

**TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS MEDIANTE EL USO DE LODOS
ACTIVADOS: DESEMBOCADURA DEL RÍO BOGOTÁ Y COLORANTES SOLUBLES**

DIANA VANESSA ORTEGA ROJAS

CRISTIAN CAMILO ALVAREZ HERNANDEZ

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
SECCIONAL GIRARDOT
TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGACION
2019

**TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS MEDIANTE EL USO DE LODOS
ACTIVADOS: DESEMBOCADURA DEL RÍO BOGOTÁ Y COLORANTES SOLUBLES**

DIANA VANESSA ORTEGA ROJAS

CRISTIAN CAMILO ALVAREZ HERNANDEZ

TUTOR
JOHN JAIRO SANDOVAL

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
SECCIONAL GIRARDOT
TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGACION
2019

TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN	7
2.	INTRODUCCION.....	8
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLAMA	9
4.	JUSTIFICACION	10
5.	OBJETIVOS	12
5.1.	Objetivo general	12
5.2.	Objetivos específicos	12
6.	MARCO REFERENCIAL	13
6.1.	Marco teórico:	13
6.2.	Marco Conceptual:	17
6.3.	Marco legal:	21
7.	DISEÑO METODOLOGICO	22
7.1.	TRATAMIENTO BIOLÓGICO A PEQUEÑA ESCALA	25
7.2.	ESPECTROFETOMETRO VISIBLE.....	28
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
9.	CONCLUSIONES.....	41
10.	RECOMENDACIONES.....	42
11.	BIBLIOGRAFIA	43
12.	ANEXOS	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. MARCO LEGAL..... 21

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. ESTABILIZACION DE LODOS.....	49
Anexo 2. MUESTRAS DEL COLORANTE.....	50
Anexo 3. MUESTRAS DEL RIO BOGOTÁ	51
Anexo 4. MONTAJE Y PREPARACION DE MUESTRAS DEL COLORANTE IRIS DARK BLUE #17	52
Anexo 5. MONTAJE Y PREPARACION DE MUESTRAS DE LA CURVA DE CALIBRACION Y MUESTRAS COT	53
Anexo 6. PORCENTAJE VOLUMETRICO FINAL PRUEBA COLORANTE IRIS.....	54
Anexo 7. MONTAJE FILTRACION DE MUESTRAS COLORANTE IRIS	54
Anexo 8. RESULTADOS PRUEBA COLORANTE IRIS.....	55
Anexo 9. COMPARACION DE MUESTRAS RIO BOGOTA	56
Anexo 10. AGUA DEL RIO REPOSADA POS TRATAMIENTO.....	56
Anexo 11. BARRIDO ANALISIS CARBONO ORGANICO	56
Anexo 12. ABSORBANCIA 500 ppm	57
Anexo 13. ABSORBANCIA 4000 ppm	57
Anexo 14. ABSORBANCIA 250 ppm	58
Anexo 15. ABSORBANCIA 100 ppm	58
Anexo 16. PRUEBA 1 ABSORBANCIA Iris Dark Blue #17	59
Anexo 17. REPLICA ABSORBANCIA Iris Dark Blue #17	59
Anexo 18. ENSAYO 1 DEL COLORANTE.....	60
Anexo 19. ENSAYO 2 DEL COLORANTE.....	61
Anexo 20. PRUEBA 1 DEL COLORANTE	61

Anexo 21. PRUEBA 2. COT DEL RÍO BOGOTÁ..... 63

**TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS MEDIANTE EL USO DE LODOS
ACTIVADOS: DESEMBOCADURA DEL RÍO BOGOTÁ Y COLORANTES SOLUBLES**

1. RESUMEN

En este documento de investigación básica y aplicada consiste en realizar un proceso controlado de depuración de aguas mediante un tratamiento con lodos activados. Particularmente, con la iniciativa de entender y promover aspectos técnicos para el mejoramiento de la calidad del agua superficial o de origen industrial, para su posible reutilización en algún otro proceso o garantizar lo mínimos parámetros exigidos por la normatividad colombiana en cuanto a su vertimiento final. En esencia, se utilizará la infraestructura y equipos del laboratorio de aguas de la Universidad de Cundinamarca, seccional Girardot para degradar biológicamente el agua proveniente de la desembocadura del río Bogotá y agua de origen sintético que tendrá una concentración conocida de un colorante (anilina Iris) soluble empleado en la industria textil. La evaluación del método y/o el balance de materia se realizó mediante el uso de la espectroscopia ultravioleta visible para determinar la diferencia inicial y final de la cantidad de carbono orgánico total y la disminución en la concentración de la sustancia orgánica, responsable de la coloración en el agua. Arrojándonos como resultados la degradación en un 90% del colorante iris en mayores concentraciones de 250 y 500 ppm en un tiempo de retención de 0 a 4 horas y en menores concentraciones con el mismo tiempo de retención se obtuvo un resultado de degradación del colorante de 50%. Para la remoción del COT en el río Bogotá se obtuvo resultados muy variables lo que quiere decir que hay que verificar las condiciones óptimas del proceso, por otro lado la remoción de la turbidez fue muy favorable ya que se alcanzaron remociones entre 80 y 90%

Palabras clave: Lodos activados, Río Bogotá, Carbono Orgánico Total, Colorantes industria textil.

2. INTRODUCCION

El agua constituye el líquido más abundante sobre la tierra y representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida. (Mayorga & Mayorga, 2015). Por ello, el agua potable debe estar libre de microorganismos patógenos, sustancias tóxicas o nocivas para la salud, y cumplir con las normas bacteriológicas y fisicoquímicas establecidas. La contaminación del agua es producida principalmente por vertimiento de aguas servidas, basura, relaves mineros y productos químicos. (Camacho, 2011).

