es utilizado como desinfectante. Los altos niveles de cloruros pueden provocar daños en estructuras metálicas, provocar afectaciones en la calidad del suelo y evitar el crecimiento de las plantas, dañar campos agrícolas, entre otras (Gil, 2022).

Coagulante: Es aquella sustancia química utilizada en el tratamiento del agua para eliminar los sólidos suspendidos. Por lo general son utilizados coagulantes orgánicos, inorgánicos o una combinación de ambos para el tratamiento de agua y son utilizados en la coagulación (ChemTreat, Inc., 2023).

Coagulación: Hace referencia a la desestabilización de partículas coloidales provocada por la adición de un reactivo químico llamado coagulante. Se le añade al agua coagulantes con cargas opuestas a las de los sólidos en suspensión, lo que provoca que se neutralicen las cargas negativas de los sólidos dispersos no sedimentables (Acura, 2023).

Dilución: Es el procedimiento que se sigue para preparar una disolución menos concentrada a partir de una más concentrada, y consiste básicamente en añadir más solvente (6.4. Dilución | Química general, s. f.).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida y es utilizado para medir el grado de contaminación (HANNA Instrumentos Colombia, s.f.)

Efluente: El efluente es la salida de agua desde un cuerpo de agua o una estructura fabricada por el ser humano. En el contexto de las plantas de tratamiento de aguas residuales, el efluente corresponde a la salida de agua desde una instalación en la cual se le ha aplicado un proceso al agua para poder mejorar su calidad (Franchi & Asociados, 2019)

Floculante: Son adicionados al agua con el fin de que se junten las partículas desestabilizadas, se aglomeren y caigan de la solución. Estas sustancias son utilizadas para fomentar el proceso de creación de flóculos (ChemTreat, Inc., 2023).

Flóculo: Es un conglomerado de partículas sólidas los cuales se generan a través de los procesos de coagulación y floculación. Se constituye principalmente por sólidos que se separan del agua, así como también por sólidos que aporta el coagulante e incluso en procesos de flotación con aire se presenta la incorporación de microburbujas en el floc (Gil, 2021).

Floculación: En términos de tratamiento de agua, la floculación es el proceso por el cual se añade una sustancia al agua para que las partículas más pequeñas se unen para formar masas más grandes llamadas flóculos (ChemTreat, Inc., 2023).

Fósforo total: El fósforo total es la suma de todas las formas de fósforo que existen: Ortofosfatos o fosfatos, fosfatos condensados y fósforo orgánico. El fósforo orgánico se suele encontrar en forma de fosfatos contenidos en el interior o unidos a un compuesto orgánico (Hach, s.f.).

Muestra de agua: Es una pequeña cantidad de agua, la cual es tomada de un ambiente (rio, planta industrial, lago, etc) en un momento y un lugar determinado. Esta se toma con el objetivo de realizarle análisis que ayuden a identificar características o calidad de la misma (Alcora, 2021).

Muestra puntual: Es una muestra que se recoge manualmente. Se toma cuando el operador necesita conocer un dato del proceso inmediatamente después de la toma de muestra (Untitled, s.f.).

Nitrato: El nitrato es el que representa un estado de mayor oxidación del nitrógeno. Las bacterias autótrofas son las que convierten el amoníaco en nitrito y luego en nitrato en condiciones aerobias. Los nitratos provocan la degradación de los sistemas que mantienen la eliminación biológica del fósforo al enturbiar las condiciones de las zonas anaeróbicas. Los efluentes ricos en nitratos pueden degradar la calidad del agua en las fuentes receptoras al fomentar el crecimiento excesivo de algas (Hach, s.f.).

Nitrito: Se presenta como una etapa intermedia en la descomposición biológica del amoníaco/ amonio. El ion de nitrato, compuesto de oxígeno y nitrógeno, se puede encontrar de manera natural en el suelo. Como los nitritos se oxidan fácilmente en nitratos, no se suelen encontrar en las aguas superficiales. Los nitritos se suelen usar como inhibidores de corrosión en el agua de procesos industriales y en torres de refrigeración y también es común encontrarlos en la industria alimentaria como conservante. La eficiencia del sistema de desinfección con cloro se reduce por la presencia de nitritos (Hach, s.f.).

Ortofosfatos: El ortofosfato, el cual es uno de los fosfatos más comunes, está formado por un átomo de fósforo unido a cuatro átomos de oxígeno. En ocasiones, el ortofosfato es denominado “fósforo reactivo”, ya que se une fácilmente con otros elementos y compuestos deficientes de electrones (Hach, s. f.-b).

pH: Es una medida de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en una solución acuosa, esto indicará qué tan ácida o alcalina es la solución. En el tratamiento de aguas residuales, es necesario controlar los niveles de pH a fin de garantizar unas condiciones óptimas para conseguir las reacciones químicas o microbianas oportunas y que el proceso funcione de manera eficiente (iagua, 2021).

Polímero catiónico: Este polímero iónico se utiliza en el tratamiento de aguas residuales y en procesos de clarificación y sedimentación. Los floculantes catiónicos están formados por macromoléculas con grupos cargados positivamente, esto les permite interactuar electrostáticamente con las partículas presentes en el agua que están cargadas negativamente y así aglomerarse en partículas finas y coloidales para formar flóculos que facilita la separación del agua (Velchemicals, 2023).

Polímero aniónico: Son macromoléculas cargadas negativamente en su estructura molecular. Estos polímeros son utilizados como coagulantes o floculantes en el tratamiento de agua debido a sus propiedades (Química Andina, 2023).

Prueba de Aforo Volumétrico: Esta prueba consiste en recoger en un tiempo específico, una cantidad de material que se está aforando o recoger un volumen específico midiendo el tiempo invertido en la recolección de este (Sánchez, s.f.).

PTAR: Conjunto de obras, instalaciones y procesos químicos, físicos y biológicos que tienen como objetivo eliminar los contaminantes presentes en el agua residual (GCTratamiento, 2023).

Sistema GEM: Sistema de tratamiento primario de aguas residuales el cual busca la eliminación de SST (sólidos suspendidos totales), grasas, aceites y materiales no disueltos (Clean Water Technology, 2023).

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Son materiales que, habitualmente, se encuentran en el seno de las aguas, tanto naturales como industriales. La presencia de sólidos suspendidos en las aguas residuales es causa de atascamiento y deterioro de las instalaciones por donde circula el efluente. Cuando son de naturaleza orgánica son también focos de fermentaciones y posibles infecciones (Fabregas, 2023).

Sulfatos: Son compuestos que se encuentran presentes en el agua de forma natural, debido al lavado y la disolución parcial de materiales del terreno por el que discurre como por formaciones rocosas, compuestas de yeso principalmente y suelos sulfatados (acqua tecnología, 2017).

Test de jarras: Esta es una prueba que se realiza en muestras de agua cruda, se toma directamente de la fuente de agua que se quiera tratar, se homogeniza y se separa en cuatro vasos de un volumen considerable, lo normal es que los vasos sean de un litro y a estos vasos se les adiciona diferentes cantidades de coagulante y se mezcla por un determinado tiempo. Esta prueba ayuda a encontrar la dosis optima, para eso hay que tener en cuenta la calidad de los floccs, tiempo de formación, cantidad de formación, velocidad de sedimentación y costos de reactivos (Pure Water Colombia, s.f.).

Tensioactivos aniónicos: Son compuestos que disminuyen la tensión superficial entre liquido-liquido, liquido-gas y liquido-solido. Están presentes en agua potable y en aguas residuales. Generalmente presente en detergentes y otros agentes de limpieza, se descargan a través de los residuos acuosos de los hogares, el lavado industrial y otras operaciones de limpieza. Una molécula tensioactiva consiste en una cola fuertemente hidrófoba y una cabeza fuertemente hidrófila, lo que permite la solubilidad en medios acuosos y no acuosos. Cuando la cabeza hidrofílica tiene carga negativa, se considera un tensioactivo aniónico y cuando está cargada positivamente, se considera un tensioactivo catiónico (Hanna Instruments, s.f.).

Vertimiento: Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido (Sánchez, 2019).

3.2. MARCO GEOGRÁFICO

La industria avícola en la cual se realizó este proyecto, propietaria de la PTAR objeto de análisis, se encuentra ubicada en el kilómetro 7 de la autopista Floridablanca-Piedecuesta en el departamento de Santander.

Figura 1. Ubicación industria avícola



Fuente: Google Earth

En la imagen se puede ver en amarillo el área delimitada perteneciente a la planta, con una señal roja se aprecia la ubicación de la PTAR y con una señal naranja se ubica las instalaciones en donde se realizan las operaciones que incluyen el proceso de beneficio del ave.

