

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAS DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
**FLOCULACIÓN COMO TRATAMIENTO EN LAS AGUAS RESIDUALES DE
LA INDUSTRIA AVÍCOLA, UTILIZANDO SULFATO DE ALUMINIO EN UN
SISTEMA DE SIMULACIÓN EN LABORATORIO**

Informe final de Tesis

Presentado por

María Clemencia Corzo Pacheco



Previo a obtener el título de
Química Farmacéutica

Guatemala, Marzo 2,004

JUNTA DIRECTIVA

M.Sc.Gerardo Leonel Arroyo Catalán	Decano.
Licda. Jannette Sandoval Madrid de Cardona.	Secretaria.
Licda Gloria Elizabeth Navas Escobedo.	Vocal I.
Lic. Juan Francisco Pérez Sabino.	Vocal II.
Dr. Federico Adolfo Richter Martínez.	Vocal III.
Br. Carlos Enrique Serrano.	Vocal IV.
Br. Claudia Lucía Roca Berreondo.	Vocal V.

DEDICATARIA

A DIOS

Por ser guía de mi vida y permitirme llegar a este momento.

A LA VIRGEN MARÍA

Por todas sus bendiciones, guiarme y acompañarme en cada momento de mi vida.

A MIS PADRES:

Rodolfo Corzo Flores.

Carmen Trinidad de Corzo.

Por se el centro de mi vida, el motor que impulsa mis pasos y el apoyo con el cual puedo contar incondicionalmente. Gracias por enseñarme a vivir y por rodearme de amor y alegría.

A MIS ABUELITOS

PATERNOS:

Rodolfo Corzo Hijo. (QEPD)

Delia Clemencia Flores Viuda de Corzo.

Con cariño.

A MI ABUELITA

MATERNA:

María Luisa Pacheco. Con cariño.

A MIS HERMANDOS:

Rodolfo, Bernardo, Roberto, Antonieta y Aurelia. Por su apoyo, comprensión, amor, son los mejores hermanos y amigos que se puede tener.

A MIS HERMANAS

POLÍTICAS:

Elizabeth y Carolina.

A MIS SOBRINOS

Rodolfo, Alejandra, Natalhy Adriana,
Estefani, Carmen Mabel y Melissa,
Con gran cariño.

A MIS TÍAS:

Con cariño

A MIS PRIMOS:

Con aprecio y cariño.

A MIS AMIGAS:

Por todos los momentos compartidos.

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres:

Rodolfo Corzo y Carmen Trinidad de Corzo
por todo su apoyo, comprensión, amor que me han dado en toda mi vida. Gracias los quiero mucho.

A mi Hermana Aurelia

Por la ayuda prestada cuando la necesite. Te quiero mucho

Al Lic. Rodolfo Girón

Por su amistad, y valiosa colaboración en la asesoría de la presente tesis.

Licda Silvia Echeverría

Por compartir sus conocimientos para realizar este trabajo

Al laboratorio ECOQUIMSA y su personal

Por el apoyo y colaboración al permitirme utilizar el laboratorio así como el financiamiento de la parte experimental.

INDICE

Contenido.	No. de Página.
Resumen -----	7.
Introducción -----	9.
Antecedentes. -----	10.
Justificación -----	15.
Objetivos -----	16.
Hipótesis -----	17.
Materiales y Métodos -----	18.
Resultados -----	39.
Discusión de resultados -----	52.
Conclusiones -----	59.
Recomendaciones -----	60.
Referencias -----	61.
Anexos -----	65.

1. RESUMEN

El presente trabajo surge de la preocupación del deterioro del medio ambiente que enfrenta nuestro país. Debido a este problema se han creado entidades que apoyan la protección del medio ambiente de Guatemala. En el año 1,986 se promulgó una ley de protección y mejoramiento del medio ambiente Decreto 68-86, en donde se mencionan las políticas ambientales, por lo que se creó la Comisión del Medio Ambiente hoy en día convertida en Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Se propuso un tratamiento de floculación utilizando sulfato de aluminio a 3 diferentes concentraciones (200 mg/l, 250 mg/l y 300 mg/l) el cual se utilizó en las aguas residuales de la industria avícola de Guatemala. Para efectos de evaluación del tratamiento se realizaron los análisis de los parámetros fisicoquímicos siguientes: pH, sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, sólidos totales, Demanda Química de oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

El inicio de la parte experimental consistió en la toma de 7 muestras representativas siendo ésta una parte esencial para obtener información precisa y confiable, por lo que el muestreo se realizó tomando las muestras en forma compuesta, o sea que se tomaron varias sub-muestras. Estas muestras fueron manejadas y transportadas en refrigeración (5°C) para garantizar la integridad de las mismas.

De acuerdo a los resultados de Demanda Química de oxígeno en las muestras, se obtuvo una remoción a una concentración de 200 mg/l de sulfato de aluminio de 60.4% de materia orgánica, con 250 mg/l de sulfato de aluminio la remoción fue de 68.3 % materia orgánica y con 300 mg/l de sulfato de aluminio la remoción fue de 75.4 % de materia orgánica.

Al evaluar los datos obtenidos experimentalmente, la Demanda Bioquímica de Oxígeno dió una remoción de 61.8 % de materia orgánica biodegradable a una concentración de 200 mg/l sulfato de aluminio, a 250 mg/l

de sulfato de aluminio una remoción de 70.1 % de materia orgánica biodegradable y a una concentración de 300 mg/l una remoción de 77.6 % de materia orgánica biodegradable. Los porcentajes de remoción de DQO y DBO₅ validan la hipótesis planteada ya que se observa una remoción mayor de 60 %.

Por los datos obtenidos de los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) el tratamiento de floculación (utilizando sulfato de aluminio) es efectivo para las aguas residuales de las avícolas, ya que la DQO y la DBO₅ obtenidas se encuentran entre los límites permitidos según el acuerdo gubernativo No 60-89 de la Comisión Nacional del Medio Ambiente “Reglamento de Requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas residuales”.

La utilización del tratamiento de floculación (sulfato de aluminio) para las aguas residuales de las avícolas es factible técnica y económicamente, ya que a diferentes concentraciones del tratamiento entre 250mg/l y 300 mg/l del floculante (sulfato de aluminio) el costo para las dos anteriores es de Q 0.01 por ave. Por lo que se recomienda que este tratamiento sea incluido entre su proceso de producción para que esto sea una mejora continua y sostenible del compromiso ambiental.

2. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como propósito proponer un tratamiento para disminuir el nivel de contaminación ambiental provocado por los desechos líquidos vertidos por las industrias avícolas de Guatemala, las cuales causan la degradación del ambiente, provocando daño a la salud y produciendo enfermedades.

Por lo anteriormente mencionado se estableció un tratamiento para las aguas residuales de la industria avícola que sea factible técnica y económicamente con el cual se disminuya la cantidad de materia orgánica que llega hacia ríos y lagos, provocando un impacto ambiental a nivel general y a la población de los alrededores.

Se utilizó un tratamiento de floculación usando sulfato de aluminio, que permite remover una gran cantidad de materia orgánica en las aguas residuales de las avícolas. Para efectos de evaluación del tratamiento propuesto, se realizaron los análisis de los parámetros siguientes: sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos en suspensión, Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O), con el propósito de demostrar que se alcanzarán los niveles físico-químicos aceptables para proteger el medio ambiente.

3. ANTECEDENTES

El medio ambiente de Guatemala se observa contaminado en gran escala, esto conlleva a problemas de salud (1), dañando tanto a flora como a la fauna de nuestro país, por lo que se han creado entidades que apoyan la protección del medio ambiente de Guatemala. En el año 1,986 se promulgó una ley de protección y mejoramiento del medio ambiente Decreto 68-86, en donde se mencionan las políticas ambientales, por lo que se creó la Comisión Nacional del Medio Ambiente “CONAMA” hoy en día convertida en Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

En 1,989 se emite el reglamento de Requisitos mínimos y máximos permisibles de Contaminación para la descarga de aguas servidas, Acuerdo Gubernativo No 60-69. En 1,999 se creó una versión preliminar del reglamento de Aguas Residuales en donde se incluyeron los límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas residuales en la industria, incluyendo la avícola para la producción de carne de pollo.

Existen leyes que protegen el medio ambiente así es el caso del artículo 97 de la Constitución Política de la República de Guatemala: *Medio ambiente y equilibrio ecológico;* “ En donde el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación” (2).

Se generan grandes cantidades de aguas servidas como consecuencia del desarrollo de las actividades humanas, de manera que los mayores componentes de aguas residuales son de la industria, la ganadería, la agricultura y las actividades domésticas. En la mayoría de los países desarrollados son tratadas las aguas residuales, eliminando los componentes considerados peligrosos y para reducir la materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) antes de ser vertida a los cuerpos de

agua receptores. Sin embargo, en nuestro país, la mayoría de las industrias arrojan las aguas residuales a los desagües sin ningún tratamiento previo, lo que a nivel global hace que el problema de contaminación del medio ambiente sea más severo.

Los contaminantes biodegradables de las aguas residuales pueden ser degradados mediante procesos naturales o en un sistema de tratamientos, que aceleren el proceso de descomposición de la materia orgánica (3).

3.1 Industria avícola:

Cuando se recorre el valle de Amatlán y se observa el río Villa Lobos, vemos que sus aguas son de color oscuro y emanan olores desagradables, esto nos indica que tanto las comunidades como las industrias y las autoridades correspondientes, no han hecho los suficientes esfuerzos para proteger estos recursos hídricos y desarrollar políticas sostenibles para la protección de las fuentes de agua.

La industria, la agricultura, la ganadería, las granjas avícolas, entre otras, son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas.

En la industria avícola el consumo de agua es muy alto, pues es un insumo fundamental en las diferentes operaciones que se realizan, tales como: lavado, escaldado, evisceración, enfriamiento, transporte de algunos subproductos y aseo, entre otros. Los procesos de beneficio y la obtención del producto produce una serie de residuos como plumas, sangre, vísceras, grasas y otros, que contribuyen a la contaminación del agua.

En el entorno de las industrias avícolas se observa inconformidad por las comunidades que viven a sus alrededores debido a la emisión de algunos malos olores, los cuales son ocasionados por los gases que se liberan durante el proceso de descomposición de la materia orgánica.

3.2 Sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: como floculante para tratamiento de aguas residuales.

El proceso de floculación se emplea para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos siempre que su rapidez natural de asentamiento sea demasiado baja (4).

El uso de un floculante químico puede hacer que los materiales suspendidos de tipo coloidal o finamente divididos se reúnan en partículas mayores denominadas flóculos o grumos que se asientan con rapidez. Los floculantes forman un precipitado que tienen una enorme área de superficie por unidad de volumen. En este precipitado la materia suspendida y coloidal del agua se separa gracias a los fenómenos de atracción electrofísica, absorción, adsorción y aglutinación física. Por ejemplo el sulfato de aluminio reacciona con los iones oxhidrilo del agua para formar hidróxidos de aluminio complejos que son relativamente insolubles a un pH 6 a 8, con ayuda de una agitación suave adecuada, las partículas de hidróxido de aluminio precipitan, se aglutinan formando grumos visibles que se sedimentan por gravedad, la simultánea formación, aglomeración, absorción e inclusión de materia suspendida dentro del flóculo o grumo, constituyen el proceso de floculación (5,6,7).

El sulfato de aluminio es un compuesto químico muy práctico de utilizar y económico. Su presentación es en forma de cristales de color blanco (8,9). Dependiendo de la turbiedad del agua, permite utilizar una dosis adecuada en polvo sin afectar la salud de las personas y sedimentando las partículas suspendidas en el fondo del recipiente.

Al utilizar un floculante en agua turbia se logra que la mayoría de las partículas suspendidas se precipiten en el fondo del recipiente, dejando un sobrenadante de agua clara arriba y una capa de sedimentos en el fondo.

Dependiendo del grado de turbidez del agua, la dosificación varía; por esta razón es importante hacer algunas pruebas variando la dosificación hasta

encontrar la más conveniente. Este producto se puede conseguir en establecimientos que distribuyan productos químicos en general.

3.3. Investigaciones relacionadas con el medio ambiente:

En la Universidad de San Carlos se han realizado estudios sobre el medio ambiente, proponiendo la creación de plantas de tratamiento de aguas residuales en diferentes poblaciones. En la carrera de Química Farmacéutica se han realizado tres trabajos de tesis que son los siguientes:

1. “Análisis de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del Ingenio Tierra Buena”, se utilizó un tratamiento primario de sedimentación con beneficio para eliminar la materia orgánica y los sólidos en suspensión de las aguas residuales del ingenio Tierra Buena (10).
2. “Características y eliminación de colorantes residuales que provienen de las aguas de lavado de industrias textiles que tiñen hilo de algodón” (11), en donde al concluir la tesis se encontró que, la contaminación de las aguas residuales de la industria textil sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos por la Comisión del Medio Ambiente.
3. “ Impacto ambiental de la industria Farmacéutica en Guatemala”, en donde los métodos preferidos para la eliminación de residuos, en la mayoría de los laboratorios, incluye tratamientos químicos, uso de algún vertedero e incineración (12).