Por todo esto, se tiene en cuenta que los ríos en Colombia están más contaminados de lo que se habla en los medios de comunicación, debido al crecimiento de la población y de las industrias a la que se somete el planeta día a día, por ello las comunidades requieren de estrategias inmediatas para prevenir, controlar y solucionar la problemática de las fuentes hídricas, en cuanto a la degradación de agentes xenobióticos (Peña Garcia, 2016). Una de las principales y económicas estrategias es el uso de la biotecnología para la remediación ambiental, es la utilización de microorganismos en un medio aeróbico principalmente bacterias en suspensión y a las condiciones óptimas de pH, potencial redox y sustrato, es decir, materia orgánica o contaminantes en la fuente hídrica, hace que se mineralice poco a poco hasta obtener una mayor biomasa de microorganismos y CO₂ como subproducto del proceso de descomposición (Iturbell, 2010). Además, es importante resaltar que este tratamiento involucra también fenómenos de adsorción, lo cual permite el aislamiento de sustancias o elementos metálicos en la fase acuosa. Según lo anterior, el tratamiento de aguas no se limita únicamente en

mejorar la calidad del agua, sino que también en considerar un posterior tratamiento y/o estabilización de lodos.

En esencia, esta propuesta permitirá realizar una investigación preliminar para estudiar un tratamiento biológico en la depuración del agua del río Bogotá y en la decoloración de contaminantes usados en la industria textil.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLAMA

El crecimiento de la población y el desarrollo industrial han multiplicado los problemas de contaminación del agua tanto de procedencia superficial como subterránea, por lo tanto, se requiere suministrar y distribuir el líquido vital en mayores cantidades (Camacho, 2011).

En Colombia aproximadamente el 48% de los municipios (541 de 1122) cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales (Galeano & Rojas, 2016), este dato confirma que gran parte de las aguas residuales de origen doméstico son vertidas directamente a las principales fuentes hídricas de la nación, lo cual implica una disminución considerable en la calidad del agua para fines de potabilización y/o directa utilización para abastecer las necesidades básicas de las comunidades menos favorecidas y en distintas aplicaciones agroindustriales. En algunos casos, el consumo directo de estas aguas ha desencadenado múltiples enfermedades, por ejemplo, de orden gastrointestinal, irritación de la piel e incluso hasta la muerte tras surgir fenómenos de bioacumulación de sustancias tóxicas como las cianotoxinas (Crettaz, Milagnia, & Gianuzzi).

Con base en lo anterior, en este trabajo en la modalidad de investigación pretende conocer los aspectos más relevantes y aplicar un proceso mediante lodos activados para el tratamiento de aguas contaminadas de origen superficial, caso del río Bogotá y el estudio del proceso de decoloración de aguas contaminadas con sustancias cromóforas o colorantes de uso común en la industria textil.

En este orden de ideas se establecen las siguientes preguntas de investigación: ¿Se reduce considerablemente la cantidad de carbono orgánico total y la decoloración de aguas contaminadas mediante un tratamiento aeróbico con lodos activados? ¿Cuál es la eficiencia de remoción de la contaminación tras la utilización de este protocolo experimental?

4. JUSTIFICACION

Debido al incremento de la población y de las industrias en la ciudad de Bogotá y sus municipios aledaños, se puede evidenciar el gran daño que le han hecho al río Bogotá por sus grandes cantidades de vertimientos sin un previo tratamiento. Otras fuentes de contaminación orgánica e inorgánica, se deriva de la explotación y la fundición de metales, de los insumos agrícolas, de lodos y de sedimentos residuales, de la combustión del carbón y del petróleo, industrias químicas y de la inadecuada disposición de desechos urbanos e industriales. (Lora & Bonilla, 2010).

Un ejemplo del grado de contaminación en la región del alto Magdalena se simplifica con la presencia de malos olores y la intensa coloración que presenta el río Bogotá en el punto de desembocadura al río Magdalena, lo cual se podría atribuir a concentraciones elevadas de sustancias inorgánica y orgánicas que disminuye considerablemente la concentración de oxígeno y otras variables estratégicas para el correcto desarrollo de la vida. Además, se reporta según los antecedentes bibliográficos de (Mancer & Alvarez, 2006). La utilización de este recurso hídrico contaminado para diversas aplicaciones agrícolas, lo cual podría ocasionar futuras alteraciones socioambientales en la región por la biomagnificación y bioacumulación de contaminantes en flora, fauna y por supuesto en el ser humano.

Según lo anterior, la propuesta de investigación se propone porque es importante entender las estrategias comunes y económicas para el seguimiento y el tratamiento de aguas contaminadas,

particularmente para la reducción de materia orgánica y la degradación o adsorción de colorantes utilizados en la industria textil mediante el uso de microorganismos (lodos activados), y su conocimiento puede ser una estrategia viable para resolver problemáticas de orden local e industrial que podría trascender a otras comunidades.

Bogotá es una de las ciudades con mas industrias textiles en funcionamiento y una de las principales fuentes de contaminación del río Bogotá. Debido a que la presencia de colorantes en aguas residuales de industrias textiles en una gran problemática ambiental, se plantea un tratamiento de tipo biotecnológico el cual se reducirán costos de energía y de operación. Por esto se propone un tratamiento biológico o de biodegradación con microorganismo (lodos activados), dichos microorganismos degradan el colorante de manera aerobia utilizando bacterias como *Aeromonas sp.*, *Bacillus subtilis*, *Proetus mirabilis* y *Pseudomonas luteola*. (Cortazar, y otros, 2012).

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Estudiar el porcentaje de remoción de materia orgánica y colorante de la industria textil en muestras de agua, mediante un tratamiento a escala de laboratorio con lodos activados.