3.3. MARCO LEGAL

Para el desarrollo de este trabajo se tomó como referencia la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015, la cual establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

En el capítulo VI-artículo 9, se encuentran parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales del sector productivo de agroindustria y ganadería.

En términos del proyecto, se trabaja con el apartado de ganadería, más específicamente con ganadería de aves de corral-beneficio.

Ahora bien, en el capítulo VIII-artículo 16, se especifican las modificaciones que aplican a ciertos parámetros por ser vertida el agua residual al alcantarillado. Se establece el factor por el cual se debe multiplicar el valor límite máximo permisible y se especifica a cuáles parámetros aplica esta modificación.

3.4. MARCO AMBIENTAL

Esta industria avícola se encuentra en un sector que colinda con una zona en la que abunda la vegetación, en la cual es común ver varias especies de aves, reptiles, entre otras. También hay que tener en cuenta que por esta misma zona hace recorrido un cuerpo de agua, este separa la zona de vegetación de la planta donde opera la industria y es por esto que la empresa busca siempre dar cumplimiento a las normativas, para que de esta manera se conserve su entorno en las mejores condiciones posibles.

Debido a la actividad económica que realiza, genera aguas residuales con altas cargas contaminantes, principalmente altas concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos, entre otros contaminantes que generan impactos negativos en el medio ambiente. Las aguas que van a la PTAR se pueden considerar que son las menos sucias, ya que las aguas que resultan de las áreas como eviscerado y matanza, cargadas de sangre en su mayoría, excremento y otros residuos, son recolectadas y llevadas a la planta de harina para utilizarlas como materia prima. Si este procedimiento no se llevara a cabo, muy posiblemente el problema de olores

sería constante, aparte que se debería de tratar el agua de otra manera debido a los componentes del agua.

En el caso de que esta agua residual se vertiera en un cuerpo de agua sin un previo tratamiento, podría causar contaminación por los desechos orgánicos que provocarían un aumento en la demanda biológica de oxígeno del agua, afectando gravemente las especies acuáticas y, además, a todas aquellas especies animales o vegetales que dependan del recurso. Por los desinfectantes utilizados tanto en estas zonas como en las zonas limpias, se puede generar contaminación química por sus componentes y afectar las condiciones y calidad del agua, del suelo y ecosistemas. Aparte de lo ya mencionado, se podría generar contaminación microbiana del agua por las bacterias y otros patógenos presentes en los desechos de estas áreas sucias, esto puede llegar a afectar los animales acuáticos o incluso, podría llegar a afectar la salud humana (Institutedelaguaes, 2024).

Las aguas del laboratorio de aguas también llegan a la PTAR y es bien sabido que en el laboratorio se manipulan diversas sustancias que pueden llegar a ser un riesgo para el medio ambiente e incluso para los seres humanos, esto debido a que sus componentes son altamente peligrosos, tóxicos y contaminantes. La industria avícola siendo consciente de su responsabilidad en el correcto manejo de estos residuos peligrosos, los almacenan en recipientes de diferentes volúmenes que cuando cumplen el tope de almacenamiento son llevados a la PTAR, allá tienen bodegas para cada tipo de residuos generado en el laboratorio y en la empresa en general, de la disposición final de estos residuos se encarga DESCONT (gestión integral de residuos).

4. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

4.1. Caracterización de la PTAR

En busca del cumplimiento de los objetivos establecidos inicialmente, se realizó como primera medida, visitas a la PTAR para poder hacer una identificación e inspección de cada etapa del proceso de tratamiento del agua. Para esto, se visitó la PTAR mínimo una vez por semana y, con ayuda de los operarios y personal del área ambiental, se hizo recopilación de información sobre el funcionamiento del sistema.

Figura 2 . Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: Autor

Luego de alcanzar una adecuada y completa caracterización del proceso de tratamiento, se procedió a hacer la toma de muestra y análisis de las mismas.

4.2. Toma de muestras y determinación de parámetros

Debido a que las condiciones del agua cambian a medida que avanza el proceso, se optó por analizar cada etapa del proceso para poder tener una visión general de las diferentes condiciones en las cuales el agua llega a la PTAR. Se tomaron muestras de afluente y efluente en cada etapa del proceso, es decir, inicio, mitad y

final de proceso para ver qué porcentaje de remoción se logra en el agua teniendo en cuenta las variaciones de la misma.

Figura 3 . Muestras Afluente- Efluente respectivamente



Fuente: Autor

Figura 4 . Montaje métodos



Foto: Autor

Fueron dos semanas en las cuales se tomó afluente y efluente de cada etapa del proceso, esto significó tres tomas de muestras por semana, llevando a cabo esta secuencia tanto en la semana 1 como en la semana 2.

Ya teniendo las muestras, se procedió a realizar la determinación de los parámetros que se establecen en la norma para el agua residual.

4.3. Análisis de resultados

Las conclusiones y análisis obtenidos a partir de los resultados de la medición de los parámetros se emitieron basados en los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015 la cual es la normativa que rige los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterización de la PTAR

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de esta industria avícola queda aproximadamente a 150 metros de la planta de beneficio perteneciente a la misma. La PTAR trabaja de manera continua y simultanea al proceso que lleve la planta de beneficio ya que esta recibe las aguas provenientes de las áreas limpias del proceso de aprovechamiento del ave, aguas provenientes del lavado de áreas internas o externas, y también recientemente ha empezado a recibir las aguas del laboratorio de aguas.

El agua que proviene de áreas como cafeterías y oficinas es considerada agua residual doméstica y va directamente al alcantarillado, y el agua que proviene de áreas sucias como matanza y eviscerado son conducidas al área subproductos de donde son enviadas a la planta de harinas.

Figura 5 . PTAR



Fuente: Autor

La PTAR empieza a trabajar tres horas después del inicio de proceso y finaliza de igual forma tres horas después de que termina proceso en la planta de beneficio.

El agua que proviene del proceso de la planta de beneficio empieza a llegar a la PTAR y va siendo almacenada en dos tanques de 100m³.

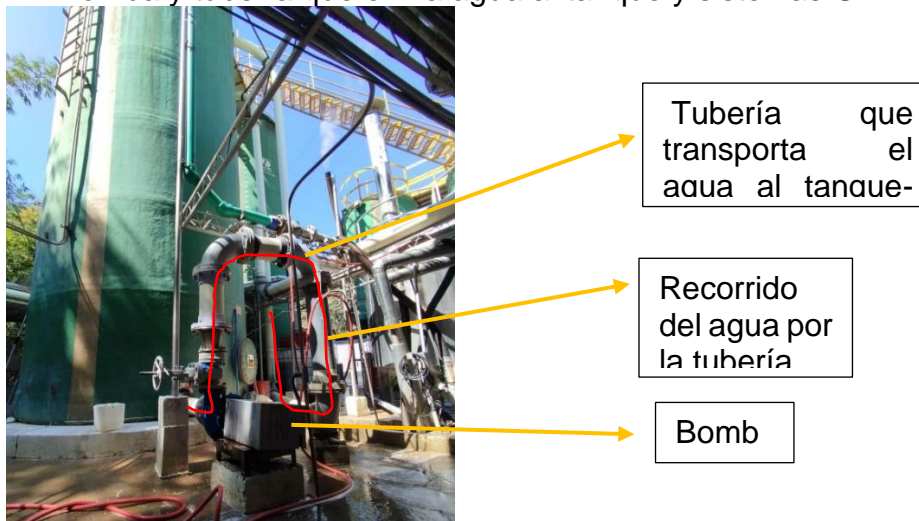
Figura 6 . Tanques de almacenamiento agua residual



Fuente: Autor

Empieza el sistema a funcionar e inmediatamente se enciende la bomba cuya función es enviar agua de los tanques hacia el sistema GEM y así mismo mandan agua por las tuberías hacia la parte de arriba del tanque para que dentro de este el agua se homogenice y al permanecer en movimiento no se estanquen los sólidos. La otra parte del agua va al Sistema GEM el cual es el encargado de realizar el tratamiento.

Figura 7 . Bomba y tubería que envía agua al tanque y sistemas GEM



Fuente: Autor

El trazo rojo muestra el recorrido que hace el agua por la tubería cuando es prendida la bomba. La continuación de ese recorrido al empezar a subir por la tubería es encontrar la siguiente división de la misma:

Figura 8 . Division tuberia



El trayecto rosado es el recorrido que hace el agua para volver al tanque y mantener el agua en constante movimiento

El trayecto amarillo es el recorrido del agua hacia el Sistema GEM

Fuente: Autor

Una vez el agua inicia su recorrido hacia el Sistema GEM, se le añade el clarex (coagulante) el cual cumple el papel de coagulante en este proceso de tratamiento. El coagulante clarex 1075 busca desestabilizar las partículas presentes en el agua neutralizando sus cargas para que las partículas tiendan a unirse entre sí, tiendan a agruparse (Lorenzo, 2006).