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales estableció los análisis, así como una serie de propuestas y soluciones destinadas a la reducción y control de la contaminación por vertido de líquidos de origen doméstico e industrial, en las mismas se incluye: políticas, objetivos, estrategias, planes, programas y proyectos que tienen la intención de definir una línea de acción que facilite la consecución de todas éstas en función de las necesidades

ambientales y de la población. De este análisis se deduce que en 1,995 Guatemala, era un país con altos niveles de contaminación, debido a que solo se trataba el 4% del total de aguas residuales (13).

Vargas Sergio, realizó en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, un estudio, en el que propone un diseño de un programa de evaluación general de la calidad de agua en Guatemala. En este trabajo se recomienda establecer un programa sistemático de evaluación de la calidad del agua en el país, ya que esta evaluación se ha efectuado en forma desordenada. En el programa se establecieron los ensayos que se pueden efectuar tanto en el campo como en el laboratorio, también se establecieron los parámetros de los componentes más comunes (14).

4. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo surge de la preocupación por el deterioro del medio ambiente que enfrenta nuestro país, la degradación del ambiente causa daño a la salud, lo que conlleva a graves enfermedades afectando la vida de las personas. Por lo anteriormente mencionado se hace necesario efectuar un análisis de los parámetros físico-químicos de las aguas residuales de la industria avícola (carne de pollo) de Guatemala y proponer un tratamiento que ofrezca la reducción eficiente de la carga contaminante y a la vez sea factible técnica y económicamente para la industria mencionada.

5. OBJETIVOS

a. Generales:

- i. Proponer un tratamiento para las aguas residuales de la industria avícola de Guatemala que sea factible técnica y económicamente.
- ii. Evaluar la efectividad del tratamiento de floculación utilizando sulfato de aluminio para la sedimentación de partículas en las aguas residuales de las avícolas (carne de pollo).

b. Específicos:

- i. Determinar la concentración óptima de sulfato de aluminio (floculante), que permita que el efluente se encuentre en niveles aceptables por la versión preliminar del reglamento de aguas residuales (Acuerdo gubernativo No 60-89 del año 1989) (13).
- ii. Efectuar análisis de los parámetros físico- químicos de las aguas residuales de las avícolas (carne de pollo) después de aplicar el tratamiento con sulfato de aluminio.

6. HIPÓTESIS

- 6.1** Con un tratamiento de floculación usando sulfato de aluminio en aguas residuales de plantas avícolas, se puede reducir en un 60% la cantidad de materia orgánica contaminante medida como Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.₅), parámetros normados por el reglamento para la descarga de aguas servidas. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales)

7.MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Universo de trabajo:

Aguas residuales de las avícolas de Guatemala.

7.2 Medios:

7.2.1.Recursos Humanos:

Br. María Clemencia Corzo Pacheco. (Autora)

Lic. Carlos Rodolfo Girón Corzo. (Asesor)

Licda. Silvia Echeverría Barillas. (Co-Asesora).

7.2.2.Recursos Materiales :

7.2.2.1 Instalaciones:

- Avícolas de Guatemala.
- Laboratorio ECOQUIMSA.

7.2.2.2. Equipo:

- Thermoreaktor TR 300.
- Estufa de Laboratorio.
- Horno.
- Desecadora.
- Balanza analítica.

7.2.2.3.Cristalería:

- Conos Imhoff marca Wheaton.
- Pipetas volumétricas.
- Cápsulas de porcelana.
- Probetas.
- Beakers.
- Tubos.

- Una caja de membranas de fibra de vidrio GFA 70 mm.

7.2.2.4 Reactivos:

- Sulfato de aluminio.
- Solución Buffer de fosfatos pH 7.
- Agua de dilución.
- Sulfato de Magnesio.
- Ácido Glutámico, glucosa: Control de D.B.O.
- Tiosulfato pentahidratado.
- Solución A. MERK para D.Q.O.
- Hidróxido de sodio.
- Yoduro de potasio.
- Dicromato de potasio.
- Sulfato de plata.
- Ácido Sulfúrico Concentrado.

7.3 Métodos:

7.3.1 Muestreo:

Este consistió en tomar 7 muestras compuestas en la salida general de las avícolas, en días diferentes. Las muestras se tomaron en 7 envases de vidrio de un galón y se almacenaron a 5°C.

7.3.2 Análisis.

7.3.2.1 Floculación:

7.3.2.1.2 Principio del método

El uso de un floculante químico puede hacer que los materiales suspendidos de tipo coloidal o finamente divididos se reúnan en partículas mayores denominadas

flóculos o grumos que se asientan con rapidez. Los floculantes forman un precipitado que tienen una enorme área de superficie por unidad de volumen. En este precipitado la materia suspendida y coloidal del agua se separa gracias a los fenómenos de atracción electrofísica, absorción, adsorción y aglutinación física. Por ejemplo el sulfato de aluminio reacciona con los iones oxhidrilo del agua para formar hidróxido de aluminio complejos que son relativamente insolubles a un pH 6 a 8, con ayuda de una agitación suave adecuada, las partículas de hidróxido de aluminio precipitan se aglutinan formando grumos visibles que se sedimentan por gravedad, la simultánea formación, aglomeración, absorción e inclusión de materia suspendida dentro del flóculo o grumo, constituyen *el proceso de floculación*. (5,6).

La floculación se emplea para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos siempre que su rapidez natural de asentamiento sea demasiado baja para proporcionar clarificación efectiva. El agua cruda residual contiene material suspendido, tanto sólidos que pueden asentarse como partículas lo bastante grandes que se asientan en reposo, o sólidos dispersados que no se asentarán con facilidad. Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, haciendo que repela las partículas vecinas, como se repelen partículas que forman así masas mayores llamadas flóculos.

La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no sólo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también afecta su naturaleza física (16).

7.3.2.1.2 Reactivos

- Sulfato de aluminio.

7.3.2.1.3 Equipo y cristalería:

- Pipeta.
- Beaker.
- Espátula.
- Balanza.
- Bureta.
- Agitador magnético.
- Magneto.

7.3.2.1.4 Determinación:

Se mide 250 ml. de la muestra en un beaker de 300 ml. Se le agrega a la muestra sulfato de aluminio a 3 diferentes concentraciones de 200, 250 y 300 mg/l, se agita por 10 minutos a una velocidad constante y luego se deja reposar por 60 minutos para luego realizarle los ensayos de sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O₅), demanda química de oxígeno (D.Q.O) y pH.

7.3.2.2 Sólidos Sedimentables:

7.3.2.2.1 Principio del método:

Los sólidos sedimentables son aquellos residuos o sólidos presentes en el agua, que por su peso y tamaño, son susceptibles de sedimentarse. La importancia que posee la determinación de este parámetro, es que los procesos de tamizado y sedimentación simple, están encauzados a la remoción de este tipo de residuos, por lo que su determinación es una medida de la eficiencia de remoción de materia orgánica desde este punto de vista. (17).

7.3.2.2.2 Aplicabilidad del método:

- a. Rango de trabajo: 0.1ml a 1 litro
- b. Sensibilidad: El método puede detectar hasta 0.1ml de volumen sedimentado.
- c. Precisión: Varía de acuerdo al volumen sedimentado:

volumen sedimentado	Precisión
0.1-1 ml	0.1ml
1-10 ml	0.5 ml
10-40 ml	1 ml
40-100 ml	2 ml

7.3.2.2.3 Reactivos:

No involucra solución alguna.

7.3.2.2.4 Equipo:

- Cono de Imhoff para un litro.
- Soporte adecuado para el cono de Imhoff.

7.3.2.2.5 Determinación:

Colocar el cono Imhoff en una gradilla o soporte. Homogenizar la muestra de forma enérgica dentro del recipiente que contiene el agua a analizarse y vertir en el cono hasta la marca de 1000 ml. Dejar reposar la muestra por 45 minutos, agite la muestra suavemente cerca de los lados del cono con una varilla de vidrio deje reposar por 15 minutos y anote el volumen de los sólidos sedimentables (16).

Cálculos:

El resultado es directo a la lectura en el cono.

7.3.2.3 **Sólidos Totales (Método Gravimétrico):**

7.3.2.3.1 Principio del método:

Una muestra debidamente homogenizada es evaporada a sequedad en una cápsula previamente tarada, y llevada a peso constante en una estufa/horno a 103-105°C. El incremento en el peso de la cápsula representa el peso de los sólidos totales presentes en la muestra (16).

7.3.2.3.2. Aplicabilidad del método:

- Rango de trabajo: este es delimitado por el error que pueda tener la balanza.
- Sensibilidad: el método detecta hasta 10 mg/L de sólidos totales

7.3.2.3.3 Reactivos.

- Solución de cloruro de sodio de 1000ppm. (como control).

7.3.2.3.3.1 Preparación:

NaCl (1000ppm): Colocar el cloruro de sodio 99.5% de pureza en el horno durante una hora a 105 °C. Dejar enfriar en la desecadora y pesar exactamente 2.000g del reactivo. Disolver en agua desmineralizada y aforar a un litro.

7.3.2.3.3.2 Equipo.

- Balanza analítica (+- 0.0001g).
- Horno.
- Desecadora.
- Cápsulas de porcelana.
- Estufa con temperatura controlada.
- Mufla para operar a 550°C.
- Agitador magnético.
- Magnetos.

7.3.2.3.3.3.Determinación.

Calibración: para calibrar la balanza presionar el botón CAL de la balanza. Deslizar hacia atrás el peso calibrador de la balanza y esperar que la lectura del peso aparezca en la pantalla.

Procedimiento: homogenizar la muestra con un agitador magnético, y mientras se está agitando, tomar una alícuota de 50 ml y verter en una cápsula previamente tarada. Colocar la cápsula en la estufa y ajustar la temperatura de tal modo que no ebulle. Cuando la muestra se haya

evaporado casi completamente, y quede un residuo de aproximadamente 2 ml, colocar en el horno a 105 °C, hasta llevar a sequedad. Sacar la cápsula y dejar enfriar en una desecadora. Pesar la cápsula seca (17).

7.3.2.3.3.4 Cálculos:

Sólidos totales (mg/L) = [Peso final (g) – Peso inicial (g)] x 20,000.

7.3.2.4 Sólidos en suspensión (Método Gravimétrico):

7.3.2.4.1 Principio del método:

Una muestra bien mezclada es filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio estándar, previamente pesada. El residuo retenido en el filtro es secado a peso constante a 103 – 105°C. El incremento en peso de los filtros representa el total de los sólidos suspendidos. Si el material en suspensión tapa al filtro y prolonga la filtración, la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos totales puede proveer un estimado de los sólidos en suspensión totales (16).

7.3.2.4.2 Aplicabilidad del método:

Rango de trabajo: este es delimitado por el error que pueda tener la balanza.

Sensibilidad: 10 mg/L

7.3.2.4.3 Reactivos:

- Agua desmineralizada.

7.3.2.4.4 Equipo:

- Balanza analítica (+- 0.0001g)

- Horno.
- Desecadora.
- Bomba de vacío.
- Filtros de fibra de vidrio.
- Estufa con temperatura controlada.
- Mufla para operar a 550°C.
- Agitador magnético.
- Magneto.
- Quitazato, embudo Büchner.

7.3.2.4.5. Determinación.

Calibración: para calibrar la balanza presionar el botón CAL de la balanza. Deslizar hacia atrás el peso calibrador de la balanza y esperar a que la lectura del peso aparezca en la pantalla.

7.3.2.4.6 Procedimiento:

Secar los filtros de fibra de vidrio en un horno, a 110 ° C durante una hora. Dejar enfriar en la desecadora. Pesar el filtro. Preparar el aparato de filtración de la siguiente forma: ensamblar el embudo Büchner con el quitazato y colocar en el embudo un filtro de fibra de vidrio seco y previamente pesado. Conectar al vacío. Homogenizar la muestra y verterla en un beaker de un litro. Colocar esta muestra en un agitador magnético y mientras se está agitando tomar una alícuota (50 ml). Verter directamente en este filtro. Accionar la bomba de vacío y dejar que la

muestra sea filtrada. Retirar el filtro y secar en un horno a 103-105°C. Dejar enfriar el filtro en una desecadora y pesarlo en una balanza analítica (17).