5.2. Objetivos específicos

1. Implementar un método en el laboratorio de aguas de la seccional Girardot para evaluar la concentración de carbono orgánico total y demanda química de oxígeno por espectroscopia visible.
2. Evaluar con parámetros fisicoquímicos (turbidez y espectroscopia visible) el agua de la desembocadura del río Bogotá después del tratamiento con lodos activado.
3. Estudiar el porcentaje de eliminación del colorante en fase acuosa de un colorante (anilina Iris) usado en la industria textil.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. Marco teórico:

Durante el último cuatrienio de esta década, la importancia del agua como vehículo transmisor de patógenos ha ido ganando más protagonismo, haciéndose necesario evaluar las condiciones microbiológicas y fisicoquímicas del agua potable que consumen las personas que habitan tanto en países desarrollados como en vía de desarrollo. Profesionales con formación específica en calidad del agua, microbiólogos, epidemiólogos y entre otros, han debatido sobre la utilidad de hacer seguimiento y monitoreo a la presencia de virus y/o bacteriófagos, como indicadores de contaminación, comprobando así la eficiencia de los procesos de potabilización. Sin embargo, no existe un consenso aún al respecto y lo que se hace urgente, es una correcta gestión de la calidad del agua que vaya encaminada a cumplir con lo que establece el séptimo Objetivo de Desarrollo del Milenio (ODM), que es reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento. (Amada, Ortiz, & Aquiles, 2014).

El tratamiento de las aguas residuales es relativamente reciente. Su inicio data de fines de 1800 y principios del actual siglo y coincide con la época de la higiene. Esto se desarrolló como consecuencia de la relación entre contaminación de los cursos y cuerpos de agua y las enfermedades de origen hídrico. (Rojas, 2002)

En caso de Colombia la producción diaria de aguas residuales domésticas es de 6 millones de m³, pero desafortunadamente Colombia solo cuenta con 20% de PTARS y un 8% tienen un tratamiento efectivo. Además de esto se vierte el 80% de las aguas sin ningún tratamiento previo al suelo, ríos, quebradas, lagos y mares (Collazos, 2008).

La mayoría de los contaminantes visibles en el río Bogotá son materiales de baja polaridad, es decir su composición química es originaria de los derivados poliméricos o comúnmente los denominados plásticos (botellas, recipientes, llantas, etc.). Otra contaminación que no se percibe a simple vista y puede estar relacionada directamente con el color de la fuente hídrica, declarado por una radiografía navegable que realizó la Corporación Autónoma Regional-CAR; (Acero Aguirre, 2012) hace referencia a la cantidad de partículas en suspensión o agentes químicos de alto grado de toxicidad que son solubles en agua, tal como las aguas residuales que contienen elementos metálicos utilizados en procesos industriales, uno ejemplo de ello es el Cr^{6+} empleado en el curtido de pieles. Las malas prácticas industriales hacen que exista un deterioro importante en la flora y fauna de nuestra región.

Se calcula que aproximadamente dos millones de toneladas de desechos son depositados diariamente en las fuentes hídricas y que un litro de aguas residuales contamina ocho litros de agua potable, razón por la que se estima que a mediados de este siglo entre 2000 y 7000 millones de personas sufrirán escasez de agua (ONU, 2015). (Guiza, Londoño, & Rodriguez, 2014)

Adicionalmente a los residuos en las fuentes hídricas, se unen las aguas lluvias que bajan cargadas de los desperdicios que recogen en las vías antes de terminar en el río. Pero la fuente de contaminación más peligrosa, que es constante y permanente, es el vertimiento de las aguas residuales por parte de la empresa de acueducto y alcantarillado.

Dentro de los contaminantes en los vertimientos de las aguas residuales domesticas están los detergentes, químicos, pelos, grasas y toda clase de desperdicios, lo hacen todos los días, aproximadamente 8 millones de habitantes que rondan la cuenca del Río Bogotá. Las aguas fluviales contenidas en ríos, arroyos y quebradas son la fuente principal para la satisfacción de necesidades humanas, ya que suministran agua, alimento, fertilización de los suelos y posibilidad

de transporte. Sin embargo, su disponibilidad es baja, pues de 1338 millones de km³ de agua existente en el planeta, sólo 2000 km³ corresponden a aguas fluviales, lo que es el 0.0001 % del total de agua, de ahí la prioridad en su protección. (Segura Triana, 2007)

Adicionalmente, la disponibilidad de las aguas fluviales se ve disminuida por el aumento en su consumo y en su contaminación, pues en el último siglo la población humana mundial se ha triplicado y el consumo de agua se ha sextuplicado. (Guiza, Londoño, & Rodriguez, 2014)

Lo que resulta sorprendente es que algunas especies como la tingua del pico rojo (ave endémica) se han adaptado y se alimentan del agua contaminada. De la misma manera, lo hacen vacas, cabras, gallinas y hasta personas que viven en las inmediaciones de la cuenca (Dávila, Machuca, & Marrianga, 2009)

La vinaza es el principal residuo de la producción de etanol, y su alta demanda química de oxígeno (DQO) lo convierte en un efluente altamente contaminante. Adicionalmente, las sales de potasio, calcio y magnesio que contiene causan permanentes y costosos problemas de incrustación en equipos de transferencia de calor. En las destilerías colombianas la vinaza presenta DQO superiores a 130.000 mg/L debido a que esta se concentra por evaporación antes de someterse a tratamiento de compostaje. (Dávila, Machuca, & Marrianga, 2009)

Así mismo, se debe de tener en cuenta los parámetros para la velocidad de degradación del colorante, el cual depende de numerosos factores, tales como: el pH, la temperatura, los nutrientes. (Cortazar, y otros, 2012).

La actividad metabólica de los microorganismos (lodos activados) puede ser optimizada con la adición de co-sustratos o fuentes de carbono y energía secundarias, las cuales pueden acelerar la asimilación del colorante (fuente de energía objetivo). Los procesos biológicos implementados, evalúan la influencia de factores como el modo de operación del reactor, de

variables como la temperatura del medio, el pH, la concentración inicial de colorante y la concentración de microorganismos, además de la presencia de oxígeno en el sistema. Los tratamientos biológicos permiten obtener porcentajes de remoción de color y COT significativos, sin embargo se realizan a bajas velocidades lo que incrementa sustancialmente los tiempos de tratamiento. (Barrios, Gabiria, & Agudelo, Tecnologías de remoción de colorantes y pigmentos presentes en las aguas residuales, 2015).