Figura 9 . Bomba encargada de inyectar clarex al agua residual



Fuente: Autor

Para controlar la dosificación del clarex los operarios realizan cada dos-tres horas el test de jarras para revisar si tienen que hacer algún cambio en la dosis de clarex que estén utilizando.

Figura 10 . Test de Harras



Fuente: Autor

Toman 700 ml del agua presente en los tanques de almacenamiento para cada vaso precipitado y se colocan en el floculador por un minuto a 200 RPM. Para saber el volumen de clarex que deben agregar a cada vaso precipitado, ellos hacen la prueba de aforo volumétrico con la bomba dosificadora del mismo. Toman la manguera que succiona el clarex y la introducen en una probeta para ver cuantos ml bombea en un minuto, con este dato van a revisar una tabla en la cual ya tienen los calculos establecidos dependiendo del volumen resultante de la prueba de aforo.

Gracias a estos ml se sabe la dosis de coagulante que se debe adicionar al vaso precipitado para el test de jarras y se selecciona tambien el valor siguiente al obtenido y dos anteriores para los otros tres vasos precipitados y poder corroborar si con alguna de las otras dosis se pueden obtener tambien buenos resultados.

Se agrega el clarex a los vasos precipitados y despues de agregan los polimeros de los cuales se agrega 1.4 ml del polimero aniónico y 2.24 ml del catiónico. Al minuto de la adición de los polímeros se baja la velocidad a 120 RPM .

En este punto ya se puede ver un cambio en el agua y en base a esos cambios es que se revisa si se debe cambiar la dosificación y cual es la más adecuada.

Tabla 1 . Datos base cálculo de dosificación

DOSIFICACIÓN COAGULANTE C-1075			
Marcación Bomba*	Q (ml/min)**	PPM (GEM)***	Vol. Jeringa (ml)****
5	10	12	0.01
10	18	21	0.01
15	210	247	0.13
20	320	376	0.20
25	400	470	0.25
27.5	460	541	0.28
30	520	611	0.32
32.5	580	682	0.36
35	640	752	0.40
37.5	720	846	0.44
40	750	882	0.46
42.5	830	976	0.51
45	900	1058	0.56
47.5	920	1082	0.57
50	970	1140	0.60
52.5	1020	1199	0.63
55	1090	1281	0.67
57.5	1130	1328	0.70
60	1180	1387	0.73
62.5	1200	1411	0.74
65	1230	1446	0.76
67.5	1280	1505	0,79
70	1300	1528	0.80
72.5	1587	1866	0.98
75	1623	1908	1.00
77.5	1648	1937	1.02

80	1775	2087	1.10
82.5	1786	2100	1.10
85	1804	2121	1.11
87.5	1830	2151	1.13
90	1869	2197	1.15
92.5	1935	2275	1.20
95	2036	2394	1.26
97.5	2314	2720	1.43
100	2733	3213	1.69

Fuente: Autor

Aclaraciones:

*Valor que deben ajustar en la bomba para la dosificación

** Caudal obtenido en la prueba de aforo

*** Concentracion en el Sistema GEM

**** ml de coagulante a agregar en el test de jarras

Figura 11 . Cambios presentes en el agua



Fuente: Autor

Los operarios revisan cada vaso precipitado y se encargan de identificar qué dosis logró un mejor resultado, para esto se basan en el conocimiento que han adquirido y revisan la formación de los flóculos, la turbidez del agua y tienen en cuenta también si quedaron sólidos en suspensión.

Figura 12 . Comparación estado del agua

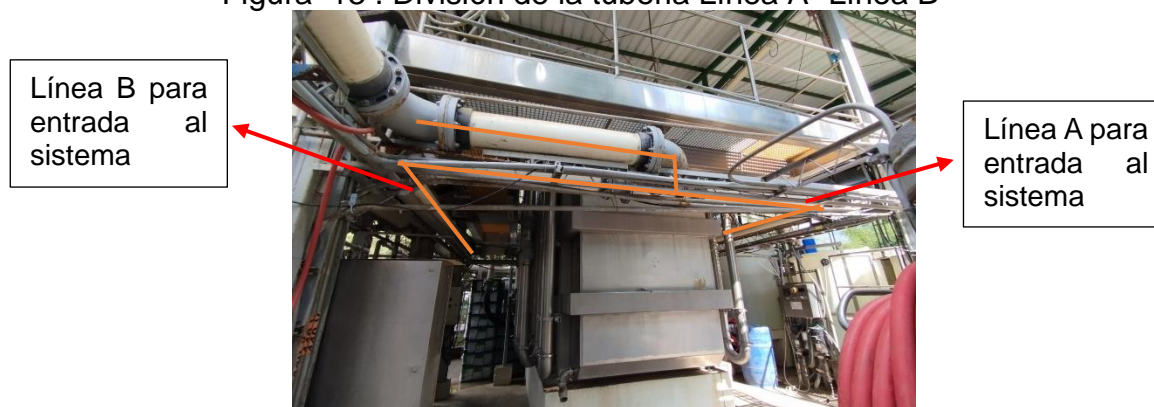


Fuente: Autor

Una vez elegida la dosificación que entrega mejores resultados, es ajustada la bomba dosificadora y se continúa con el proceso de tratamiento.

El agua llega al Sistema GEM y ahí cuenta con dos líneas por las cuales entrar al sistema, la línea A y la línea B. Estas dos líneas se van alternando en cada proceso y cada una cuenta con todos los equipos y elementos requeridos, por lo que si la situación lo requiere, podrían trabajar de manera simultánea.

Figura 13 . División de la tubería Línea A- Línea B



Fuente: Autor

Figura 14 . Línea A- Línea B



Fuente: Autor

El agua inicia el recorrido por la línea elegida para ese turno, y entran al sistema GEM para pasar por cada uno de los cabezales con los que este cuenta para empezar el proceso de tratamiento del agua.

Figura 15 . Entrada Sistema GEM



Fuente: Autor

Figura 16 . Estructura externa Sistema GEM



Fuente: Clean Water Technology, 2023

El sistema cuenta con unos cabezales LSGM (mezcla de gas, sólido, líquido) dentro de los cuales hay unos cartuchos especiales para obtener una mezcla de aire completa en todo el flujo de desechos antes de la adición de los polímeros. El aire es inyectado desde la parte superior del cabezal a una presión de 120 PSI, y este forma un ciclón garantizando la incorporación de aire dentro de la estructura del flóculo.

Figura 17 . Cabezales LSGM



Fuente: Autor

Figura 18 . Cartuchos (Interior del cabezal)



Fuente: Autor

Los primeros cabezales tiene como objetivo que el clarex se mezcle con el agua de manera adecuada y los ultimos dos tienen como función inyectar el polímero catiónico y el polímero aniónico respecticamente en el agua residual. El floculante catiónico atrapa el lodo y el aniónico de igual forma impulsa la floculación y deshidrata el flóculo.

Figura 19 . Tanques de almacenamiento de polímeros



Fuente: Autor

Después de pasar por cada uno de los cabezales LSGM, los flóculos de agua y polímero ingresan a la cámara de flotación y los flóculos se elevan de forma

independiente ya que el aire es parte de la estructura del flóculo pasando a la celda de flotación.

El aire disuelto deja de disolverse y se expande dentro de los flóculos a medida que cae la presión, por esta expansión de las burbujas de aire que el agua es expulsada de la estructura del flóculo y da como resultado un lodo más seco, lodo el cual sube a la superficie formando una capa (Clean Water Technology, Inc., 2023).

Figura 20 . Capa de lodos celda de flotación



Fuente: Autor

El lodo que se forma en la superficie es conducido por las desnatadoras a la tolva temporal de sólidos. Las desnatadoras se mantienen 30 segundos en movimiento y 30 segundos en quietud para garantizar en esos segundos que el lodo suba a la superficie y se pueda desplazar hacia la tolva.