7.3.2.4.6 Cálculos:

Sólidos en suspensión: (mg/L) = [Peso final (g) – Peso inicial (g)] x 20,000

7.3.2.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

7.3.2.5.1 Principio del método:

La demanda química de oxígeno es utilizada como una medida del oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica de una muestra, que es susceptible a oxidación por un químico. Es una medida indirecta de la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar parcial o totalmente la materia orgánica biodegradable o no biodegradable, presente en el agua residual por medio de un agente químico fuertemente oxidante. Los resultados de la prueba de la DQO, se expresan como mg/L DQO. La DQO es llamada también demanda inmediata de oxígeno, porque puede determinarse en cuestión de horas; a diferencia de la prueba de la DBO, que normalmente requiere de varios días. La importancia que tiene la determinación de este parámetro es la relación de DBO a DQO (DBO/DQO) ya que esta relación permite determinar si los desechos contenidos en el agua pueden ser degradados biológicamente o por el contrario, indica que el desecho no es tratable en forma biológica. Asimismo, la disminución de la DQO en las distintas unidades de tratamiento (filtración y

sedimentación) es una medida de la eficiencia de remoción que se realiza, en términos de la cantidad total de oxígeno que se requiere para la estabilización de los desechos del agua residual. Los recipientes utilizados para la reacción colorimétrica, son tubos de ensayo herméticamente cerrados. La medición se efectúa a 600 nm con un espectrofotómetro. La mayoría de materia orgánica es oxidada por una mezcla hirviente de ácido crómico y sulfúrico. Una muestra es refluja en una solución fuertemente ácida, con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Cuando la materia orgánica es oxidada por el dicromato en ácido sulfúrico, la mayoría del carbón es convertido a CO_2 . El hidrógeno presente es convertido a H_2O . Los iones de dicromato forman una solución coloreada de anaranjado. Cuando el dicromato es reducido a ion crómico (Cr^{+3}), la solución se torna verde. Pueden ocurrir estados de valencia intermedios (16).

7.3.2.5.2 Aplicabilidad del método.

Rango de trabajo: el método es aconsejable para determinar la demanda química de muestras que presenten $DQO \geq 50$ ppm. También puede utilizarse para aguas que tengan una DQO de 5-50 mg/L, pero con resultados menos exactos.

Sensibilidad: el método puede detectar hasta 5 mg/L de DQO.

Interferentes: los compuestos volátiles de cadena larga no son oxidados en una extensión apreciable ya que se mantienen poco tiempo en contacto con el medio oxidante.

La oxidación de estos compuestos se incrementa considerablemente cuando se utiliza sulfato de plata como catalítico. Sin embargo, la presencia de haluros (Cl, Br o I) interfieren en la determinación ya que los mismos precipitan con la plata, disminuyendo su capacidad oxidante. Dicha interferencia puede ser eliminada empleando sulfato de mercurio durante la digestión. Si la concentración de cloruros es mayor a 2000 ppm, no se recomienda el uso de este método, aunque se emplee sulfato de mercurio. El ión nitrito también interfiere en la determinación pero su concentración en aguas, raras veces excede de las 2 ppm. Si las concentraciones fueran mayores, se recomienda la adición de 10mg de ácido sulfámico por cada miligramo de este ión (16).

7.3.2.5.3 Reactivos:

- Solución A para DQO, de MERCK, 1.14679.0495.
- Solución B; DQO, de Merck 1.14541.
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Solución de sulfato de plata.

Solución de sulfato de plata: pesar 1.00g y disolver en 100ml de agua. Para remover cloruros tomar de esta solución mientras se agita.

Tubos de reacción para DQO: en tubos de 16x100mm vertir 0.3ml de solución A y 2.3ml de solución B. Utilizar buretas de 10 mL para la preparación de estos tubos (16).

7.3.2.5.4 Equipo:

- Fotómetro Spectroquant SQ 118.
- Digestor para DQO con capacidad para 25 tubos de 16 x 100mm con temperatura controlada a 150°C.
- Agitador magnético.
- Magnetos.

7.3.2.5.5 Determinación.

Procedimiento: verificar que la muestra no contenga cloruros con nitrato de plata. Usar el filtrado de esta dilución para la determinación. Si no hay presencia de cloruros, colocar la muestra sobre un agitador magnético, para tomar una muestra representativa del agua a analizarse. Pipetear tres mililitros de la muestra mientras ésta se agita y se vierte directamente en el vial. Proceder de la misma forma con agua desmineralizada y controles preparados de ftalato ácido de potasio de 500 y 1000 mg O₂ de DQO/L. Colocar los tubos en el digestor y mantener a 150°C durante dos horas. Dejar enfriar y leer espectrofotométricamente (16).

7.3.2.5.6. Porcentaje de remoción:

Este determina la cantidad de materia orgánica removida en determinado tiempo de tratamiento. La fórmula es aplicable tanto a Demanda Química de Oxígeno como a Demanda Bioquímica de Oxígeno.

$$\% \text{ de remoción (x tiempo)} = \frac{(\text{Valor Inicial} - \text{Valor Final})}{\text{Valor Inicial}} * 100$$

7.3.2.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno:

7.3.2.6.1 Principio del método:

El método consiste en llenar una botella de volumen conocido con la muestra a analizar, para luego incubarla durante cierto período (usualmente 5 días) a una temperatura controlada. El oxígeno disuelto es medido antes y después del período de incubación. La DBO se calcula como la diferencia entre ambos valores. Es un bioensayo que mide la cantidad de oxígeno disuelto que se requiere para la estabilización de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, mediante microorganismos esencialmente aeróbicos; durante un intervalo de tiempo y temperatura determinados. La importancia que tiene la determinación de este parámetro dentro del estudio, es que cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, mayor es el requerimiento de oxígeno para lograr su estabilización. Y dado que los procesos de filtración biológica y sedimentación simple que se realizan en la planta de tratamiento, tienen como finalidad la remoción de la materia orgánica del agua, la disminución o el aumento de la DBO en las distintas unidades de tratamiento, proporciona datos acerca de la eficiencia operacional de estas unidades (16).

7.3.2.6.2 Reactivos.

- Agua de dilución: Pesar 22.5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.25 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y 27.5 g de CaCl_2 . Disolver los reactivos en el orden en que se listan, mezclar y transferir

cuantitativamente a un balón de un litro y aforar con agua desmineralizada.

- Buffer de fosfatos: pesar 8.5g de KH_2PO_4 , 21.75 g K_2HPO_4 , 33.4g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 1.7 g. de NH_4Cl y aforar a un litro. El pH de la solución tiene que ser 7.2 y no puede ser ajustado.
- Reactivo de álcali-yoduro y azida, para muestras saturadas o menos de saturadas ($<$ o igual a 10ppm de oxígeno disuelto): Disolver 500g NaOH (o 700gKOH) y 135g NaI (o 150g KI) en agua destilada y diluir a un litro. Añadir 10g de NaN_3 disueltos en cuarenta mililitros de agua destilada. Las sales de potasio y sodio pueden ser usadas intercambiabilmente. Este reactivo no tiene que dar color con la solución de almidón cuando es diluida y acidificada.
- Almidón: usar una solución acuosa o mezcla de polvos de almidón soluble. Para preparar una solución acuosa disolver 2 gramos de almidón soluble grado laboratorio y 0.2 g de ácido salicílico, como preservante, en 100 ml de agua destilada caliente.
- Solución estándar de tiosulfato de sodio: disolver 6.205g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Añadir 1.5ml de NaOH_6N o 0.4g de NaOH sólido y diluir a 1 litro. Estandarizar con bi-yodato la solución.
- Solución estándar de biyodato de potasio, 0.0021M: disolver 812.4mg $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ en agua destilada y diluir a 1000ml.
- Fluoruro de potasio: disolver 40g de $\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir a 100ml.

- Estándar de glucosa y ácido glutámico: en un beaker de 100ml pesar 150mg de glucosa y 150mg de ácido glutámico, luego disolver en agua destilada. Transferir cuantitativamente a un balón de un litro y aforar.
- Sulfato de manganeso: pesar 91.0g de sulfato de manganeso anhidro ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Agregar lentamente agua desmineralizada hasta disolver las sales. Aforar a 250 ml con agua desmineralizada.

7.3.2.6.3 Equipo:

- Incubadora.

7.3.2.6.4 Materiales y cristalería:

- Botellas Winkler de 300ml.
- Bureta de 10ml.
- Erlenmeyer de 250ml.
- Pipetas graduadas de 10 ó 5 ml.
- Gotero.
- Beakers y balones que corresponden a la preparación de las soluciones.

7.3.2.6.5 Determinación.

La muestra tiene que estar en un pH de 6 a 8, de lo contrario se ajusta con soluciones diluidas de hidróxido de sodio o de ácido sulfúrico respectivamente.

Es importante ajustar la concentración del agente neutralizante para evitar diluciones mayores al 0.5% de la muestra.

Para diluir la muestra de agua: lo que se pretende al diluir una muestra de agua es lograr que el oxígeno residual, luego del período de incubación de la misma, sea de por lo menos 1 mg O₂/L, con un consumo mínimo de 2mg O₂/L.

Para tener una idea de la magnitud de dicha dilución, se sugiere realizar una predicción basada en el valor obtenido para la demanda Química de Oxígeno.

En muchos casos, el valor correspondiente para la DQO es aproximadamente dos veces el valor de la DBO.

En la tabla siguiente se muestra la magnitud de la dilución basada en el valor de DBO. Si se conoce la DQO, se divide dicho valor entre dos y con la DBO estimada, se determina la dilución a efectuar empleando dicha tabla.

Rango DBO (mg/L)	Volumen a utilizar (300 ml)
30,000 - 105,000	0.02
12,000 - 42,000	0.05
6,000 - 21,000	0.1
3,000 - 10,500	0.2
1,200 - 4,200	0.5
600 - 2,100	1
300 - 1,050	2
120 - 420	5
60 - 210	10
30 - 105	20
12 - 42	50

6 - 21	100
0 - 7	300

Con base en este listado y utilizando una pipeta volumétrica, se vierte una alícuota de una muestra en una botella para DBO.

Cuando la dilución requerida es muy baja (menor al 1%), se sugiere preparar una dilución previa. Una vez vertida la alícuota adecuada, se llena la botella con agua de dilución hasta que rebalse. Cada muestra es preparada en duplicado.

En una de las botellas se determina inmediatamente la cantidad de oxígeno disuelto (DO inicial), mientras que la otra se cierra herméticamente y se incuba a 20 grados centígrados por cinco días.

Al finalizar dicho período, se vuelve a determinar el oxígeno disuelto (DO final).

Paralelamente el análisis de las muestras, se prepara un blanco (agua de dilución) que se analiza como una muestra más. Como control se utiliza la mezcla de ácido glutámico y glucosa (16).

6.3.2.6.5 Cálculos:

$$\text{DBO (mg/L)} = (\text{OD Inicial} - \text{OD Final}) \text{ muestra} - (\text{OD Inicial} - \text{OD. Final}) \text{ blanco} \times 2 \times \text{factor de dilución.}$$

$$\text{Factor de dilución} = (\text{Dilución previa}) \times (\text{Dilución de siembra}).$$

7.3.2.6 pH:

7.3.2.6.1 Principio del Método:

El pH se define como el logaritmo negativo, base 10, de la concentración del ión hidronio (H^+). La determinación del pH se realiza por potenciometría directa (16).

7.3.2.6.2 Reactivos:

Solución buffer de pH 4 y pH 7 para calibración.

7.3.2.6.3 Equipo y materiales:

- Potenciómetro WTW modelo No. 320.

Procedimiento:

Calibrar el potenciómetro con los buffer de pH 4 y pH 7 oprimiendo la tecla CAL seguido de la tecla RUN / ENTER se debe realizar con las dos soluciones calibradoras, seguido de esto, se cambia de modalidad con la tecla pH / mv y se procede a leer estas mismas soluciones, las que no deberán variar de más de 0.05. Luego de verificar la calibración del equipo se procede a leer las muestras, esto se puede hacer directamente en la fuente de agua como en un recipiente recolector, inmediatamente después de ser tomada la muestra (16).

7.3.2.6.3 Cálculos:

Lectura directa. (no necesita cálculos).

7.4 **Diseño de la Investigación.**

7.4.1 Muestreo.

7.4.1.1. Forma de Muestreo.

Este consistió en tomar 7 muestra compuestas de aguas residuales en la salida general de las avícolas, en días diferentes. Las muestras se tomaron en envases de vidrio de un galón y se almacenaron a 5°C.

7.4.1.2 Variables de Interés.

- Sólidos Sedimentables
- Sólidos Totales
- Sólidos en Suspensión
- Demanda Química de Oxígeno
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- pH.