Además del proceso que es capaz de realizar un proceso con lodos activados, son de gran importancia debido a que se pueden utilizar en la agricultura de forma de abono orgánico así: La agricultura orgánica no implica solo el hecho de fertilizar con abonos orgánicos (composta, fermento, lombricomposta, entre otros) el suelo, sino conlleva un cambio de conciencia, un camino con muchos pasos, donde el primero está en la cabeza de cada uno, el querer creer y cambiar. Este movimiento está regido por cuatro principios básicos: el primero implica el maximizar los recursos (al interior) que la gente posee; no busca sustituir insumos, sino la reutilización de los que la gente posee, el segundo implica el buscar al máximo la independencia de insumos externos, al utilizar lo que tiene a la mano y volviéndose productor de sus agroinsumos, el tercero se enfoca a provocar el menor impacto posible dentro de la modificación que se haga al lugar y su entorno (las actividades humanas son las que más impactan al ambiente). (Felix, Sañudo, Rojo, Ruiz, & Olalde, 2008)

En Suiza se realizó la degradación de pesticidas (isoproturon, terbutilazina, mecoprop y metamitrona) a nivel laboratorio, donde se alcanzó casi el 100% de remoción, pero con un largo tiempo de adaptación de los lodos activados (Garcia, Górtares, & Drogui, 2011)

6.2. Marco Conceptual:

- **Lodos activados:** una planta de lodos activados es un sistema de mezcla completa. Su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo en medio aerobio (Mendez, Miyashiro, Rojas, Contrado, & Carrasco, 2004).
- **Espectroscopia visible:** La espectroscopia en la región visible (VIS) y el infrarrojo cercano (NIR) se presenta como una prometedora y rápida tecnología de evaluación de las características internas de varias especies de frutas. La diferencia de absorbancia, procedentes de los frutos, al ser sometidos a un espectro emitido entre dos las longitudes de onda cercanas al pico de absorción de la clorofila-a, se utilizó para el desarrollo de un índice (índice DA-IDA) que se correlaciona con la fase de maduración de los frutos. (Leitzke, Fachinello, & Padilha, 2011)
- **Degradación de materiales orgánicos:** el crecimiento acelerado de las bacterias es una respuesta a suministros ricos en nutrientes en las aguas residuales domésticas, Durante el periodo de rápida asimilación de nutrientes, la reproducción bacteriana alcanza su óptimo y la utilización de oxígeno disuelto es aproximadamente proporcional a la cantidad de materia orgánica o de alimento utilizado. (Ramalho).
- **Demanda química de oxígeno:** corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido. (Ramalho).

Las eficiencias de remoción de DQO observadas en todas las líneas de tratamiento durante el periodo de estabilidad de los sistemas en la etapa de arranque, muestran que

éstos pueden operar con altas cargas aplicadas (entre 5 y 10 kgDQO/m³ *d) y TRH bajos (1.16 días). (Chavarro, Garces, Guerrero, & Salas, 2006)

- **Carbono Orgánico Total:** El transporte de carbono orgánico total (COT) a los océanos es un componente integral del presupuesto global de carbono y puede representar un valor importante en la retención del CO₂ de la atmósfera. Sin embargo, el origen geológico de la roca, las características edafológicas de los suelos, constantes cambios en el uso de la tierra, actividades socioculturales y la relación entre la exportación de carbono y el clima son interrogantes importantes que han sido poco dilucidados para ecosistemas andinos. (Ordoñez, Bravo, & Figueroa, 2003).
- **Radiación ultravioleta:** La luz ultravioleta actúa mediante la interacción con las moléculas presentes en el medio líquido provocando en la mayoría de los casos, una ruptura de los enlaces químicos. (Rodríguez, Botelho, & Cleto, 2008).
- **Materia Orgánica:** La materia orgánica está formada generalmente, por sustancias químicas que son polielectrolitos aniónicos de bajo a moderado peso molecular, cuya carga se debe principalmente a los grupos carboxílico y fenólico. Dichas sustancias pueden ser ácidos fúlvicos (más solubles) y ácidos húmicos (menos solubles). (Chamorro, Rodríguez, Enriquez, & Rosero, 2010).
- **Colorantes:** Los colorantes y pigmentos están comenzando a ser considerados en el país como compuestos que pueden presentar características toxicológicas más allá de los aspectos estéticos en las aguas residuales. (Barrios, Gabiria, & Agudelo, Tecnologías de remoción de colorantes y pigmentos presentes en las aguas residuales , 2015).

- **Tratamientos biológicos:** El tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en la capacidad que tienen los microorganismos para metabolizar y convertir la materia orgánica en suspensión y ya disuelta, en tejido celular nuevo y diferentes gases. Teniendo en cuenta que el tejido celular es más denso que el agua, este se puede eliminar fácilmente con procesos de decantación; por tal razón, sólo hasta cuando los microorganismos involucrados en el proceso de transformación y eliminación de la materia orgánica, son separados de la solución se puede decir que el proceso de tratamiento está completo. (Varila & Diaz, 2008)

Tratamientos convencionales como sistemas de lodos activados o filtros biológicos percoladores pueden rápidamente convertir diversos compuestos orgánicos en biomasa que posteriormente por medio de clarificadores pueden ser separados. Sin embargo no sucede lo mismo con moléculas como los emergentes. (Garcia, Górtares, & Drogui, 2011)
- **Características biológicas:** Las propiedades biológicas son de vital importancia puesto que se trata de los microorganismos presentes en el agua residual, los organismos patógenos, así como los microorganismos que son utilizados como indicadores de contaminación del agua. (Valarezco Garcia, 2010)
- **Digestión Aerobia:** Proceso de aireación prolongada (dotando al sistema de O₂) para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia auto-oxidación, reduciendo así el material celular. (Oropeza Garcia, 2006).
- **Aguas Residuales:** En general, las aguas residuales consisten de dos componentes, un efluente líquido y un constituyente sólido, conocido como lodo. Típicamente existen

dos formas generales de tratar las aguas residuales. Una de ellas consiste en dejar que las aguas residuales se asienten en el fondo de los estanques, permitiendo que el material sólido se deposite en el fondo. Después se trata la corriente superior de residuos con sustancias químicas para reducir el número de contaminantes dañinos presentes. El segundo método más común consiste en utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica. Este método, conocido como tratamiento de lodos activados, requiere el abastecimiento de oxígeno a los microbios de las aguas residuales para realzar su metabolismo. (Reynolds, 2002)