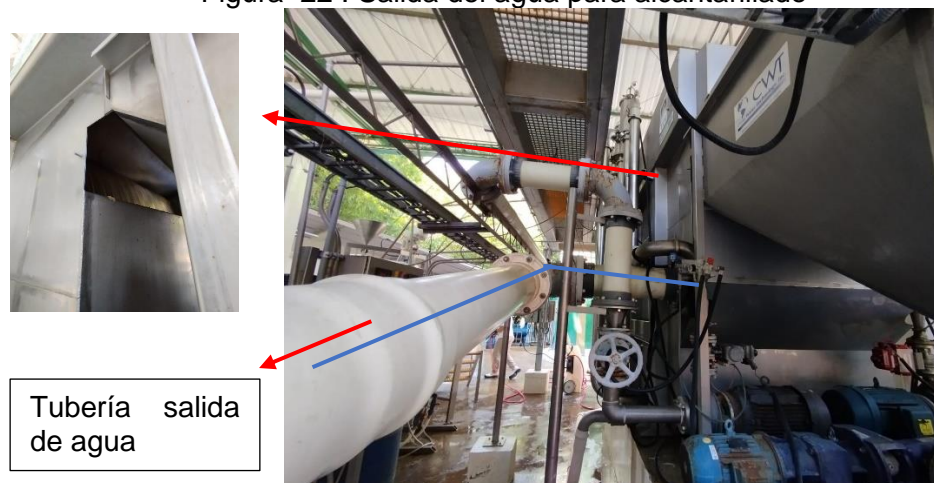
Figura 21 . Tolva lodo; separación lodo-agua



Fuente: Autor

Es en esta etapa que se hace visible el cambio que sufre el agua luego de pasar por el Sistema GEM, y es cuando cada uno de los productos resultantes del proceso se dividen. El agua ya tratada que va directamente al alcantarillado cae en una pequeña sección antes de la tolva y de ahí es conducida por una tubería directamente al alcantarillado, y el lodo pasa por otras etapas que serán descritas a continuación:

Figura 22 . Salida del agua para alcantarillado



Fuente: Autor

El lodo que llega a la tolva se bombea hacia el tanque de calentamiento el cual tiene una capacidad aproximada de 10 m³, maneja una temperatura de 96° y en su interior tiene un agitador el cual evita que el lodo se asiente.

Figura 23 . Tanque de calentamiento



Bomba encargada
de enviar lodo al
tridecanter

Fuente: Autor

El lodo es bombeado del tanque al tridecanter a esa misma temperatura. Todo esto se puede controlar desde un panel de control que contantemente les está dando datos reales de las condiciones de las máquinas y bombas para monitorear de que todo esté funcionando de manera adecuada.

Figura 24 . Panel de control



Fuente: Autor

El tridecanter tiene como función la separación de tres fases (una sólida y dos líquidas) en un único proceso, esto gracias a la diferencia de densidad de los dos líquidos y que el sólido se encuentre en su fase más pesada (Processing and disposal of animal byproducts, s. f.-c).

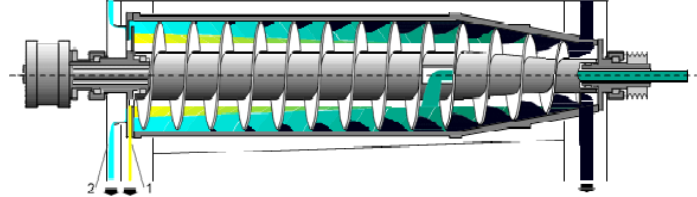
Figura 25 . Tridecanter



Fuente: Autor

La parte más importante de un tridecanter es el rotor el cual consiste en un tambor cilíndrico- cónico, con tornillo sinfín transportador incorporado, que gira a velocidad diferencial. El rotor está accionado por un motor eléctrico. Ambos se unen a través de poleas y correas. El tambor gira a 3750 RPM y el caracol a 3330 RPM.

Figura 26 . Estructura interna del tornillo sinfín



Fuente: G-Centri-Force, 2024

Los lodos entran al tambor y son depositados en la pared del mismo por efecto de la fuerza centrífuga. Este lodo se separa en una fase líquida ligera que es el aceite, una fase líquida pesada que es el agua y la fase sólida que es el lodo (Rackerseder. K, 2013).

De este proceso, se obtienen tres subproductos: el aceite, el agua que va para reproceso y el lodo deshidratado. El lodo sale por unas boquillas que se encuentran en el caracol, y cae directamente a las canastas en las que es almacenado y transportado a la Planta de Harinas. Se estima que en un proceso de 24 horas se pueden obtener aproximadamente 500 canastas de lodos.

Figura 27 . Boquillas de Salida- lodo



Fuente: Autor

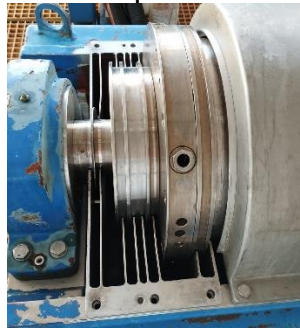
Figura 28 . Caída y almacenamiento de lodo



Fuente: Autor

Luego, por las boquillas de la parte inferior, salen el agua y el aceite, y estos se van por unos ductos que los conducen a diferentes destinos.

Figura 29 . Boquillas salida aceite



Fuente: Autor

Figura 30 . Boquilla salida agua



Fuente: Autor

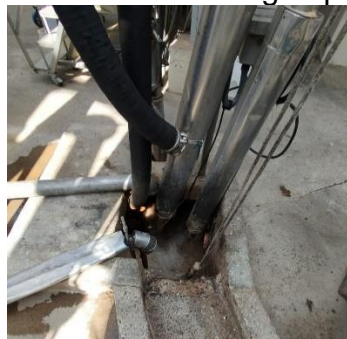
Figura 31 . Ductos salidas subproductos



Fuente: Autor

El agua es conducida a una clase de tanque que se encuentra por debajo del nivel del piso, en este lugar hay una bomba que se encarga de enviar el agua que llega del tridecanter de nuevo al tanque de almacenamiento y esta agua es sometida a reproceso, es decir, vuelve a pasar por el mismo proceso ya descrito.

Figura 32 . Almacenamiento agua para reproceso



Fuente: Autor

Por el contrario, el aceite va a un tanque de preenfriamiento para que baje su temperatura y pueda pasar al tanque grande de almacenamiento de 20m³, de este tanque ya sale para ser comercializado.

Figura 33 . Tanque preenfriamiento



Fuente: Autor

Figura 34 . Tanque almacenamiento



Fuente: Autor

En la PTAR también se pueden encontrar otros tanques. Uno de ellos es utilizado para almacenar agua proveniente de la PTAP para realizar lavados de la zona cuando para proceso, tiene una capacidad de 15 m³ y el otro tanque con la misma capacidad es utilizado para almacenar clarex.

Figura 35 . Tanques almacenamiento PTAR



Fuente: Autor

Los otros tanques ya fueron mencionados y corresponden al tanque de preenfriamiento de aceite, tanque de almacenamiento de aceite y el tanque de calentamiento de lodos, respectivamente.

5.2. Toma de muestras y determinación de parámetros

Se tomaron dos muestras puntuales por cada etapa del proceso, es decir, una muestra de afluente y efluente en el inicio, mitad y final de proceso, lo que resulta en seis muestras semanales y esto se hizo por dos semanas.

Tabla 2 . Organización toma de muestras

TOMA DE MUESTRAS					
INICIO PROCESO		MITAD PROCESO		FINAL PROCESO	
Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
2023-10-25		2023-10-27		2023-10-24	
2023-11-01		2023-11-03		2023-10-31	

■ Semana 1
■ Semana 2

Fuente: Autor

La primera muestra correspondiente al afluente se toma a la salida de los tanques de almacenamiento, antes de que el agua entre en contacto con el clarex. Se utilizan bolsas esterilizadas para almacenar la muestra y previo a la toma de muestra se purga la bolsa esterilizada con agua del mismo afluente.

Figura 36 . Llave para toma de muestra afluente



Fuente: Autor

La muestra del efluente se toma en la cámara de flotación. En la cámara de flotación se marca la diferencia entre el lodo y el agua, ya que el agua va directamente hacia el alcantarillado y el lodo va a la tolva temporal de sólidos.

Figura 37 . Toma de muestra efluente



Fuente: Autor

Se revisaron cuales son los análisis fisicoquímicos que exige la normativa y se llevaron a cabo en el laboratorio de aguas de esta industria los métodos que fueran posibles.

A cada muestra de afluente y efluente se le realizó análisis de DQO, SST, pH, Tensioactivos aniónicos, Ortofosfatos, Fósforo Total, Nitratos, Nitritos, Cloruros y Sulfatos.

5.2.1. Procedimientos

DQO rango alto 500-10000 mg/L de DQO

- Tomar las cubetas de reacción y agitar por balanceo para poner en suspensión el sedimento.
- Tomar 1 ml de muestra y verter cuidadosamente dentro de la cubeta de reacción
- Cerrar firmemente la cubeta con su respectiva tapa, mezclar vigorosamente y calentar la cubeta durante 120 minutos a 148°C en el termorreactor
- Terminado el tiempo se deben sacar las cubetas y se dejan enfriar por 10 minutos
- Agitar la cubeta de reacción culminados los 10 minutos, dejar otros 30 minutos para que se enfríe por completo y leer en el espectrofotómetro.