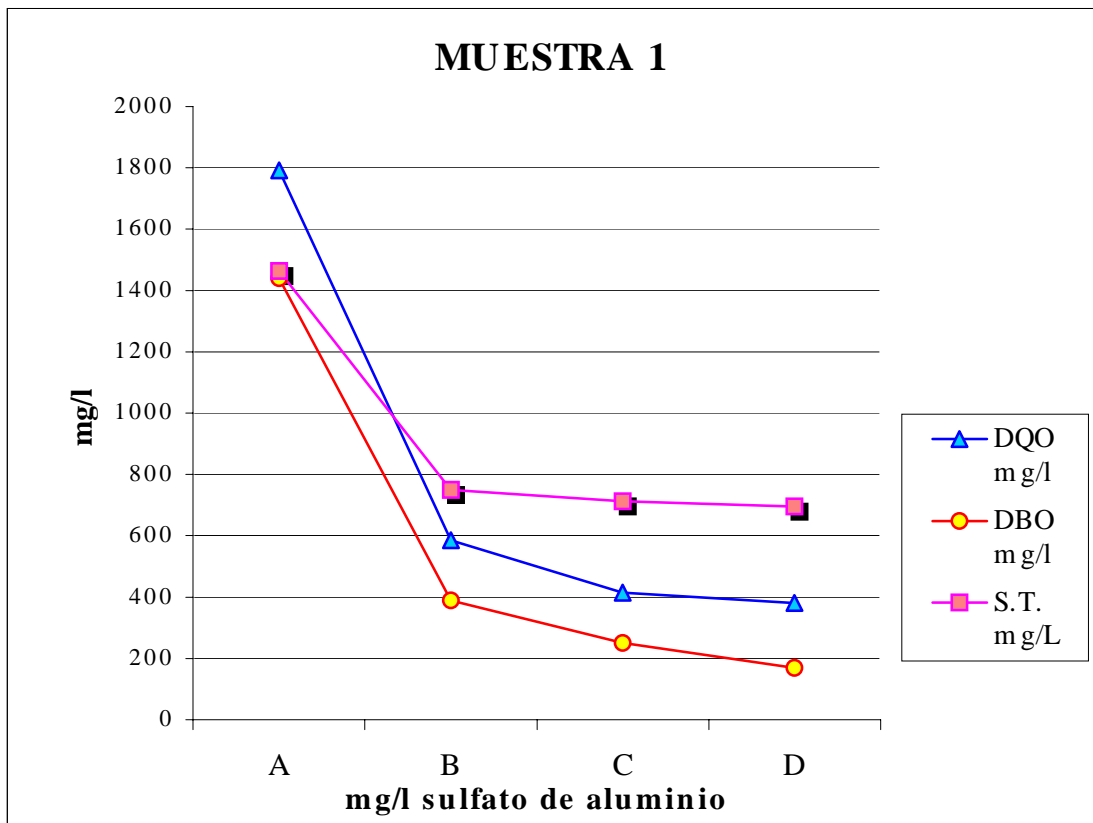
7.4.1.3. Análisis estadístico

- Técnica de regresión para establecer el modelo.

8. RESULTADOS

MUESTRA 1

Tratamiento mg/l	DQO mg/l	DBO mg/l	S.T. mg/l	S. Sed. ml/l	S. Susp mg/l	pH
0	1792	1440	1464	1	654	6.65
200	586	390	750	19.6	46	6.43
250	414	250	712	44	42	6.38
300	380	170	696	52	28	6.39



A = Sin tratamiento. B= 200 mg/l C= 250 mg/l D= 300mg/l

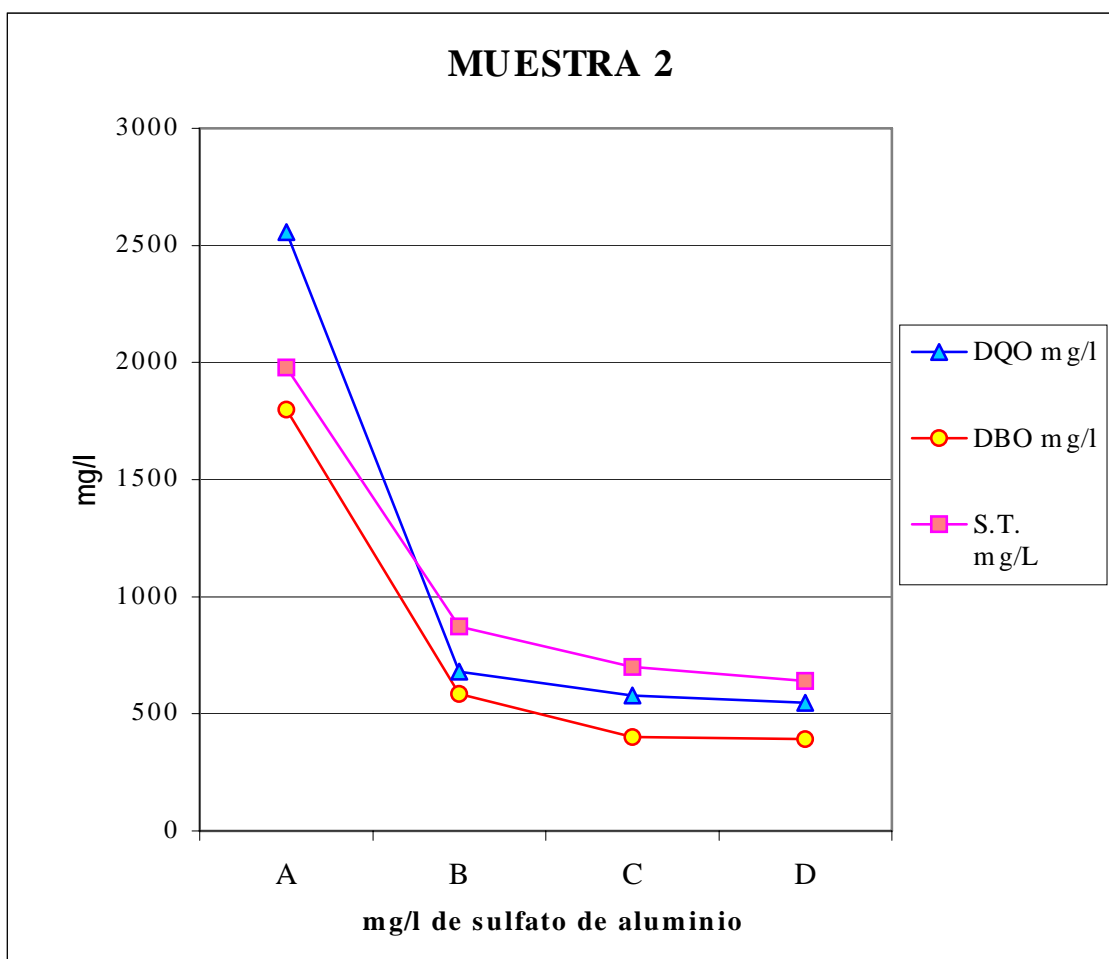
DQO = Demanda química de oxígeno. DBO= Demanda Bioquímica de oxígeno.

S.T.= Sólidos totales. S. Susp. = Sólidos en suspensión.

S. Sed =.Sólidos sedimentables.

MUESTRA 2

Tratamiento mg/l	DQO mg/l	DBO mg/l	S.T. mg/l	S. Sed. m/l	S. Susp. mg/l	pH
0	2556	1800	1978	3.5	842	6.42
200	680	585	872	56	76	6.34
250	578	400	700	64	56	6.31
300	548	392	640	72	52	6.28



A = Sin tratamiento. B= 200 mg/l C= 250 mg/l D= 300mg/l

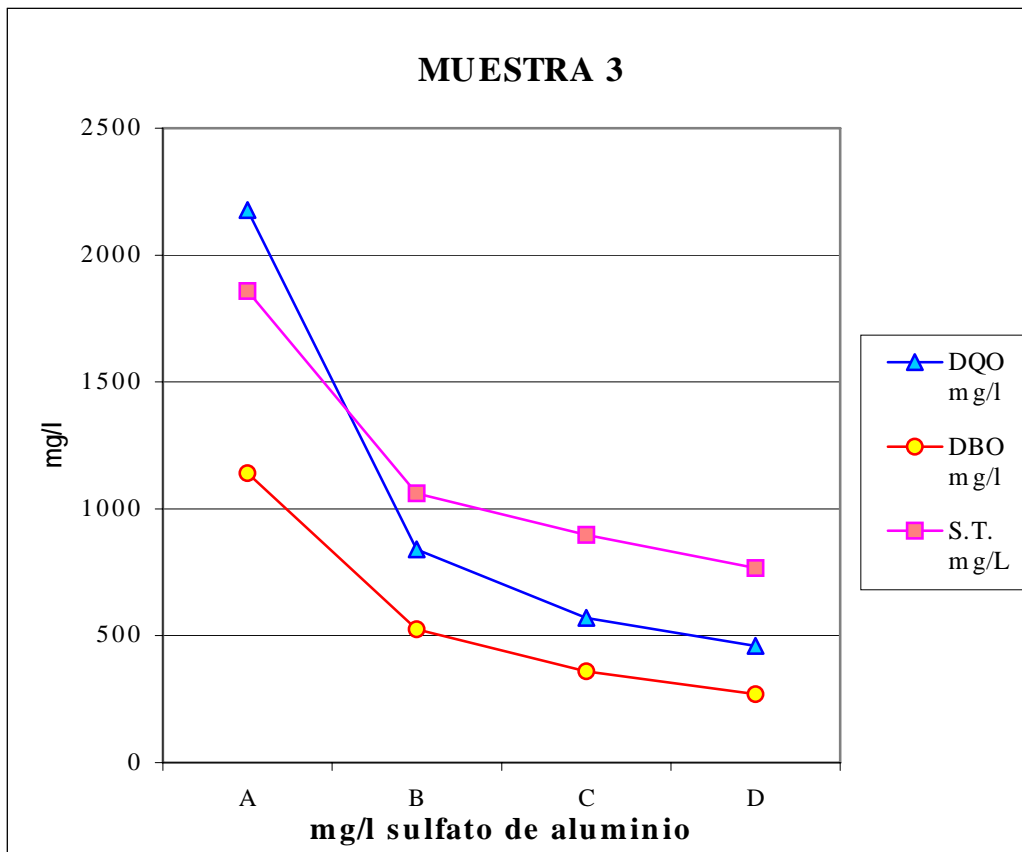
DQO = Demanda química de oxígeno. DBO= Demanda Bioquímica de oxígeno.

S.T.= Sólidos totales. S. Susp. = Sólidos en suspensión.

S. Sed =.Sólidos sedimentables.

MUESTRA 3

Tratamiento mg/l	DQO mg/l	DBO mg/l	S.T. mg/l	S. Sed. ml/l	S. Susp. mg/l	pH
0	2178	1140	1858	6	690	6.58
200	840	525	1060	56	118	6.56
250	570	360	898	72	56	6.45
300	460	270	766	80	42	6.36



A = Sin tratamiento. B= 200 mg/l C= 250 mg/l D= 300mg/l

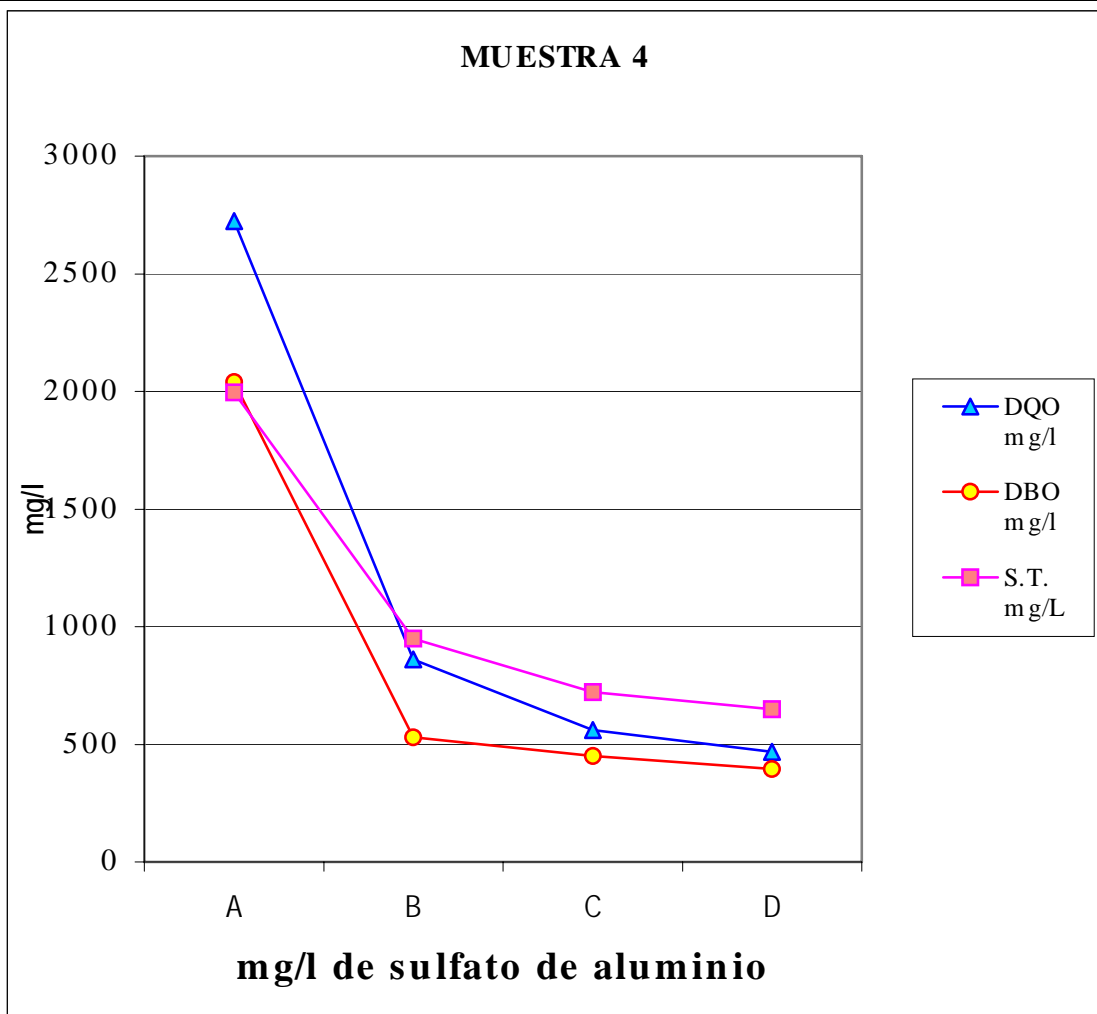
DQO = Demanda química de oxígeno. DBO= Demanda Bioquímica de oxígeno.