- **Sedimentación de lodos:** En el ciclo de operación del RCS, la fase de reacción incluye además de la desnitrificación el desarrollo de una biomasa floculenta, compacta y robusta que pueda sedimentar rápidamente produciendo un lodo denso para un reciclaje óptimo y un sobrenadante claro de alta calidad para su descarga como efluente tratado. Para evaluar la conducta de sedimentación de los lodos biológicos producidos en el RCS, los parámetros convencionales utilizados son el Índice Volumétrico de Lodos (IVL), la velocidad de sedimentación de la interfase (r_s) y el tiempo crítico (t_c). (Ferrara & Ramirez, 2013)
- **Lodo:** Suspensión de un sólido en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales municipales. (Ministerio de Vivienda, 2014)
- **Calidad del Agua:** En el caso de calidad de agua para consumo humano, debe garantizarse que esté libre de patógenos, de determinadas concentraciones de contaminantes químicos, de desechos biológicos, entre otros; para evitar riesgos sanitarios en la propagación de enfermedades a causa del agua contaminada. En Colombia, la legislación que regula la calidad de agua potable es la Resolución 2115 del 2007, la cual

incluye un programa de vigilancia y define la frecuencia y el número de muestras a analizar de acuerdo con el tamaño de la población de estudio. (Lugo Arias, 2017)

6.3. Marco legal:

Tabla 1. MARCO LEGAL

TIPO	NÚMERO	FECHA	DESCRPCIÓN
Resolución	883	18 de mayo de 2018	por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones
Resolución	631	17 de marzo de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
Ras	Titulo e	noviembre de 2000	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.
Decreto	1287	10 de julio de 2014	Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.
NTC- ISO	5667-13	22 de julio de 1998	Guía Para el Muestreo de Lodos de Aguas Residuales y Plantas de Tratamiento de Aguas

7. DISEÑO METODOLOGICO

El diseño experimental que se utilizó se dividirá en dos partes:

i) La reducción de la materia orgánica y turbidez de muestras de agua provenientes de la desembocadura del río Bogotá ubicado en Ricaurte Cundinamarca (Coordenadas, $4^{\circ}17'19.9''N$ $74^{\circ}47'45.9''W$ como se muestran en las imágenes 1 y 2, mediante un tratamiento biológico (aeróbico) con lodos activos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del Hotel Bosques de Atan Colsubsidio. ii) La puesta en marcha de un tratamiento biológico con lodos activados para realizar un proceso de decoloración de contaminantes cromóforos o colorantes de tipo anilina (Iris), de uso común en la industria textil. Análisis de las muestras con el equipo de tratamiento biológico que se encuentran en el laboratorio de aguas de la Universidad de Cundinamarca, Seccional Girardot.

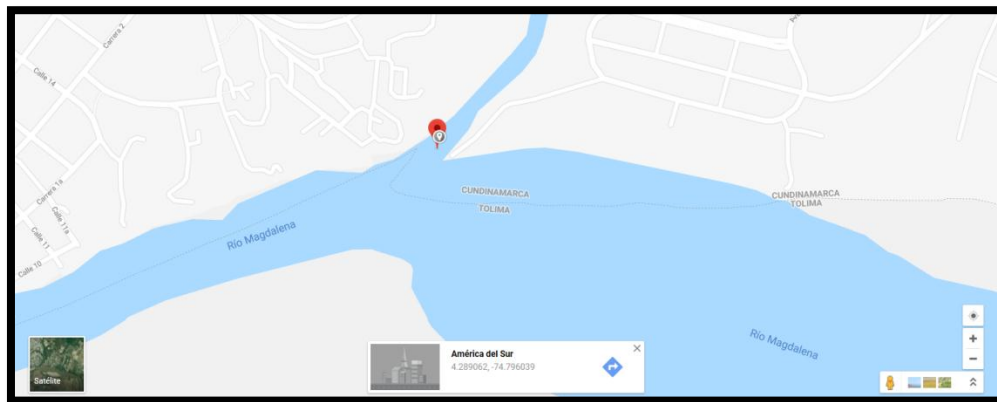


Figura 1: Google Maps



Figura 2: Google Maps

Se evaluó el tratamiento biológico aeróbico de muestras provenientes del río Bogotá y agua contaminada de origen sintético (anilina Iris), con el ánimo de reducir o eliminar la concentración de los posibles agentes contaminantes de naturaleza orgánica ($C_nH_nO_nN_n$), tal como la concentración de carbono orgánico total y la disminución de la absorbancia (por medio de espectroscopia visible) del agente cromóforo o molécula responsable de la coloración de la fuente hídrica.

En este trabajo de investigación se realizó uso de la instrumentación, planta física y/o recursos de la Universidad de Cundinamarca, seccional Girardot, principalmente se usó el equipo ubicado en el laboratorio de aguas, tal como el sistema para el tratamiento biológico de aguas contaminadas a pequeña escala.

Y como técnicas para el control, seguimiento y respuesta del método se utilizó principalmente el pHmetro, el turbidímetro, el oxímetro y el espectrofotómetro visible.