Nota: Se realizó de igual forma el montaje del patrón siguiendo el mismo procedimiento para el montaje de muestra

Figura 38 . Kit DQO- Espectrofotómetro

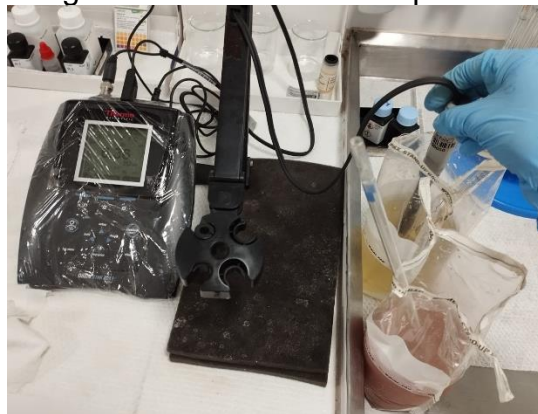


Fuente: Autor

pH

- Para la determinación del pH primero se debe encender el pH-metro y se calibra utilizando las soluciones de pH 4,00, 7,00 y 10,00.
- Una vez calibrado, se lava el electrodo con agua destilada y se procede a sumergirlo en cada una de las muestras para que indique su pH.
- Limpiar el electrodo con agua destilada cada vez que sea utilizado para eliminar cualquier resto de muestra que quede en este.

Figura 39. Determinación pH



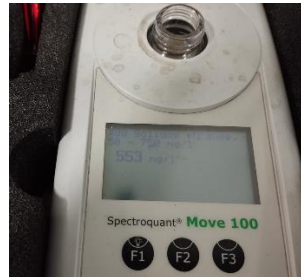
Fuente: Autor

SST

- Se toman 10 ml directamente de la bolsa de muestra, se introducen estos ml en la celda de 40 mm y se lee en el espectrofotómetro

Nota: Debido a la gran presencia de sólidos en el afluente es necesario hacer dilución con agua destilada para el equipo pueda leerlo

Figura 40 . Lectura de sólidos en equipo



Fuente: Autor

Figura 41 . Celdas 40 mm



Fuente: Autor

Tensioactivos aniónicos

- Tomar las cubetas de reacción y añadir 5ml de la muestra
- Añadir dos gotas de reactivo T-1K, cerrar la cubeta y agitar vigorosamente durante 30 segundos
- Una vez finaliza la agitación, se deja reposar las muestras 10 minutos que es el tiempo de reacción y culminado el tiempo se procede a leer las celdas en el espectrofotómetro.

Figura 42 . Tensioactivos aniónicos



Fuente: Autor

Ortofosfatos

- Para la identificación de fosfatos, es importante asegurarse de que el material a utilizar se haya lavado correctamente, esto para garantizar que ningún residuo afecte la medición
- Tomar 5 ml de muestra y pipetear dentro del tubo de ensayo
- Añadir 5 gotas del reactivo $\text{PO}_4\text{-1}$ y mezclar
- Añadir una microcuchara del reactivo $\text{PO}_4\text{-2}$ y agitar vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente
- Dejar en reposo por 5 minutos que es el tiempo de reacción, luego introducir la muestra en la celda de medición y leer en el espectrofotómetro.

Nota: Se realizó de igual forma el montaje del patrón siguiendo el mismo procedimiento para el montaje de muestra

Figura 43 . Kit Fosfatos



Fuente: Autor

Fósforo total

- Pipetear 1 ml de la muestra dentro de la cubeta de reacción
- Agregar una dosis del reactivo P-1K, cerrar la cubeta y mezclar
- Calentar la cubeta durante 30 minutos a 120°C en el termorreactor y terminados los 30 minutos dejar enfriar a temperatura ambiente
- Cuando esté la celda fría se le agrega 5 gotas del reactivo P-2K, se cierra la cubeta de reacción y se agita
- Añadir 1 dosis del reactivo P-3K y agitar hasta que el reactivo se disuelva completamente, se espera por 5 minutos que es el tiempo de reacción y se lee en el espectrofotómetro.

Nota: Se realizó de igual forma el montaje del patrón siguiendo el mismo procedimiento para el montaje de muestra

Figura 44 . Kit Fósforo total

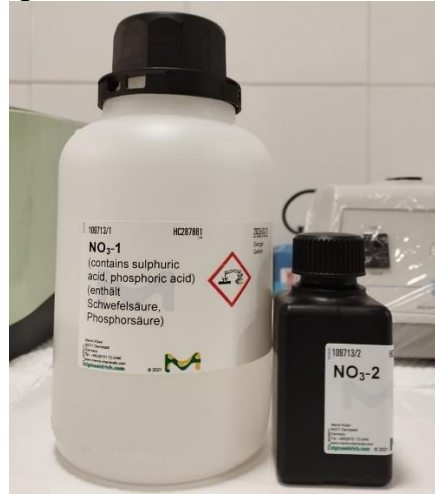


Fuente: Autor

Nitratos

- Pipetear en un tubo 4 ml del reactivo NO_3-1
- Seguido de esto añadir 0,50 ml de muestra al tubo
- Luego añadir 0,50 ml del reactivo NO_3-2 y agitar
- Dejar en reposo la solución durante diez minutos que es el tiempo de reacción y medir en el espectrofotómetro

Figura 45 . Reactivo NO_3-1 ; NO_3-2



Fuente: Autor

Nitritos

- Pipetear en un tubo de ensayo 5 ml de muestra
- Agregar una microcuchara de reactivo NO₂-1
- Agitar por minuto y medio hasta que el reactivo se haya disuelto completamente y esperar 10 minutos que es el tiempo de reacción para proceder a medir en el espectrofotómetro

Nota: Se realizó de igual forma el montaje del patrón siguiendo el mismo procedimiento para el montaje de muestra

Figura 46 . Montaje Nitritos



Fuente: Autor

Cloruros (10-250 mg/L)

- Primero pipetear en un tubo de ensayo 1 ml de muestra
- Añadir luego 2,5 ml del reactivo Cl-1
- Después agregar 0,50 ml de reactivo Cl-2
- Para finalizar se debe agitar y esperar un minuto de reacción para medir en el espectrofotómetro

Nota: Se realizó de igual forma el montaje del patrón siguiendo el mismo procedimiento para el montaje de muestra.

Figura 47 . Montaje Cloruros



Fuente: Autor

Sulfatos

- Pipetear en una cubeta de reacción 5 ml de la muestra
- Agregar una microcuchara de reactivo $\text{SO}_4\text{-1K}$ y agitar la cubeta hasta que el reactivo se disuelva completamente
- Esperar dos minutos que es el tiempo de reacción y medir en el espectrofotómetro

Nota: Se realizó de igual forma el montaje del patrón siguiendo el mismo procedimiento para el montaje de muestra

Figura 48 . Kit Sulfatos



Fuente: Autor

Nota: Además del montaje normal, para algunos métodos se debió realizar dilución de las muestras para que el espectrofotómetro pudiera leer los resultados.

5.3. Análisis de resultados

En el capítulo VI de la Resolución 0631 de 2015, en su artículo 9, se detallan los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas-ArnD a cuerpos de aguas superficiales para los sectores que realizan actividades productivas de agroindustria y ganadería, en el caso de la industria que se está evaluando, se hace referencia al apartado que establece los parámetros y límites permisibles para beneficio en el campo de la ganadería de aves de corral.

Más adelante en el capítulo VIII, artículo 16 se hace una especificación de las modificaciones que sufren ciertos parámetros cuando la descarga se hace al alcantarillado en vez de a cuerpos superficiales de agua. En ese caso, los valores límites permisibles de ciertos parámetros se multiplican por un factor, esto lleva a ampliar el valor límite establecido anteriormente en el capítulo VI, artículo 9.