S.T.= Sólidos totales. S. Susp. = Sólidos en suspensión.

S. Sed =.Sólidos sedimentables.

MUESTRA 4

Tratamiento mg/l	DQO mg/l	DBO mg/l	S.T. mg/l	S. Sed. ml/l	S. Susp. mg/l	pH
0	2724	2040	1996	6	728	6.75
200	860	530	950	34	102	6.42
250	560	450	722	64	66	6.37
300	460	396	648	72	50	6.31



A = Sin tratamiento. B= 200 mg/l C= 250 mg/l D= 300mg/l

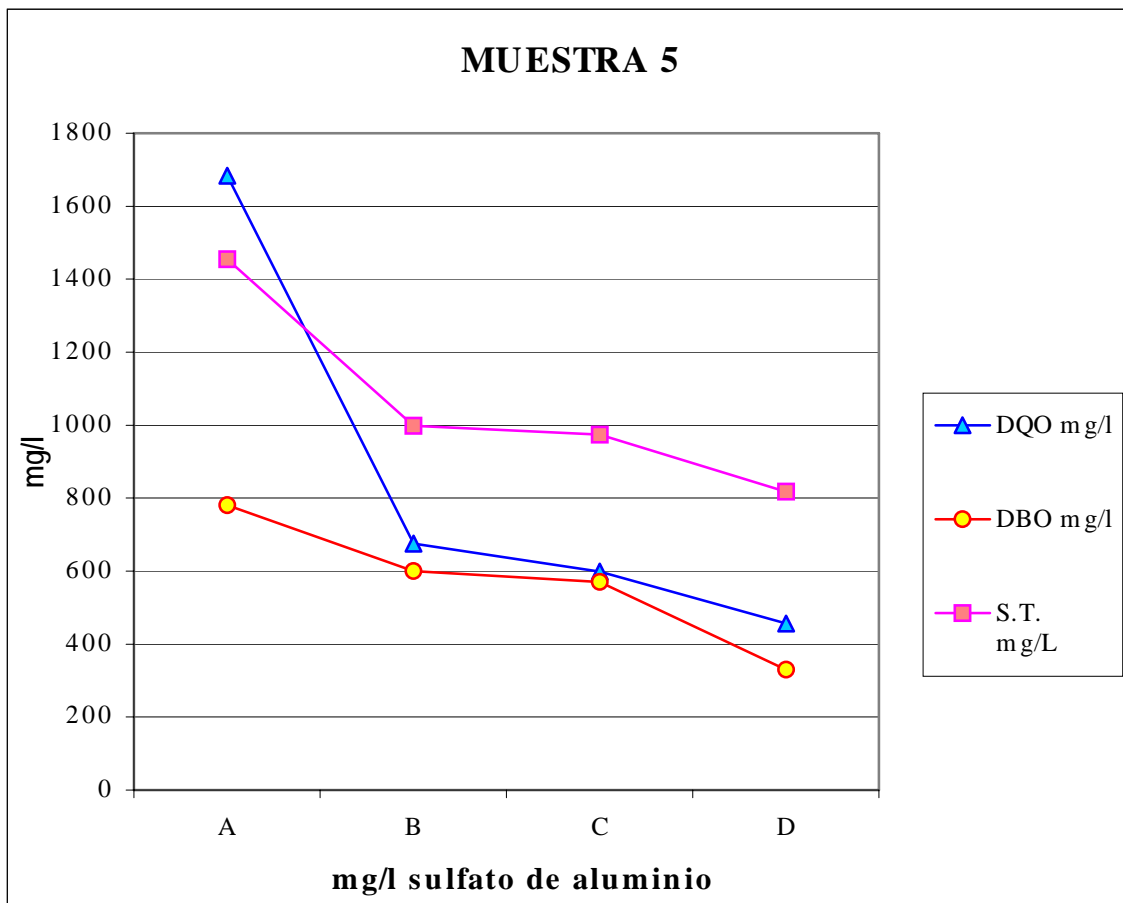
DQO = Demanda química de oxígeno. DBO= Demanda Bioquímica de oxígeno.

S.T.= Sólidos totales. S. Susp. = Sólidos en suspensión.

S. Sed =.Sólidos sedimentables.

MUESTRA 5

Tratamiento mg/l	DQO mg/l	DBO mg/l	S.T. mg/l	S. Sed. ml/l	S. Susp. mg/l	pH
0	1683	780	1454	3	264	6.68
200	676	600	998	36	208	6.42
250	598	570	974	60	126	6.38
300	456	330	818	76	104	6.27



A = Sin tratamiento. B= 200 mg/l C= 250 mg/l D= 300mg/l

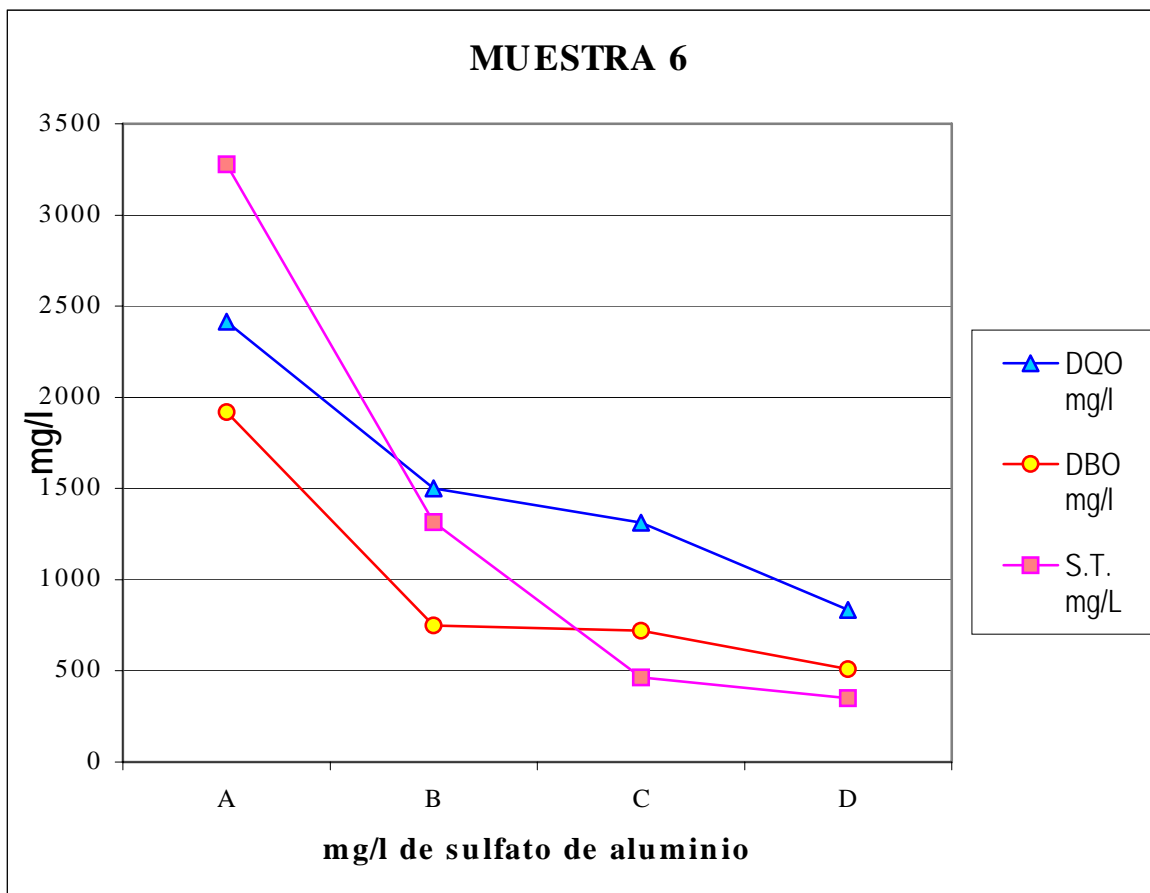
DQO = Demanda química de oxígeno. DBO= Demanda Bioquímica de oxígeno.

S.T.= Sólidos totales. S. Susp. = Sólidos en suspensión.

S. Sed =.Sólidos sedimentables.

MUESTRA 6

Tratamiento mg/l	DQO mg/l	DBO mg/l	S.T. mg/l	S. Sed. ml/l	S. Susp. mg/l	pH
0	2415	1920	3278	24	3278	6.79
200	1500	750	1316	38	470	6.46
250	1312	720	464	52	342	6.46
300	834	510	350	88	212	6.39



A = Sin tratamiento. B= 200 mg/l C= 250 mg/l D= 300mg/l

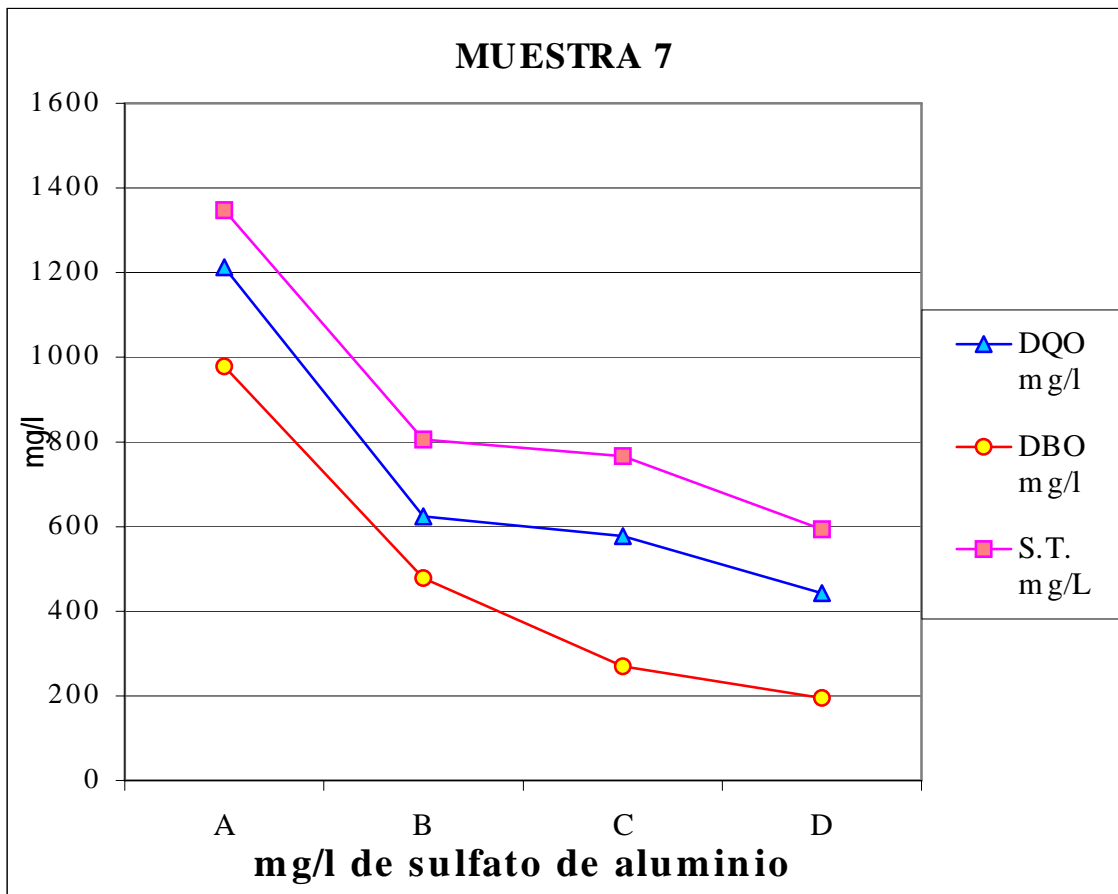
DQO = Demanda química de oxígeno. DBO= Demanda Bioquímica de oxígeno.