Los equipos que se emplearon en esta investigación son:

- Equipo de tratamiento biológico a pequeña escala: es un equipo que simula una planta de tratamiento de agua residual la cual contara con un espacio para realizar tratamiento con lodos activados (microorganismos).
- pHmetro: es la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia. La potenciometría consiste en la medida de la fuerza electromotriz de una célula galvánica, a través de la cual la corriente que pase es virtualmente cero. (Londoño & Colab., 2010)
- Turbidímetro: este instrumento que sirve para determinar las partículas en suspensión presentes en las muestras de agua que se van a analizar. El Turbidímetro usado en este trabajo fue el Hanna HI 93703, que cuenta con un rango de 0 – 50 UNF, 50 a 1000 UNF, con una resolución de 0.01 – 1 UNF. Cuenta con una precisión o margen de error de $\pm 5\%$ FS, $\pm 10\%$ FS. Una desviación típica de $\pm 2\%$ fondo de escala. (Hanna Instruments, Manual de instrucciones de Microprocesador portatil Medidor de Turbidez).
- Oxímetro: equipo que se usa para medir el oxígeno disuelto en el agua.
- Espectrofotómetro visible: es una técnica que trata con transiciones desde el estado excitado al estado basal, que utiliza rangos de luz visible y adyacente (UV).

Para la recolección de las muestras nos movilizamos hasta la desembocadura del río Bogotá ubicada en Ricaurte Cundinamarca. se realizó una toma de muestra para así posteriormente trasladarla a la Universidad de Cundinamarca, Seccional Girardot y así medir los siguientes parámetros: pH, turbidez, oxígeno disuelto, alcalinidad, conductividad y carbono orgánico total (COT).

Para la recolección de las muestras de agua se debe de seguir los siguientes pasos para que, al momento de analizar las muestras, no esté alterada y nos arroje unos resultados completamente diferentes a los esperados:

1. Se debe tomar las medidas de seguridad: utilizar guantes, tapabocas, botas y si es necesario gafas para la protección de los ojos.
2. Seleccionar un recipiente con tapa que sea lo suficientemente grande para el volumen de la muestra que se necesita. Los recipientes deben de estar tapados y limpios a la hora de su transporte al laboratorio. (Jiménez, y otros)
3. Una vez se cumplan los dos primeros pasos, se procede a realizar la recolección de muestra: se sumerge el recipiente en el agua y se enjuaga muy bien con agua del río (para purgar el recipiente) y se repite el mismo paso con la tapa del recipiente.
4. Luego de que ya se tenga bien purgado el recipiente se sumerge a la mitad del río en contra de la corriente hasta que se llene (no se debe sumergir mucho para que no se llene de sedimentos y altere la muestra, ni dejar tan arriba ya que el aire también puede inferir en la alteración de la muestra). Cuando ya esté lleno se debe de tapar debajo del agua para poder sacar el recipiente del agua y haber tomado correctamente la muestra de agua.

7.1. TRATAMIENTO BIOLÓGICO A PEQUEÑA ESCALA

Para realizar el tratamiento biológico a pequeña escala se debe hacer la recolección de los lodos activados que sean procedentes de una planta de tratamiento de agua residual, para esto nos remitimos a la planta de tratamiento de agua residual del Hotel Bosques de Atan ubicado en el municipio de Ricaurte, Cundinamarca. Los lodos activados o lodos secundarios son básicamente biomasa en exceso producida por tratamientos biológicos. (Ramalho)

El sistema de lodos activados es ampliamente utilizado para el tratamiento de agua residual doméstica. El modelo convencional está compuesto por un tanque de aireación y un sedimentador secundario (SS). En el tanque de aireación, donde se garantiza un suministro de oxígeno y una mezcla entre las agregaciones de microorganismos conocidos como “floc biológico” y el agua residual, la materia orgánica presente es degradada. Posteriormente, la mezcla de floc biológico y agua residual tratada conocida como “licor mixto” es separada en un SS. (Generatoris, 2012). Como se puede evidenciar en la imagen 3.

Las aguas residuales son una importante fuente adicional para satisfacer la demanda del recurso, a causa de la disponibilidad limitada de agua potable para cubrir los requerimientos de las poblaciones. Para el reúso de aguas residuales se aconseja realizar siempre un tratamiento preliminar y primario; el tratamiento secundario, además de remover de manera eficiente Sólidos suspendidos y materia orgánica, influye directamente sobre la estructura de algunos compuestos, como los de nitrógeno. (Silva, Torres, & Madrez, 2008)



Figura 3. (Generatoris, 2012)

Este equipo simula una planta de tratamiento de aguas residuales, que consta de un reactor biológico el cual tiene dos salidas de agua tratada hacia el decantador, colocadas a diferentes niveles de altura, un agitador para el decantador, una bomba dosificadora y un compresor de aire, para mantener aireados los lodos activados, tanque de alimentación de reactivo, tanque de recepción de lodos del reactor y tanque de recepción de lodos del decantador.

Como primera instancia se deberá dar unas condiciones óptimas a los lodos activados recolectado en el equipo de tratamiento biológico, lo que consiste en encontrar las condiciones adecuadas (se alimentarán los lodos en el intervalo de 5-6 días para darle las condiciones óptimas de operación) de los parámetros físico químicos (pH, turbidez, oxígeno disuelto, carbono orgánico total y conductividad) y los parámetros visuales (color, espuma, burbujeo, claridad, aspecto del lodo y olor) para posteriormente realizar una caracterización microbiana.

Luego se ingresará el agua residual tomada de la desembocadura del río Bogotá en Ricaurte Cundinamarca para realizar la degradación biológica con un tiempo de retención de 1 semana.

Transcurrido el tiempo de una semana se debe dejar decantar la muestra en donde por un lado obtendremos el agua tratada y se medirán nuevamente los parámetros físico químicos y visuales, y por otro lado el lodo residual, al cual se le tendrá que realizar una estabilización que consiste en adicionar cal para reducir los malos olores, microorganismos patógenos, entre otros y así poder aprovecharlos en otras actividades. (Limon Maias, 2013).

Para el acondicionamiento de los lodos activados provenientes de la PTAR de Bosques de Atán se agregaron al equipo de tratamiento biológico a pequeña escala, se alimentaban con Harina de Trigo, en 100 ml de agua destilada se agregaban 10 gr de harina diluidos al día durante 5 días para medir el % volumétrico de los lodos activados, midiendo parámetros como pH, redox y

oxígeno disuelto, esto con el fin de darles las condiciones óptimas para poder depurar el agua recolectada del río Bogotá y el agua de origen sintético, contaminada con colorante Iris.