Resultados Semana 1

Tabla 3 . Resultados obtenidos primera etapa de la primera semana

Fecha: 2023-10-25		ETAPA: INICIO DEL PROCESO		
Parámetro	Concentración		Valor Máximo Permisible	% Remoción
	Afluyente	Efluente		
DQO (mg/L O ₂)	6195	806	975	86,99
pH (Unidades de pH)	6,37	6,3	9,00	-----
SST (mg/L)	3870	18	150	99,53
Tensioactivos (mg SAAM/L)	13	8	Análisis y Reporte	38,46
Ortofosfatos (mg/L P-PO ₄ ³⁻)	53,7	28	Análisis y Reporte	47,75
Fósforo Total (mg/L P)	306	23,1	Análisis y Reporte	92.45
Nitratos (mg/L N-NO ₃ ⁻)	4,0	1,8	Análisis y Reporte	55,00
Nitritos (mg/L N-NO ₂ ⁻)	0,16	<0.02	Análisis y Reporte	-----
Cloruros (mg/L Cl ⁻)	164	225	250	-37,20
Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	44	26	250	40,91

Tabla 4 . Resultados obtenidos segunda etapa de la primera semana

Fecha: 2023-10-27	ETAPA: MITAD DE PROCESO			
Parámetro	Concentración		Valor Máximo Permisible	% Remoción
	Afluente	Efluente		
DQO (mg/L O ₂)	7376	971	975	86,84
pH (Unidades de pH)	6,67	6,57	9,00	-----
SST (mg/L)	5530	65	150	98,82
Tensioactivos (mg SAAM/L)	72	11	Análisis y Reporte	84,72
Ortofosfatos (mg/L P-PO ₄ ³⁻)	253	77,5	Análisis y Reporte	69,36
Fósforo Total (mg/L P)	270	90	Análisis y Reporte	66,67
Nitratos (mg/L N-NO ₃ ⁻)	2,8	1,4	Análisis y Reporte	50,00
Nitritos (mg/L N-NO ₂ ⁻)	0,3	0,3	Análisis y Reporte	0,00
Cloruros (mg/L Cl ⁻)	212	233	250	-9,91
Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	110	15	250	86,36

Tabla 5 . Resultados obtenidos tercera etapa de la primera semana

Fecha: 2023-10-24	ETAPA: FINAL DEL PROCESO			
Parámetro	Concentración		Valor Máximo Permisible	% Remoción
	Afluente	Efluente		
DQO (mg/L O ₂)	6209	969	975	84,39
pH (Unidades de pH)	6,61	6,36	9,00	-----
SST (mg/L)	5350	78	150	98,54
Tensioactivos (mg SAAM/L)	46	35	Análisis y Reporte	23,91

Ortofosfatos (mg/L P-PO₄³⁻)	85,3	29,3	Análisis y Reporte	65,65
Fósforo Total (mg/L P)	130	38,3	Análisis y Reporte	70,54
Nitratos (mg/L N-NO₃⁻)	3,8	1,1	Análisis y Reporte	71,05
Nitritos (mg/L N-NO₂⁻)	0,6	0,13	Análisis y Reporte	78,33
Cloruros (mg/L Cl⁻)	221	239	250	-8,14
Sulfatos (mg/L SO₄²⁻)	30	29	250	3,33

Resultados Semana 2

Tabla 6. Resultados obtenidos primera etapa de la segunda semana

Fecha: 2023-11-01	ETAPA: INICIO DEL PROCESO			
Parámetro	Concentración		Valor Máximo Permisible	% Remoción
	Afluente	Efluente		
DQO (mg/L O₂)	4745	848	975	82,13
pH (Unidades de pH)	6,56	6,37	9,00	-----
SST (mg/L)	3820	125	150	96,73
Tensioactivos (mg SAAM/L)	26	17,1	Análisis y Reporte	34,23
Ortofosfatos (mg/LP-PO₄³⁻)	115	13,8	Análisis y Reporte	88,00
Fósforo Total (mg/L P)	165,3	18,3	Análisis y Reporte	88,93
Nitratos (mg/L N-NO₃⁻)	2,9	1,4	Análisis y Reporte	51,72
Nitritos (mg/L N-NO₂⁻)	0,5	0,5	Análisis y Reporte	0,00
Cloruros (mg/L Cl⁻)	169	201	250	-18,93

Sulfatos (mg/L SO₄²⁻)	27	14	250	48,15
--	----	----	-----	-------

Tabla 7 . Resultados obtenidos segunda etapa de la segunda semana

Fecha: 2023-11-03	ETAPA: MITAD DE PROCESO			
	Concentración		Valor Máximo Permisible	% Remoción
Parámetro	Afluente	Efluente		
DQO (mg/L O ₂)	4836	966	975	80,02
pH (Unidades de pH)	6,36	6,08	9,00	-----
SST (mg/L)	4640	58	150	98,75
Tensioactivos (mg SAAM/L)	53	16,7	Análisis y Reporte	68,49
Ortofosfatos (mg/L P-PO ₄ ³⁻)	103,2	34,6	Análisis y Reporte	66,47
Fósforo Total (mg/L P)	220,3	23,5	Análisis y Reporte	89,33
Nitratos (mg/L N-NO ₃ ⁻)	4,7	3	Análisis y Reporte	36,17
Nitritos (mg/L N-NO ₂ ⁻)	0,6	0,07	Análisis y Reporte	88,33
Cloruros (mg/L Cl ⁻)	185	246	250	-32,97
Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	17	10	250	41,18

Tabla 8 . Resultados obtenidos tercera etapa de la segunda semana

Fecha: 2023-10-31	ETAPA: FINAL DEL PROCESO			
	Concentración		Valor Máximo Permisible	% Remoción
Parámetro	Afluente	Efluente		
DQO (mg/L O ₂)	3519	968	975	72,49
pH (Unidades de pH)	6,49	6,35	9,00	-----
SST	6100	59	150	99,03

(mg/L)				
Tensioactivos (mg SAAM/L)	57	43	Análisis y Reporte	24,56
Ortofosfatos (mg/L P-PO₄³⁻)	83	27	Análisis y Reporte	67,47
Fósforo Total (mg/L P)	116,6	37	Análisis y Reporte	68,27
Nitratos (mg/ N-NO₃-)	4,5	1,40	Análisis y Reporte	68,89
Nitritos (mg/ N-NO₂-)	0,7	0,08	Análisis y Reporte	88,57
Cloruros (mg/L Cl-)	208	242	250	-16,35
Sulfatos (mg/L SO₄²⁻)	65	20	250	69,23

En las tablas presentadas anteriormente se muestran los resultados del análisis de los parámetros aplicables a las muestras de afluente y efluente de cada semana y etapa correspondiente, junto con los valores máximos permisibles establecidos en la resolución 0631 de 2015 y el porcentaje de remoción obtenido para cada parámetro.

El propósito de analizar cada etapa del proceso radicaba en el interés de poder ver cómo el agua cambiaba a medida que el proceso avanzaba, esperando que las condiciones del agua empeoraran con el paso de las horas. Al revisar los resultados de la semana uno y dos se observa que este patrón no se refleja en los datos y cada etapa varía bastante con respecto a la anterior.

En primer lugar, se abordarán de los parámetros críticos que son la DQO, los SST y los cloruros, los cuales al representar un riesgo para el medio ambiente son tenidos en cuenta a la hora de evaluar la calidad del agua que se vaya a descargar y sirve para identificar la eficiencia del tratamiento aplicado en el agua objeto de estudio.

DQO

Al comparar los resultados obtenidos en cada semana, se nota que la etapa que presentó mayor nivel de DQO en el afluente fue durante mitad de proceso tanto en la semana 1 (tabla 4) como en la semana 2 (tabla 7). Lo esperado sería que estos niveles se presentaran a final de proceso, pero esto se debió a que previo a la toma de la muestra se realizó lavado de un área interna de la planta, y toda esta agua cargada con residuos orgánicos provenientes del proceso de beneficio del pollo llegó a la PTAR.

Ahora bien, en la tabla 6 se evidencia que la carga contaminante del afluente en la segunda semana fue mayor al inicio en comparación con el final que se puede ver en la tabla 6, esto pudo deberse a que al iniciar proceso no se desocuparon los tanques de almacenamiento de agua residual de la PTAR y quedaron aguas del proceso anterior, lo que provocaría que al iniciar un nuevo proceso, el agua entrante fuera mezclada con la presente en los tanques y esto representaría un aumento inusual de la carga durante las primeras horas del proceso en la planta.

Revisando ahora los porcentajes de remoción, se ve que el tratamiento que se aplica en el agua logró tanto en la semana 1 como en la semana 2, porcentajes de remoción superiores al 70%, cumpliendo así con su descripción ya que el sistema promete remoción de más del 75% en la demanda química de oxígeno, condición que cumple en cinco de las seis tomas de muestras.

Este parámetro es muy importante, pues, es un indicador del nivel de contaminación del agua ya que representa la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos. Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua (Induanalisis, 2019).

SST

Los sólidos Suspendidos son muy comunes en aguas de origen industrial, en el caso de esta industria avícola, los sólidos que se encuentran en el agua corresponden a materia orgánica de origen animal debido al proceso de beneficio y aprovechamiento del pollo.

El sistema GEM promete una reducción de más del 90% de los sólidos suspendidos y al ver los porcentajes de remoción, se reconoce la eficiencia que alcanza el tratamiento removiendo más del 96% de los SST presentes en el agua tanto en la semana 1 como en la semana 2. El punto más crítico fue en la semana 1 y durante la mitad de proceso con una concentración entrante al sistema de 5530 mg/L, pero aún con esta condición, el sistema demostró una eficiencia en remoción muy alta, alcanzando un 98,82%. También es notable que, conforme a lo estipulado en la normativa, todos los resultados se encuentran por debajo de los límites establecidos.