S.T.= Sólidos totales. S. Susp. = Sólidos en suspensión.

S. Sed =.Sólidos sedimentables.

MUESTRA 7

Tratamiento mg/l	DQO mg/l	DBO mg/l	S.T. mg/l	S. Sed. ml/l	S. Susp. mg/l	pH
0	1212	978	1348	2	610	6.84
200	624	478	806	30	100	6.47
250	578	270	766	56	56	6.31
300	442	195	594	76	46	6.2



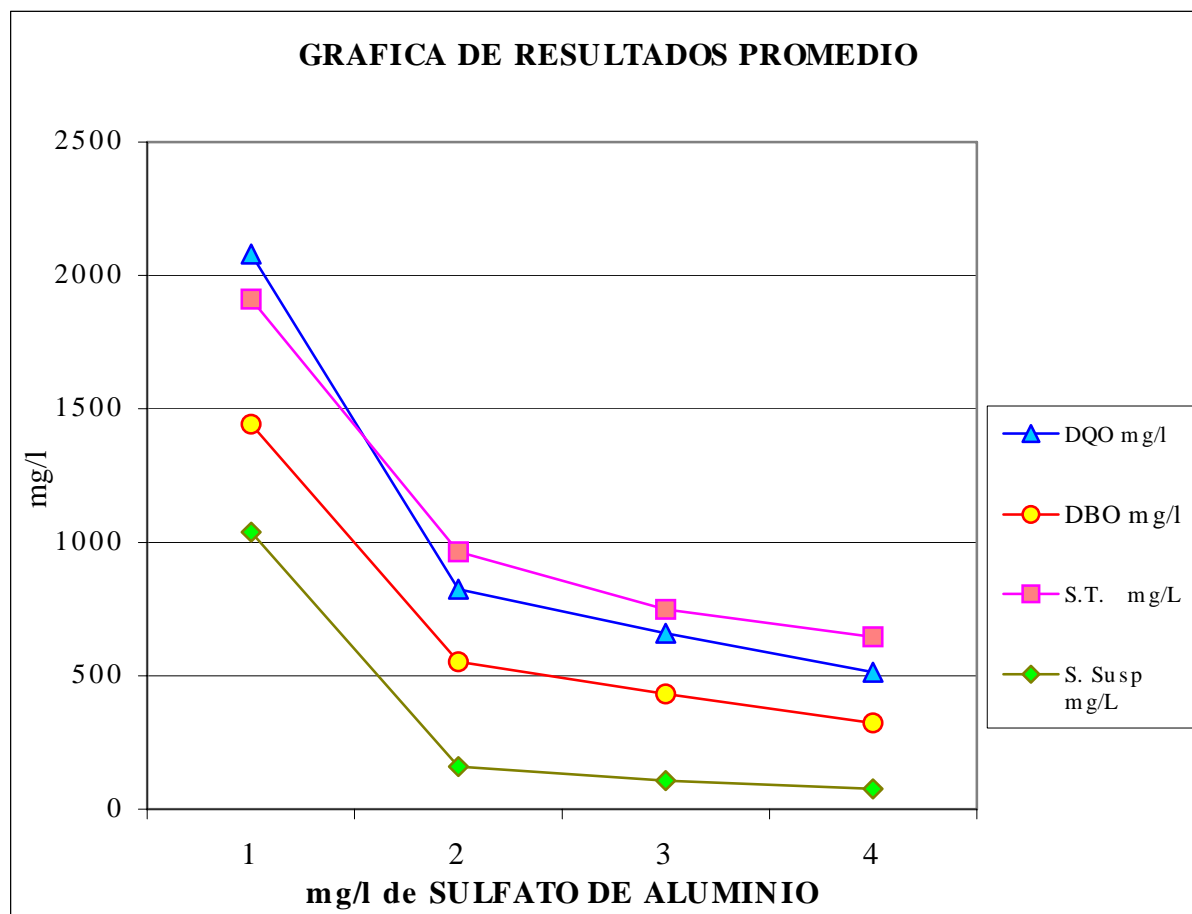
A = Sin tratamiento. B= 200 mg/l C= 250 mg/l D= 300mg/l

DQO = Demanda química de oxígeno. DBO= Demanda Bioquímica de oxígeno.
 S.T.= Sólidos totales. S. Susp. = Sólidos en suspensión.
 S. Sed =.Sólidos sedimentables.

RESULTADOS PROMEDIO DEL TRATAMIENTO

TABLA 1

Concentración mg/l	DQO mg/l	DBO mg/l	S.T. mg/L	S. Sed. ml/l	S. Susp mg/L	pH
0	2080	1443	1911	7	1038	6.67
200	824	551	965	39	160	6.45
250	659	431	748	59	106	6.38
300	513	323	645	74	76	6.31



1= Sin tratamiento

2 = 200mg/l de sulfato de aluminio

3= 250 mg/l de sulfato de aluminio

4= 300 mg/l de sulfato de aluminio.

DQO = Demanda química de oxígeno. DBO= Demanda Bioquímica de oxígeno.

S.T.= Sólidos totales. S. Susp. = Sólidos en suspensión S. Sed =.Sólidos sedimentables.

**PROMEDIOS DE REMOCIÓN
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO**

Tratamiento	DQO mg/l	% de remoción
0	2080	
200	824	60.4
250	659	68.3
300	513	75.4

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO

Tratamiento mg/l	DBO mg/l	% de remoción
0	1443	
200	551	61.8
250	431	70.1
300	323	77.6

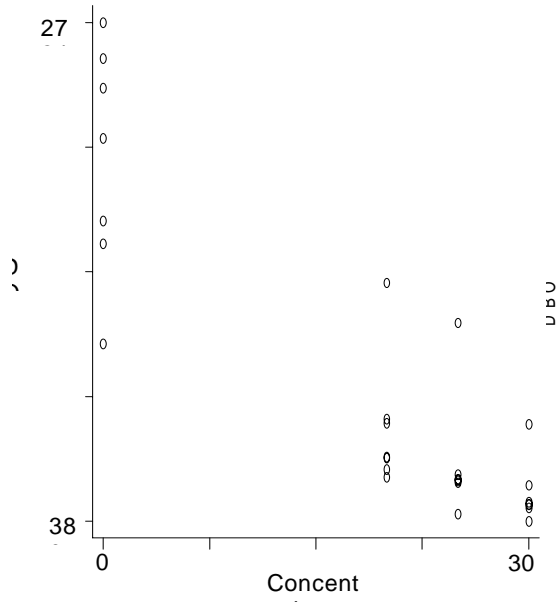
SÓLIDOS TOTALES

Tratamiento mg/l	Sólidos totales mg/l	% de remoción
0	1911	
200	965	49.5
250	748	60.9
300	645	66.3

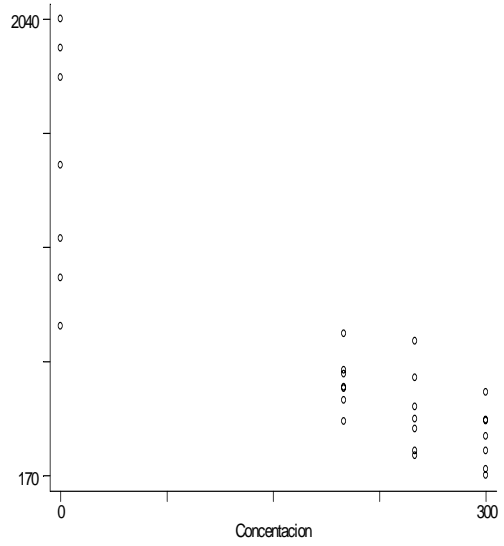
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Tratamiento mg/l	Sólidos en suspensión mg/l	% de remoción
0	1038	
200	160	84.6
250	106	89.8
300	76	92.7

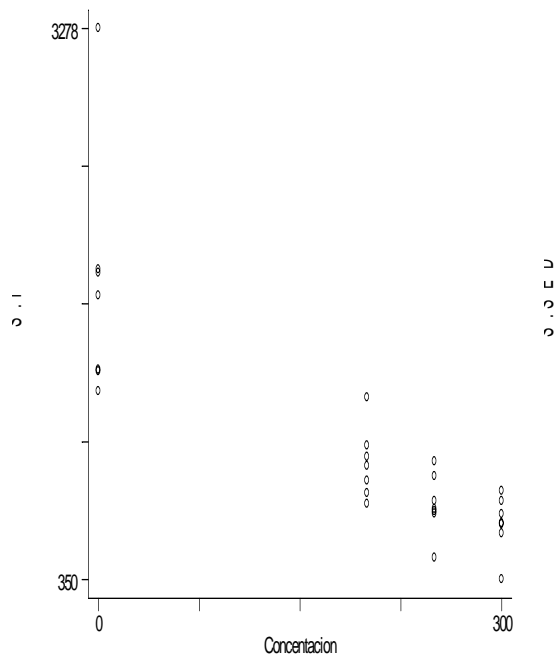
PRUEBAS DE CORRELACIÓN



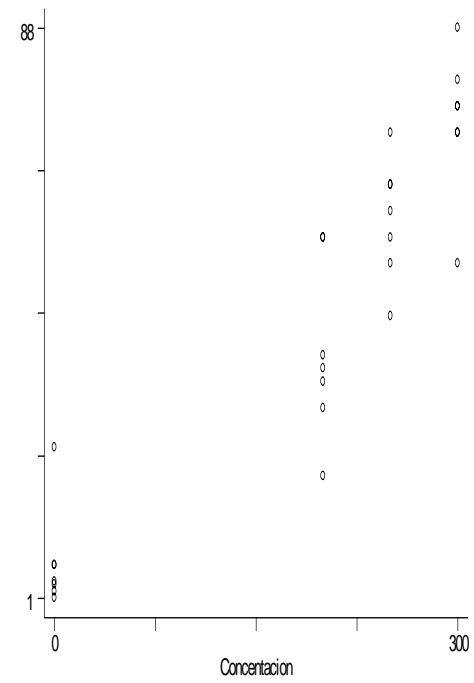
DQO vr mg/l sulfato de aluminio



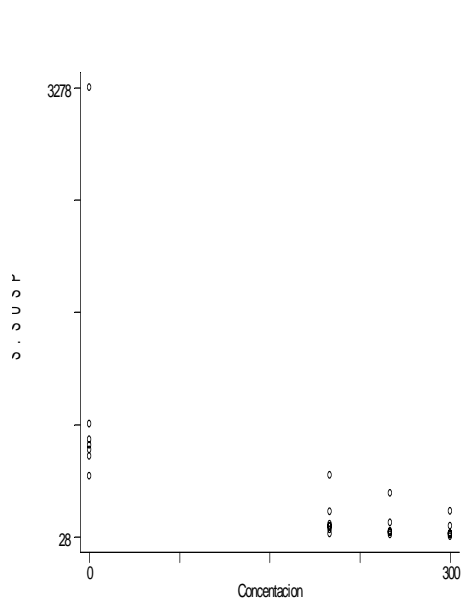
DBO vr mg/l sulfato de aluminio



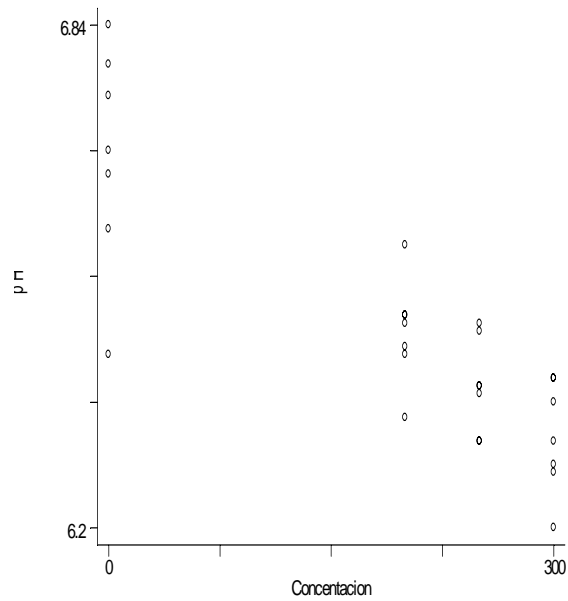
S.T vr mg/l sulfato de aluminio



S. Sed.mg/l sulfato de aluminio



S. susp. vr mg/l sulfato de aluminio



pH vr mg/l sulfato de aluminio

DQO

a Análisis: por grafica lineal.

b Análisis de regresión:

- Relación lineal DQO X Concentración de floculante.

Si es significativo 0.00001

- Ecuación de predicción:

$$\text{DQO} = 2033.94 - 5.41 \times \text{Concentración del floculante.}$$

DBO

a Análisis: Grafica lineal.

b Análisis de regresión:

- Relación lineal DBO X Concentración de floculante.