Al momento de tener los lodos activados en sus condiciones óptimas se agregó el agua de la muestra de la desembocadura del río Bogotá; dejando actuar a los microorganismos para que degraden el Carbono Orgánico Total presente en la muestra de agua problema.

7.2. ESPECTROFOTOMETRO VISIBLE

La luz se puede explicar como un conjunto de radiaciones que se mueven por todo el espacio. Aquellas detectables por nuestro ojo corresponden a la luz visible, pero la mayoría son invisibles para nosotros. Estas radiaciones se pueden describir como partículas y como ondas. La descripción como onda se basa en que la luz consta de campos eléctricos y magnéticos que oscilan sinusoidalmente y en forma perpendicular a la dirección de traslación por el espacio. (Arenas & Lopez, 2004).



Figura 4. Google Imágenes

Se realizaron 4 mediciones de muestras de agua con diferentes concentraciones 500, 400, 250, y 100 ppm de colorante en diferentes tiempos, realizando un balance de materia en donde entra

un agua contaminada con anilina, pasa por un tratamiento con lodos activados y se tiene como resultado la reducción en la concentración de la anilina en el agua (agua tratada); esto también nos ayudara a determinar la eficiencia del proceso. Luego se tomó una pequeña muestra en tubos de ensayo del agua contaminada con el colorante y con los lodos activados y dejarlas sedimentar por un tiempo entre 15 y 20 minutos, y así realizamos una curva de calibración (tomando datos de absorbancia y concentración) con ayuda del espectrofotómetro visible y finalmente con estos datos pudimos determinar la eficiencia que tienen los lodos activados para degradar colorantes de la industria textil.

Estabilización de lodos

Se realizó la recolección de una muestra simple en una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) llamada Bosques de Atan, ubicada en el municipio de Ricaurte, Cundinamarca, para la toma de la muestra se sumergió un recipiente para extraer los lodos de la planta, se dejó sedimentar por lo menos 30 minutos para retirar el exceso de agua para así recolectar un volumen considerable de lodos activados.

Luego se trasladaron los lodos a la Universidad de Cundinamarca, seccional Girardot para depositarlos en el equipo de tratamiento biológico, posterior a estos se enciende el reactor biológico a pequeña escala para mantener aireados los lodos y no permitir que se descompongan, previamente fueron calibrados los sensores de pH, redox y oxígeno disuelto del equipo de escala de laboratorio.

Antes de empezar a oxigenarlos se dejaron quietos por más o menos una hora, con el fin de que los lodos se acondicionaran al medio, al momento que se empezaron a oxigenar, simultáneamente se empezaron a alimentar con harina. Para alimentar los lodos se realizó una mezcla de 100 ml de agua de los lodos y 40 gr de harina de trigo, disolviendo la harina en el agua

y así evitar que se formaran floc y por consiguiente formación de espumas, y para que no hubiera una alteración en el acondicionamiento de los lodos.

Se escogió la harina de trigo para alimentar a los lodos por su porcentaje de composición: 5% de calorías, 0% en grasa total, 0% en grasa saturada, 0% en sodio ya que es basado en una dieta de 2000 calorías.

En el momento que se bajaba el pH se le agregaba hidróxido de sodio (NaOH, 5%P/V) para subir el pH y cuando el valor se elevaba mucho se agregaba ácido sulfúrico diluido (H₂SO₄, 5%P/V) para bajarlo y así se mantuviera en las condiciones óptimas de los lodos.

Para la medición del pH se utilizó el pHmetro utilizado para las pruebas realizadas fue el pHmetro HI98129 el cual cuenta con las siguientes especificaciones: rango de temperatura: 0 – 60°C, rango de pH: 0 – 14, resolución: temperatura: 0.1°C, pH: 0.01, margen de error: tiempo: ±0.5°C, pH: ± 0.01, desviación típica,: temperatura: ± 0.5°C, pH: ±0.02. (Hanna Instruments, Manual de Instrucciones).

Finalmente se tomaba una muestra de lodos cada 12 horas en promedio (para medir el porcentaje volumétrico de lodos, se colocaban en una probeta de 100 ml de lodos y se dejaba sedimentar y según lo que bajara el precipitado obteníamos el porcentaje de lodos), y simultáneamente se tomaban datos de pH, redox y oxígeno disuelto. Cada vez que el porcentaje de lodos marcaba un 100%, se retiraba un volumen de lodos y se le agregaba el doble de agua, esto significa que la población microbiana de lodos había crecido en exceso y no estaban en las condiciones óptimas para realizar el proceso de degradación en el agua residual a tratar.

Este procedimiento duro 19 días, para este último día los lodos estabilizados del reactor biológico se dejaron reposar y sedimentar para posteriormente introducir la muestra que se recolecto de la desembocadura del rio Bogotá.

. ESTABILIZACION DE LODOS

Tiempo (H)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Redox	% Volumétrico de Lodos
0	6,17	5,15	148	25%
15	6,46	4,13	147	28%
22	5,32	5,04	159	32%
62	6,59	2,53	156	30%
70	5,54	6,36	157	39%
88	6,59	5,56	154	43%
94	6,79	5,51	153	64%
109	6,62	5,33	154	98%
155	5,89	4,85	157	100%
165	6,44	1,39	155	89%
182	6,53	0,76	155	98%
189	7,42	7,87	158	96%
201	5,48	2,43	156	100%
222	5,57	1,17	150	98%
229	6,50	2,12	150	98%
251	6,49	7,87	154	95%
271	6,27	5,65	148	90%
319	6,83	9,69	152	84%
343	6,21	12,97	149	90%
347	6,25	12,93	152	45%
367	6,87	12,44	152	70%
375	6,74	8,49	152	95%
389	6,56	11,86	151	95%

*Al día 4 se llegó a la optimización de lodo a un 98%.