Cloruros

Los cloruros son el único parámetro que, en lugar de disminuir con el tratamiento, aumenta.

Para empezar el agua llega a la PTAR con una concentración base de cloruros debido a que en la planta de beneficio de la industria se utiliza el hipoclorito de sodio como desinfectante en el agua. Luego, al llegar a la PTAR, durante el proceso de tratamiento del agua residual es utilizado el clarex como coagulante y este contiene policloruro de aluminio lo cual hace que la concentración de cloruros aumente de manera considerable. Aparte de lo ya mencionado, el pollo pasa por una etapa de marinado donde se le suministra a la presa una solución llamada salmuera. Esta es una combinación en su mayoría de sal (Cloruro de Sodio) y otros ingredientes que

ayudan a preservar la textura del pollo para que esta se pueda mantener en buen estado a la hora de sufrir los choques de frío, aportando también cloruros al afluyente. En la tabla 3, correspondiente al inicio de proceso de la primera semana, se percibe que la concentración de salida aumenta considerablemente con respecto a la entrada, siendo este uno de los puntos críticos al mostrar un aumento en un 37,20% de cloruros en el agua.

Al presentarse este problema debido al tipo de tratamiento, se han estado revisando alternativas que permitan tener los resultados adecuados de remoción, pero estas soluciones terminan afectando la calidad de los subproductos que actualmente se obtienen o su ejecución representaría un costo muy alto y no permitiría el aprovechamiento de los lodos y se convertirían en un residuo más, por eso se ha determinado que la mejor opción por el momento es mantener el tratamiento como se ha realizado hasta ahora.

Tensioactivos Aniónicos

La presencia de tensioactivos aniónicos en el agua se debe al uso de jabones o elementos para la limpieza ya que los tensioactivos actúan modificando la tensión superficial disminuyendo la fuerza de adhesión de las partículas de mugre a una superficie (Contaminación del agua por detergentes (eutrofización) – agua.org.mx, 2017).

El punto más crítico, refiriendo en este caso a la etapa en que mayor concentración se obtuvo en el afluyente, fue en la semana 1 y en la mitad de proceso, donde se aprecia una concentración de 72 mg SAAM/L, a pesar de eso, el tratamiento logró una eficiente remoción de 84,72%.

Con base en los datos arrojados durante el análisis, se encuentra que en la semana 1 se obtuvo porcentajes de remoción de 38.46%, 84.72% y 23,91%, y en la semana 2 fueron de 34.23%, 68,49% y 24.56%, correspondiente a inicio, mitad y final de

proceso respectivamente. Aunque en 4 de las 6 tomas de muestras el % de remoción fue menor al 50%, las concentraciones obtenidas en el efluente son bajas ya que ninguna supera los 50 mg SAAM/L.

Fósforo total – Ortofosfatos

La presencia de fosfatos en el agua residual de esta industria podría deberse a dos casos en particular. El primer caso es que, en el área de marinado, área de la cual ya se habló, otro de los ingredientes de la salmuera contiene tripolifosfato de sodio, el cual aporta al parámetro al igual que los detergentes o elementos de limpieza fosfatados que se utilicen en la planta.

Las moléculas de fosfatos son buenas para combinarse con los minerales en aguas duras, permitiendo que los limpiadores creen mucha espuma y ayudan a mantener las grasas y el polvo en suspensión para que sean eliminados más fácilmente ((Contaminación del agua por detergentes (eutrofización) – agua.org.mx, 2017).

Al revisar los resultados obtenidos tanto de ortofosfatos como de fósforo total, se encuentran porcentajes de remoción muy buenos. En la primera semana se tienen porcentajes de remoción para ortofosfatos de 47.75%, 69.36%, 65.65% y en la segunda semana 88.00%, 66.47% y 67.47% en inicio, mitad y final de proceso, respectivamente, los cuales son evidencia de la capacidad que tiene el sistema para incluso llegar a reducir hasta más del 80% la concentración. Esto mismo se observa con fósforo total arrojando porcentajes de remoción en la primera semana de 92.45%, 66.67%, 70.54% y en la segunda semana 88.93%, 89.33% y 68.27% durante el inicio, mitad y final de proceso, respectivamente. Estos porcentajes de remoción son aún más altos que los que se evidencian en ortofosfatos, entregando efluentes con bajas concentraciones.

Nitratos – Nitritos

La presencia de Nitratos y Nitritos en el caso de la industria objeto de análisis en este documento se debe a la presencia de materia orgánica presente en el agua residual, la cual se genera como residuo durante el proceso de aprovechamiento y manejo del pollo.

El sistema no está especializado en la remoción y tratamiento de estos dos parámetros, por este motivo se presentan situaciones como la que se evidencian en las tablas 4 y 6. En el caso de los nitritos para mitad e inicio de proceso de la semana 1 y 2 respectivamente, no se ve un mejoramiento en la concentración del efluente con respecto a la del afluente, permanece igual. En el resto de muestras sí se ve un mejoramiento significativo superior al 50%, pero aun así cabe destacar que las concentraciones presentes en el agua de los dos parámetros son muy bajas. En el caso de los nitratos, sus porcentajes de remoción no son tan buenos como los de nitritos, pero sí se alcanza remoción aproximada entre un 30% y 80% en su mejor caso.

Sulfatos

El sistema GEM tampoco tiene entre sus funciones la remoción de los sulfatos, de igual forma este parámetro no representa un punto crítico en este caso, aun así, el tratamiento no lo está afectando. Es decir, aunque el sistema no está hecho para tratar este parámetro, al inspeccionar los valores de concentración obtenidas en afluente, se hace evidente que el proceso tampoco lo altera de forma negativa, al contrario, en ciertos casos se logran porcentajes de remoción alta como el que se presenta en la tabla 2 que alcanza el 86,36% de remoción y las concentraciones obtenidas al final del tratamiento son bastante bajas.

pH

Los valores de pH se redujeron en el efluente, pero se mantuvieron valores entre 6.00 y 6.50 señalando que el agua es ligeramente acida, cumpliendo con la resolución 0631 de 2015 que establece que los índices de pH se deben encontrar entre 6.00 y 9.00.

Los niveles de pH se deben controlar para garantizar las condiciones óptimas y de esta manera, conseguir las reacciones químicas que el proceso necesite para funcionar de manera eficiente (iagua, 2021).

Ahora bien, teniendo en cuenta que el objetivo inicial era revisar cómo se comportaba la planta dependiendo de la etapa del proceso, se pudo constatar que las etapas que obtuvieron los valores más altos en porcentajes de remoción en los parámetros analizados corresponden a las etapas de inicio y mitad de proceso. También se evidencia que, aunque en algunos casos los % de remoción no son tan altos, todas las concentraciones obtenidas en cada parámetro tanto en la semana 1 como en la semana 2, cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la resolución 0631 de 2015.

6. CONSIDERACIONES ÉTICAS

Durante el trabajo, podría haberse presentado un riesgo para la vida y el ambiente debido a la manipulación de agua residual que contiene diversos elementos capaces de afectar gravemente el entorno.

En este caso, el agua se tomó para realizar los análisis necesarios para el trabajo, y además, se realiza constantemente toma de muestras de dicha agua en la empresa para realizar los monitoreos de control y revisar el estado del agua.

7. CONCLUSIONES

- Se realizó una minuciosa y detallada caracterización de todos los procesos que son ejecutados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, abarcando no solo el tratamiento del agua, sino también la obtención de subproductos como el lodo y el aceite. Esto proporcionando una visión completa de la operación de la planta.
- Con base en los resultados obtenidos de los parámetros que fueron determinados, se pudo establecer que el Sistema GEM remueve con gran eficiencia dos de los contaminantes críticos que corresponden a Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Además, logra con éxito reducir en gran manera la concentración de los otros parámetros analizados.
- El tratamiento que aplica el Sistema GEM no reduce o disminuye los niveles de Cloruros en el agua residual, al contrario, provoca un aumento en la concentración del parámetro en el afluente, pero aún con este inconveniente, en ninguno de los análisis arrojados se evidenció incumplimiento con la normativa
- De acuerdo con el análisis de cada uno de los resultados obtenidos en el transcurso del proyecto, se puede establecer que la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria avícola estudiada brinda un tratamiento adecuado a las aguas residuales industriales que a esta llegan, pues, cumplen las concentraciones con los límites máximos permisibles establecidos en la resolución 0631 de 2015.