Si es significativo 0.00001.

- Ecuación de predicción:

$$\text{DBO} = 1410.935 - 3.86 \times \text{Concentración del floculante.}$$

SÓLIDOS TOTALES:

- a Análisis: Grafica lineal.
- b Análisis de regresión:
 - Relación lineal Sólidos totales X Concentración de floculante.
Si es significativo 0.00001
 - Ecuación de predicción:

Sólidos totales = $1887.353 - 4.37 \times$ Concentración del floculante.

SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN:

- a Análisis: grafica lineal.
- b Análisis de regresión:
 - Relación lineal Sólidos en suspensión X concentración de floculante.
Si es significativo 0.0003
 - Ecuación de predicción:

Sólidos en suspensión = $986.3477 - 3.42 \times$ Concentración del floculante.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES

- a Análisis: gráfica lineal
- b Análisis de regresión:
 - Relación lineal Sólidos sedimentables X Concentración de floculante.
 - Si es significativo 0.00001
 - Ecuación de predicción:

Sólidos sedimentables = $3.791222 - 0.216 \times$
Concentración del floculante

pH

- a Análisis: gráfica lineal.
- b Análisis de regresión:
 - Relación lineal pH (Concentración de floculante)

Si es significativo 0.00001

- Ecuación de predicción:

$$\text{pH} = 6.676317 - 0.0012 (\text{Concentración del floculante}).$$

9. DISCUSIÓN DE RESULTADO

Al aplicar un tratamiento de floculación utilizando sulfato de aluminio como floculante es factible reducir un 60% de la materia orgánica de las aguas residuales de la industria avícola. Se diseñó la parte experimental, en la que se utilizaron tres diferentes concentraciones del floculante (sulfato de aluminio) 200 , 250 y 300 mg/l, a la vez se investigaron otros parámetros complementarios para determinar la eficacia del tratamiento y así poder interpretar con mayor propiedad la información generada.

El inicio de la parte práctica consistió en la toma de las muestras representativas siendo ésta una parte esencial para obtener información precisa y confiable, por lo que el muestreo se realizó tomado las muestras en forma compuesta, o sea que se tomaron varias sub-muestras durante todo un proceso para formar la muestra que sería utilizada para el ensayo, a la vez se manejó y se transportó en refrigeración para garantizar la integridad de la misma.

La parte experimental consistió en analizar las propiedades químicas y físicas antes y después de los diferentes tratamientos, en los que basaremos la discusión.

- pH
- Sólidos sedimentables
- Sólidos totales
- Sólidos en suspensión
- Demanda Química de Oxígeno
- Demanda Bioquímica de Oxígeno

9.1. pH.

El análisis de pH inicial de las muestras fue necesario para poder determinar si es adecuado proceder con la floculación, ya que

el rango de pH óptimo de actividad de este floculante (sulfato de aluminio), está entre 6-7. Por lo que se determinó que no era necesario el ajuste de éste parámetro. Los resultados de pH originales oscilaron en un rango de 6.35- 6.88 en las diferentes muestras, siendo el promedio de este 6.67 .

Los resultados de pH luego de los tratamientos oscilaron entre 6.31 a una concentración de 300 mg/l de sulfato de aluminio, 6.38 a una concentración de 250 mg/l de sulfato de aluminio y 6.45 a una concentración de 200 mg/l, por lo que podemos deducir que no existe un efecto significativo en el pH debido al uso de este floculante.

9.2. Sólidos Sedimentables.

El objetivo de la determinación de este parámetro era poder cuantificar de una manera indirecta qué cantidad de lodos se pueden formar con el uso de este tratamiento en la industria avícola.

Los resultados obtenidos indican que con un tratamiento de 300 mg/l que fue el tratamiento más eficaz se obtiene una sedimentación de 74 ml/l de sólidos. Las industrias utilizan un promedio de 20 litros de agua por ave procesada, de manera que se obtendrían 1,480 ml de sólidos sedimentables (húmedos).

Para poder tener una mejor idea de la magnitud de remoción de estos sólidos se efectuó el cálculo para un proceso de 10,000 aves obteniéndose 15 metros cúbicos de sólidos. Esto nos da una idea clara del impacto positivo que se obtendría con la aplicación de este tratamiento, al lograr una marcada remoción de sólidos permitiendo una alta clarificación del efluente.

Otro aspecto importante es que si la industria avícola se decidiera a utilizar el tratamiento propuesto tendrá que basarse en los datos

obtenidos para el diseño de su planta de tratamiento. También considerar el secado y transporte de toda esta materia.

9.3. Sólidos Totales:

Este parámetro para aguas residuales no está normado en la legislación de Guatemala, no es frecuente que esté normado internacionalmente, es muy importante su determinación ya que los datos obtenidos podrán ser utilizados para el diseño del tratamiento, a la vez que sirve como parámetro de comparación con los otros parámetros evaluados.

Los resultados obtenidos para 300 mg/l de floculante son de 66% de remoción equivalentes a 1,265 mg/l, lo que nos indica que se remueve por ave 25.3 gramos de sólidos (se utilizan 20 litros de agua por ave).

Para una concentración de 250 mg/l de sulfato de aluminio se observa una remoción de sólidos totales de 60.9 % (1432 mg/l), lo que se remueve por ave es igual a 28.64 g de sólidos.

Para poder visualizar la efectividad del tratamiento propuesto se realiza el cálculo para un proceso de 10,000 aves obteniéndose una remoción de 253 kilos (0.25 Ton) esto a una concentración de 300 mg/l del floculante, se determinó que la remoción a una concentración de 250 mg/l es de 284.4 kilos (0.28 ton). Por lo que la cantidad de sólidos que se dejarían de ir en el efluente final de la industria avícola es significativo y de esta manera se contribuye a minimizar el impacto ambiental negativo a nivel general y principalmente para la población de los alrededores.

Otro de los beneficios que se obtuvieron con la determinación de este parámetro es que permite visualizar de manera general la remoción de la totalidad de sólidos que se eliminan con el tratamiento propuesto.

9.4. Sólidos en Suspensión:

Este es uno de los análisis más valiosos en cualquier estudio de este tipo ya que con el se puede determinar la cantidad en masa que se puede eliminar en un tratamiento primario de filtración, que es el primer paso que se utiliza para la remoción de sólidos en cualquier tipo de industria que maneje una cantidad de éstos en concentraciones elevadas.

En el tratamiento propuesto precipitan este tipo de sólidos, por lo que determinar su peso es muy importante ya que estos deberán ser manejados por la industria que pretenda usar este tratamiento.

Los resultados obtenidos a una concentración de 250 mg/l del floculante tiene 89.6% de remoción, lo que es igual a 932 mg/l, esto nos indica que se remueve por ave 0.932 g, (utilizando 20 litros de agua por ave).

A una concentración de 300 mg/l de floculante se observa una remoción de 92.7 % que es equivalente a 962 mg/l, lo que se remueve por aves es 0.962g (utilizando 20 litros de agua por ave).

9.5. Demanda Química de Oxígeno:

Los objetivos e hipótesis giran alrededor del porcentaje de remoción que es factible alcanzar con el tratamiento, el análisis representa la cantidad de materia orgánica presente en el agua ya sea biodegradable o no biodegradable y se cuantifica como mg/O₂ necesarios para su degradación.

Es importante recalcar que la materia orgánica en el agua procedente del aguas residuales es muy perjudicial si no se estabiliza o se remueve antes de ser vertida hacia un cuerpo receptor que puede ser un río o un lago, provocando problemas de eutroficación en lagos, disminución de oxígeno en ríos, cambios de temperatura, malos olores etc, por lo que la remoción de la materia orgánica es fundamental.

A partir de los resultados obtenidos de la Demanda Química de Oxígeno en las muestras compuestas a una concentración de 200 mg/l de floculante (sulfato de aluminio) se observa una remoción de 60.4 %, lo que nos demuestra que por ave se remueven 25.5 gramos de materia orgánica. Para apreciar la efectividad del tratamiento con floculante (sulfato de aluminio) se calculó para 10,000 aves y la cantidad de remoción de materia orgánica alcanzada fue de 252 kilos (0.252 ton). A una concentración de 250 mg/l de floculante es de 68.3 % de remoción, lo que indica que por ave se remueven 28.42 g de materia orgánica. Otra forma de evaluar la efectividad del tratamiento es por medio de calcular la cantidad de remoción que se logra en 10,000 aves, obteniendo una remoción de 284.2 kilos (0.28 ton). De esta misma manera a una concentración de 300 mg/l del floculante hubo una remoción de 75.5 % la que nos demuestra que por ave se remueven 31.44 g de materia orgánica presente en el agua residual, y para evaluar la efectividad de remoción se realizó el cálculo para 10,000 aves, lo cual da como resultado un total de 314.4 kilos de materia orgánica removida.

Por lo anteriormente mencionado el tratamiento de floculación (utilizando sulfato de aluminio) es efectivo para las aguas residuales de las avícolas, ya que la DQO del efluente tratado se encuentra entre los límites permitidos según el acuerdo gubernativo No 60-89 de la Comisión Nacional del Medio Ambiente “Reglamento de Requisitos mínimos y sus límites máximos de permisibles de contaminación para la descarga de aguas residuales”.

La hipótesis planteada es válida ya que se reduce más del 60% de la materia orgánica expresada como DQO, en las aguas residuales de la industria avícola, utilizando sulfato de aluminio como floculante a 3 diferentes concentraciones (200 mg/l, 250 mg/l y 300 mg/l).

9.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Con la determinación de la remoción de este parámetro se evalúa la cantidad de materia orgánica biodegradable que se estaría eliminado del efluente final de este tipo de industria, con el consiguiente beneficio que implica la disminución de materia que utilice en su remoción el oxígeno disuelto que tenga un río u otro cuerpo receptor. Es sabido que en Guatemala ya muchos ríos se encuentran sobre saturados de este tipo de descargas con cantidades elevadas de materia orgánica que hacen que éstos sean incapaces de degradarla naturalmente, lo que provoca un impacto negativo en la ecología de dichos cuerpos de agua.

Los resultados obtenidos a una concentración de 200 mg/l de floculante (sulfato de aluminio), la remoción obtenida es de 61.8 %, por lo que indica que por ave se remueven 17.84 gramos de materia orgánica biodegradable y para una concentración de 250 mg/l de floculante, se obtuvo una remoción de 70.1 % lo que indica que se remueve por ave 20.24 g de materia orgánica biodegradable. Y a una concentración de 300 mg/l del floculante el porcentaje de remoción es de 77.6, esto nos demuestra que se remueve 22.4g de materia orgánica biodegradable por ave. Estos porcentajes de remoción dan como valida la hipótesis planteada, pues la cantidad de materia orgánica biodegradable removida es mayor del 60%.

Análisis de costos:

La utilización de cualquier tratamiento que se pretenda aplicar a cualquier tipo de agua residual deben de poseer entre sus características que deben ser factibles no solo técnica sino económicamente, por lo que uno de los objetivos que se plantearon al inicio de la investigación era que el tratamiento propuesto tenía que ser viable económicamente.

Los costos a diferentes concentraciones del tratamiento entre 250mg/l y 300 mg/l del floculantes (sulfato de aluminio) es mínimo ya que por ave es de Q 0.01.

Se realizó el calculo para el tratamiento de 10,000 aves , en los que se gasta por ave 20 litros de agua. Diariamente se gastaría para tratar la cantidad de residuos producidos por esta cantidad de aves Q100.00 utilizando una concentración de 300 mg/l de floculante. Es importante que se considere que el costo que hemos obtenido de la utilización de este tratamiento en una planta avícola no es únicamente el precio del floculante, debe de considerarse que existirá un precio elevado inicial en la implementación de la planta de tratamiento, en su mantenimiento, en el manejo de los sólidos y en personal operativo.

El costo total de este proceso debe de considerarse como un costo de operación ya que es responsabilidad de cualquier industria, organización de cualquier tipo, del gobierno y de cualquier individuo proteger nuestros recursos naturales, situación que durante muchos años no fue considerada una prioridad, haciendo caso omiso a los impactos que se provocan de tal manera que algunos recursos hídricos difícilmente podrán ser rescatados debido a que su costo será muy elevado.

10.CONCLUSIONES

- 10.1 El tratamiento de floculación con sulfato de aluminio es técnicamente y económicamente factible para la industria avícola de Guatemala, ya que es costo por ave es de Q 0.01.
- 10.2 El tratamiento de floculación se considera efectivo porque la remoción de materia orgánica es mayor del 60 %.
- 10.3 La concentración óptima de sulfato de aluminio utilizada para el tratamiento de las aguas residuales de las avícolas es de 300 mg/L la cual permite que los datos obtenidos se encuentren en los niveles aceptables por el reglamento de requerimientos mínimos y sus límites máximos permisibles de la contaminación para la descarga de aguas servidas.
- 10.4 Los análisis físico-químicos de las aguas residuales después de aplicar el tratamiento demostró que el tratamiento es efectivo porque cumple con las normas de reglamento de aguas residuales.