8. RECOMENDACIONES

- Tratar de reducir los niveles de cloruros durante el proceso, esto ayudará a que las concentraciones del afluente no aumenten en gran manera luego de pasar por el tratamiento.
- Previo a la toma de muestras, revisar si se ha realizado lavado de algún área dentro de la planta y procurar tomar muestras de inicio de proceso en las ocasiones en que el tanque de almacenamiento sea desocupado por completo.
- Garantizar la disponibilidad de los recursos necesarios para determinar todos los parámetros que establece la Resolución 0631 de 2015. Esto permitirá la emisión de un concepto final completo sobre la caracterización y evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abb. (2021, 25 marzo). La importancia de medir el pH en la industria. iAqua. <https://www.iagua.es/noticias/abb/importancia-medir-ph-industria#:~:text=En%20el%20tratamiento%20de%20aguas,proceso%20funcione%20de%20manera%20eficiente.>

Acura, G. (2023b, agosto 25). ¿Qué es la coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales? Grupo Acura. <https://grupoacura.com/es/blog/coagulacion-floculacion>

Ardila Ramírez, J. D. (2021). Manual para la evaluación, descripción y análisis de las bajas ante mortem (bam) en planta de beneficio avícola.

Avidesa Mac Pollo S.A. es una compañía avícola colombiana. (2021, noviembre 12). Mac Pollo; Mac Pollo número 1 en Colombia- Pollo Fresco, pechugas, alitas, salsamentaria. <https://web.macpollo.com/quienes-somos/>

Caldera, Y., Gutiérrez, E., Luengo, M., Chávez, J., & Ruesga, L. (2010). Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de industria avícola. Revista Científica, 20(4), 409-416.

Carreño Gómez, Y. (2009). Automatización de un proceso de cocción en una planta avícola de harinas.

Carvajal Muñoz, J. S. (2011). Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales. Producción+ Limpia, 6(2), 92-107. https://www.uanl.mx/utilerias/chip/descarga/citas_referencias.pdf

ChemTreat, Inc. (2023, 29 agosto). Flocculant and coagulant water Treatment | ChemTreat, Inc. <https://es.chemtreat.com/coagulants-flocculants/>

Clean Water Technology, Inc. (2023, 17 noviembre). GEM System Primary Treatment | Wastewater Solutions | CWT-Global.com. <https://cwt-global.com/gem-system/>

Clean Water Technology, Inc. (2023, diciembre 21). GEM System Primary Treatment | Wastewater Solutions | CWT-Global.com. <https://cwt-global.com/gem-system/>

Contaminación del agua por detergentes (eutrofización) – agua.org.mx. (2017, 27 marzo). Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-detergentes-eutrofizacion/>

6.4. Dilución | Química general. (s. f.). <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/64-dilucion.html>

Economía, R. (2023, 14 agosto). ¿Quién es el dueño de Mac Pollo? Empezó con un local y hoy es el rey del pollo en Colombia. pulzo.com. <https://www.pulzo.com/economia/quien-es-dueno-mac-pollo-inicio-con-local-es-rey-colombia-PP2963195A>

Fabregas, J. (2023b, noviembre 25). Eliminación de sólidos en suspensión de aguas residuales. Sigmadaf. <https://sigmadafclarifiers.com/eliminacion-de-solidos-suspendidos-totales-del-agua-residual/>

Fósforo - Productos y descripción general de los parámetros de calidad del agua | Hach. (s. f.). <https://co.hach.com/parameters/phosphorus#:~:text=El%20f%C3%B3sforo%20total%20es%20la,fosfatos%20condensados%20y%20f%C3%B3sforo%20org%C3%A1nico>

Gil Fernández, L. (2022). Determinación de cloruros en aguas residuales procedentes de la industria agroalimentaria.

Gil, M. (2021, 12 noviembre). ¿Cómo diseñar y formar un buen floc? iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/mauricio-gil/como-disenar-y-formar-buen-floc#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20floc%3F,s%C3%B3lidos%20que%20aporta%20el%20coagulante.>

Gutiérrez Ortiz, S. A. (2019). Formulación de alternativas de producción más limpia para la planta de beneficio de Avidesa Mac Pollo SA.

Hanna Instruments, Inc.(s.f.). Parámetro Tensioactivos aniónicos. <https://hannachile.com/busqueda-por-parametro/tensioactivos-anionicos>

Induanalisis, Laboratorio, monitoreo, consultoría y equipo. Bucaramanga - Col. (s. f.). DBO y DQO | Publicaciones | Induanalisis, laboratorio, monitoreo, consultoría y equipo. Bucaramanga - Col. https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dqo_31#:~:text=Por%20otra%20parte%2C%20la%20DQO,m%C3%A1s%20contaminada%20est%C3%A1%20el%20agua

Institutodelaguaes. (2024, 18 enero). Aguas residuales de mataderos: análisis y soluciones sostenibles para su tratamiento | Instituto del Agua. Instituto del Agua. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/aguas-residuales-de-mataderosaguas-residuales/>

Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 40(2), 10-17.

Mac Pollo número 1 en Colombia- Pollo Fresco, pechugas, alitas, salsamentaria. (2022a, marzo 23). Avidesa Mac Pollo empresa certificada en HACCP. Mac Pollo. <https://web.macpollo.com/certificacion-haccp/#:~:text=AVIDESA%20MAC%20POLLO%20S.A.%20PRIMERA,la%20vida%20de%20los%20consumidores>.

Mesa Cantillo, E. M., Medina Rojas, G. D., & Esguerra Luna, M. A. (2019). Implementación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales para la Planta de Beneficio de Aves de Corral Macpollo Floridablanca.

Nitrato y nitrito - Productos y descripción general de los parámetros de calidad del agua | Hach. (s. f.). <https://es.hach.com/parameters/nitrate>

Perfil, V. T. mi. (s/f). MACPOLLO. Blogspot.com. Recuperado el 10 de septiembre de 2023, de <http://rojasmorales10.blogspot.com/2014/11/macpollo.html>

PureWater Colombia |Turbidez, floculación y sedimentación. (s.f.). <https://purewater.com.co/turbidez-floculacion-y-sedimentacion/>

¿Qué es la demanda química de oxígeno? | HANNA Instruments Colombia. (s. f.). <https://www.hannacolombia.com/blog/post/587/que-es-la-demanda-quimica-oxigeno>

Qué es una PTAR: función y relevancia - GC tratamiento.(2023b, agosto 30).GC Tratamiento. <https://gctratamiento.mx/que-es-una-ptar/>

Qué son las aguas residuales y cómo tratarlas - Ferrovial. (2022b, septiembre 22). Ferrovial. <https://www.ferrovial.com/es/recursos/aguas-residuales/>

19. Química Andina. (2023, 13 junio). Polímeros aniónicos y su uso en el tratamiento de agua. <https://www.quimicaandina.com.pe/polimeros-anionicos-y-su-uso-en-el-tratamiento-de-agua/#:~:text=Los%20pol%C3%ADmeros%20ani%C3%B3nicos%20son%20macromol%C3%A9culas,son%20como%20coagulantes%20y%20floculantes>

Rackerseder, K. (2013). Uso novedoso del Decanter/Tricanter® en la industria del aceite de palma. *Palmas*, 34, 47–55. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10701>

Resolución 631 de 2015 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021, 8 noviembre). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-631-de-2015/>

Sánchez Vanegas, J. S. (2019). Evaluación y Propuesta de Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Inspección La Victoria del Municipio El Colegio, Cundinamarca (Doctoral dissertation).

Sanchez, L. M. T. (s. f.). El aforo volumetrico. Scribd. <https://es.scribd.com/document/405304838/El-Aforo-Volumetrico>

Selladas tres empresas por incumplir normas ambientales en Bogotá - Historial de noticias - Secretaría Distrital de Ambiente. (s/f). Secretaría Distrital de Ambiente. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de https://www.ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/selladas-tres-empresas-por-incumplir-normas-ambientales-en-bogota

Sistemas de tratamiento de Efluentes. (2019, febrero 20). Franchi & Asociados. <https://franchiasoc.com.ar/ecoblogger/sistemas-de-tratamiento-de-efluentes/>

Sulfatos - acqua tecnologia. (2017, 6 febrero). Acqua Tecnologia. <https://acquatecnologiaperu.com/sulfatos.html#:~:text=Los%20sulfatos%20son%20compuestos%20que,yeso%20principalmente%20y%20suelos%20sulfatados>

Tricanter centrifuge manufacturers and suppliers in India. (s. f.). <https://www.gcentriforce.com/Tricanter-Centrifuge-manufacturers-in-india.html>

Untitled. (s. f.). https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/CURSO/UNI_02/u2c3s2.htm

Velchemicals_monica. (2023, 25 julio). ¿Qué es un floculante catiónico? - Floculantes. Vel chemicals. <https://vel-chemicals.com/que-es-un-floculante-cationico/#:~:text=Es%20un%20tipo%20de%20pol%C3%ADmero,facilita%20su%20separaci%C3%B3n%20del%20agua>.