11. RECOMENDACIONES

- 11.1 La utilización del tratamiento de floculación (sulfato de aluminio) es efectivo para disminuir la carga contaminante de las aguas residuales de las industrias avícolas antes de ser vertido hacia un cuerpo receptor que puede ser un río o un lago.
- 11.2 El uso de sulfato de aluminio (floculante) es a la vez económico y factible para la industria avícola, por lo que se recomienda que su costo esté incluido entre su proceso de producción para que el tratamiento sea una mejora continua y sostenible del compromiso ambiental.
- 11.3 La industria avícola que decida utilizar el tratamiento de floculación debe considerar mediante un estudio el manejo que dará a los sólidos derivados del proceso.

12. REFERENCIAS

1. El agua potable y la salud. Lo que debe saber Staff de MdE 24.
Marzo 2,002. Unidad de Análisis y Tendencias en salud. México
Consultado: 4 de marzo de 2,003. Disponible:<http://www.mujeresdeempresa.com..>
2. Constitución Política de la republica de Guatemala. Tipografía Nacional de Guatemala. 2,002.
3. BARNES, G. 1967. Tratamiento de aguas negras y desechos industriales. S.A. México. Editorial Rebas. Pp 48-51.
4. KEMMER, FRANK N. 1,989. Manual de agua, su naturaleza, tratamiento y aplicación . Mc Graw- Hill. México. Pp 8-4, 8-17.
5. POWEL, SHAPPARD T. Manual de agua para uso industrial. Edición Primera edición. Editorial Ciencia y tecnología. Volumen 3. México. Pp 87-89.
6. CORBITT ROBERT A. Manual de referencia de la ingeniería ambiental. Primera edición. Editorial Mc. Grac-Hill. 2003. México. Pp 5.89-5.93.
7. Tratamiento de aguas residuales industriales usando varias tecnología. España 1998-2003. Consultado: marzo de 2003. Disponible:
www.lennteth.com/espanol/tratamiento-de-agua-residuales.htm.
8. THE MERCH INDEX. Thirteenth edición. Editorial Staff. Merch & Co., inc. 1997.
9. ARQUIMISA S.A... Sulfato de aluminio a sido utilizado históricamente para tratamiento de todo tipo de aguas. Argentina 2002. consultado: marzo de 2003.
Disponible:www.arquimiada.com.ar/producto_main.htm.

10. GIRÓN CORZO, CARLOS RODOLFO. Análisis de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del Ingenio Tierra Buena/ Carlos Rodolfo Girón Corzo. Lic. Química Farmacéutica, Guatemala, Gt, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2001. 65 p.
11. ESTRADA MUY, DINA LORENA. Características y eliminación de colorantes residuales que provienen de las aguas residuales de lavado de industria textiles que tiñe hilo de algodón/ Diana Lorena Estrada Muy. Lic. Química Farmacéutica, Guatemala, Gt, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2000. 68 p.
12. CHAJÓN ALVARADO, NÉSTOR ELÍAS. El impacto ambiental de la industria Farmacéutica en Guatemala./ Néstor Elías Chajón Alvarado. Lic. Químico Farmacéutico. Guatemala, Gt, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2002. 62 p.
13. Acuerdo Gubernativo No. 60-89 Comisión Nacional del medio ambiente Reglamento de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas. 1989.
14. VARGAS A. SERGIO. Parámetros de la calidad de las aguas residuales de la República de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. (Tesis de graduación, facultad de Ingeniería.) 1998, (P1-4,9-14)
15. CRISTES, RON. 2,000 . 1er. edición. Sistema de agua residual. Mc Graw-Hill Interamericana S.A. México. V.1 pp 220-226, V. 3 pp 772.
16. STANDARD MÉTODOS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, APHA, AWWA, WEF. Edition 1,998. 20 th. Washing..
17. FAIR, GORDON MASKEW. 1,993. Ingeniería Sanitaria y de agua residual. Editorial Limusa. S.A de c.v. México D.F. V. 1 pp 66-67.

18. FITCH, B. 1971. Batch Test Predict Thickener Performance. Chemical Engineering. pp 312-317.
19. METCALF & EDDY. 1996. Ingeniería de las aguas residuales. Redes de Alcantarillado y Bombeo. Mc Graw-Hill.
20. TCHOBANOGLOUS, GEORGE. 1,996. Ingeniería de agua residual, tratamiento vertido y reutilización. México, Mx, Mc Graw-Hill. Volumen 3.
21. Historia de aguas residuales. En una planta de tratamiento incluyendo los siguientes pasos; tratamiento primario, secundario y avanzado. España 2,000. Consultado: 4 de marzo de 2003. Disponible: www.wef.or/pdffiles/HistorialDelasaguasspanish.pdf.
22. DIEGUEZ GONZÁLES, EDUARDO GASPAR. 1996. Evaluación y propuesta de mejoramiento para la planta de tratamiento de aguas residuales de la población del municipio de San Juan Comalapa, Chimaltenango./ Eduardo Gaspar Dieguez Gonzáles. Maestría en Ingeniería Sanitaria, Guatemala, Gt, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería,. 33 p.
23. Depuración de los vertidos. Se puede someter a diferentes niveles de tratamiento para lograr una depuración suficiente en las aguas. México 1998. Consultada. Marzo de 2003. Disponible: www.cert.es/asignatura/ecología/ipertexto/11CAgua/180Depur.htm.
24. HERNÁNDEZ RIVERA, MAX ADALBERTO. Diagnostico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Aurora II"./ Max Adalberto Hernández Rivera. Maestría en Ingeniería Sanitaria, Guatemala, Gt, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1995. 44 p.
25. JOSÉ CATALAN LAFUENTE. 1977. Diccionario técnico de agua. Editorial Belisco. Madrid, España.

13. ANEXOS

13.1 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES:

Varían en su composición de acuerdo con las operaciones de la industria. Algunas son aguas enjuague relativamente limpias, otras se encuentran fuertemente cargada de material orgánico o mineral o sustancias corrosivas, venenosas, inflamables o explosivas. Algunas son tan objetables que no deberán administrarse en los sistemas de alcantarillado público; otras contienen cantidades tan pequeñas de material no objetables que pueden descartarse en los drenajes pluviales o directamente a las corrientes naturales de agua. Las grasas, la cal, el cabello y las fibras se adhieren a los conductos de alcantarillados y los obstruyen, los productos químicos venenosos destruyen la biota y hacen peligrosos los abastecimientos de agua. Los fertilizantes contribuyen a la eutrofización de cuerpos de agua microorganismos vivos los cuales son nocivos al hombre; los líquidos inflamables o explosivos ponen en peligro las estructuras por lo que fluyen; los vapores o gases tóxicos son peligrosos para los obreros y operadores de las obras de alcantarillados y ocasionalmente también para los casatenientes (17,18).

13.2 Niveles de tratamiento de agua residual:

Niveles de tratamiento de aguas residuales	
Preliminar	Remoción de constituyentes del agua residual que pueden cuasar problemas operacionales o de mantenimiento, los procesos operacionales y operaciones tratamiento y sistemas auxiliares.
Primario	Remoción de parte de los sólidos y materia orgánica suspendida presente en el agua residual.
Primario avanzada	Remoción intensiva de sólidos suspendidas y material orgánico presentes en el agua residual, en general llevada a cabo mediante la adición de insumo químico o filtración.
Secundario	Remoción de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos. La desinfección también se incluye dentro del concepto de tratamiento secundario de compuestos orgánicos.
Secundario con remoción	Remoción de compuestos biodegradables y sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno o fósforo por separado o en conjunto).
Terciario	La desinfección hace siempre parte del tratamiento 3er., incluyendo a menudo en esta definición de nutrientes.
Avanzada	Remoción de material disuelto o en suspensión que permite el tratamiento biológico convencional. Este nivel se aplica en casos donde se requiera reutilizar el agua tratada o en control eutrofización de fuentes receptoras

(6,19,20,21).

13.3 Tratamiento de aguas residuales:

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso por el cual los sólidos y los líquido contenidos, son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables (21,22).

Se conocen varios métodos para el tratamiento de aguas residuales, todos pueden incluirse dentro de los cinco procesos siguientes.

13.3.1 Tratamiento preliminar:

Es un subproceso mediante el cual el reactor empleado elimina o separa los sólidos mayores que puedan interferir con los procesos subsecuentes, por lo cual el equipo comúnmente utilizado son rejillas, cribas y desarenador (22,24).

Este tipo de tratamiento se lleva a cabo con las rejillas y el desarenador, las cuales se encuentran colocadas en el canal de entrada de la planta de tratamiento.

Las rejillas están formadas por barras espaciadas desde hasta 15 centímetros, instaladas con un ángulo de 45 a 60° con la vértice. Su finalidad es separar los sólidos mayores flotantes, entre ellos trazas de madera, plástico basura y otros. Los sólidos se separan con utensilios y se eliminan enterrándolos o incinerándolos.

Los desarenadores son generalmente en forma de grandes canales, en ellos la velocidad disminuye lo suficiente para que se depositen los sólidos inorgánicos pesados: arena, grava, objetos metálicos, etc.,manteniéndose en suspensión el material orgánicos.

El tratamiento es físico puesto que la remoción de la materia orgánica se lleva a cabo por el proceso de tamizado (a través de la rejilla) y por la sedimentación en el desarenador.

13.3.2 Tratamiento primario:

Básicamente lo constituye la sedimentación, que es la que eliminar o separa los sólidos suspendidos en el agua residual (22,24).

El propósito de este proceso es la de disminuir suficientemente la velocidad de las aguas residuales para que puedan sedimentar los sólidos. La eficacia de un tanque de sedimentación depende del tamaño de la partícula, su gravedad específica de la materia de sedimentación y de otros factores; concentración de la materia en suspensión, temperatura, área de superficie del líquido, período de retención, viento, profundidad y forma de la cámara, viento y efecto biológicos (22).

13.3.3 Tratamiento secundario:

Este tratamiento debe de hacerse cuando las aguas residuales todavía contienen materia orgánica en estado soluble después del tratamiento primario. El tratamiento secundario depende principalmente de los organismos aeróbicos para la biodegradación de la materia orgánica soluble (22,24).

El tratamiento secundario usan la oxidación-reducción para descomponer y estabilizar la materia putrescible que queda después de los tratamiento primarios. Los filtros percoladores constituyen uno de estos procesos de tratamiento secundario (22,24).

La materia presente en el agua se ponen en contacto directo con los microorganismos en condiciones aerobias. En los filtros percoladores los microorganismos se asientan en la parte superior del medio de contacto y que forma parte del medio filtrante (22).

13.3.4 Desinfección por cloración:

Este es un método de tratamiento que puede emplearse para muy diversos propósitos, en todas las etapas de un tratamiento de aguas residuales y aún antes del tratamiento preliminar (24).

- ❖ Generalmente se aplica cloro a las aguas:
- ❖ Desinfección ó destrucción de organismos patógenos.
- ❖ Prevención de la descomposición de las aguas residuales para controlar el olor y protección de las estructuras de las plantas.
- ❖ Como auxiliar en la operación de la planta para: la sedimentación, en los filtros goteador y el abultamiento de los lodos activos.
- ❖ Ajustar o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno.

13.3.5 Digestor de lodos:

La digestión es el proceso anaerobio para descomponer la materia orgánica. Los lodos provenientes de la sedimentación primaria y secundaria se digieren mediante los procesos de licuefacción y producción de gas, obteniendo productos más estables y factibles de drenar para su desecamiento como proceso subsecuente (22,24).

El lodo diferido es de color marrón oscuro y contiene grandes cantidades de gas, pero al estar totalmente digeridos es inofensivo el olor. La composición de los lodos, es principalmente de agua. Es de tomar en cuenta que en los lodos existen sustancias de carácter desagradable del agua servida sin tratar y materia orgánica (proveniente del tratamiento biológico) que se descompondrá y se volverá desagradable (22).

Patios de secado de lodos:

Es el área destinada para secar los lodos que fueron digeridos por el digestor. En esta área se realizan dos procesos físicos.

Evaporación del agua contenida en el lodo por exposición de estos a los rayos solares.

Filtración del agua a través de un lecho filtrante.

En los patios de secado, los sólidos son arrastrados hacia la superficie, debido a la presencia de gases retenidos, dejando una agua relativamente clara, encima de ellos, que se evapora por lo que los lodos se van depositando lentamente sobre el fondo de los patios (22).

Los lodos son una mezcla de los provenientes del sedimentador primario y secundario por lo que el volumen es menor, así como también la concentración de sólidos.

El lodo seco contienen nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, por lo que puede ser empleado como fertilizantes y acondicionador del suelo (22).