Curvas de Calibración

Colorante

Antes de realizar los ensayos se realizó una curva de calibración del colorante comercial Iris Dark Blue #17, la cual se tabulo y se graficó para posteriormente evaluar los resultados en dicha tabla de las pruebas y la réplica que se va a realizar más adelante.

Para realizar la curva de calibración se prepararon diferentes concentraciones del colorante (entre 10 y 600 ppm) y se midieron por el espectrofotómetro haciendo un barrido para averiguar la longitud de onda máxima que fue 556nm, con este dato se empezó a calcular las absorbancias de cada una de las concentraciones y así graficar para obtener la línea de tendencia, eficiencia y concentración final.

Tabla 2. CURVA DE CALIBRACION DEL COLORANTE 100 – 600 ppm

Curva de Calibración Iris Dark Blue (X1= 556 nm)	
Concentración Colorante	Absorbancia
600	1,051
500	0,903
400	0,689
350	0,655
300	0,569
250	0,475
200	0,373
150	0,284
100	0,185

Tabla 3. CURVA DE CALIBRACION DEL COLORANTE 10 – 100 ppm

Curva de Calibración Iris Dark Blue (X1= 556 nm)	
Concentración Colorante	Absorbancia
100	0,185
90	0,172
80	0,153
70	0,133
60	0,120
50	0,102
40	0,079
30	0,065
20	0,046
10	0,026

Análisis de Carbono Orgánico Oxidable

Se realizó una curva de calibración utilizando la sacarosa comercial con una pureza del 98% como fuente de carbono que según su estructura molecular contiene un 42.10% de Carbono. Seguidamente se preparan soluciones entre 6 y 114 ppm de sacarosa. Dichas soluciones se llevaron a tubos de ensayos de tapa rosca luego se le agrego como agente oxidante Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$, 1.28% P/V) 1mL y como agentes ácidos para favorecer la oxido-reducción; el Ácido Sulfúrico Concentrado (H_2SO_4) 1mL y el Ácido Orto-Fosfórico (H_3PO_4) 1mL y se dejaron en baño maría a 70 grados centígrados por 19 horas. Luego de que pasaran las 19 horas se dejaron enfriar las muestras y se realizó un barrido en el espectrofotómetro para medir la longitud de onda máxima que fue 445 nm.

Una vez realizadas las mediciones se realizó un análisis de regresión lineal para calcular la curva de calibración.

Tabla 4. CURVA DE CALIBRACION DEL COT

Curva de Calibración Rio Bogotá X1= 445 nm				
V(mL) Alícuota	Concentración (mg/L Carbono)	Absorbancia	Corrección	
0,5	6,315	0,950	0,136	
1	12,63	0,827	0,259	
2	25,26	0,605	0,481	
3	37,89	0,558	0,528	
4	50,52	0,432	0,654	
5	63,15	0,396	0,690	
6	75,78	0,201	0,885	
7	88,41	0,115	0,971	
8	101,04	0,102	0,984	
9	113,67	0,096	0,990	
Blanco	0	1,086	1,086	

Preparación de las muestras con colorante

Para la preparación de las soluciones para determinar la eficiencia de degradación de colorante en un tratamiento biológico utilizando lodos activados, se pesaron diferentes concentraciones del colorante comercial Iris Dark Blue #17 para aforar a 1 L de agua destilada y seguidamente extraer 1 L de lodos activados del reactor de tratamiento biológico ya estabilizados. Luego se trasvasaron a un recipiente plástico previamente esterilizado donde se les aplico oxígeno a través de un Compresor WAVE MOUSE 2 Bomba de Aire Oxigenador de Acuario con difusores de burbuja para garantizar las mismas condiciones del depurador biológico. Se tomaron muestras cada 2 horas aproximadamente hasta cumplir las 24 horas de tratamiento, cada muestra se dejaba sedimentar una hora para retirar el sobrenadante y hacer proceso de filtración con papel filtro y una jeringa para retirar cualquier partícula grande y así

evitar un error en él espectrofotómetro. Para comprobar el montaje referirse al Anexo 4 y 7 de este mismo documento.

Preparación de las muestras con Agua del Rio Bogotá

Para la preparación de la muestra de la degradación de turbidez y COT del agua de la desembocadura Rio Bogotá con un tratamiento biológico de lodos activados; al pasar 19 días de estabilización de lodos se procede a verter la muestra simple de agua de la desembocadura del Rio al reactor biológico donde se mezcla el agua problema con los lodos activados alimentan solo una vez con 30 gr de harina para que las condiciones que llevaban los lodos en su estabilización no cambiaran tan drásticamente. Se dejó la muestra 28 h en tratamiento y cada 2 o 3 horas de tomaba una muestra para medirlas con el espectrofotómetro y determinar la eficiencia de degradación del COT y turbidez en dicha agua, conjuntamente también se hacia la prueba de la probeta para calcular el % volumétrico de lodos según el tiempo en degradación. Cada muestra obtenida se llevó a tubos de ensayo con tapa rosca y se mezcló con un agente oxidante Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$, 1.28%P/V) 1mL y como agentes ácidos para favorecer la oxido-reducción; el Ácido Sulfúrico Concentrado (H_2SO_4) 1mL y el Ácido Orto-Fosfórico (H_3PO_4) 1mL y se dejaron en baño maría a 70 grados centígrados por 19 horas. Luego de que pasaran las 19 horas se dejaron enfriar las muestras y se realizó la medición a una longitud de onda de 445 nm para determinar la cantidad de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$, 1.28%P/V) que se consumió en ese tiempo y calcular el COT final de cada una de las muestras y su eficiencia. Para revisar el montaje de las muestras observar el Anexo 5 de este mismo documento.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

COLORANTE IRIS DARK

Para el primer ensayo de remoción del colorante (Iris) se realizó a una concentración de 500 ppm donde pasadas 24 horas, se determinó la eficiencia de remoción y solo fue del 14.8%, por lo que se procedió a hacer una revisión bibliográfica donde se determinó que la equivalencia volumétrica que se estaba utilizando, no era la óptima para el tratamiento biológico puesto que tenemos 1 L de muestra problema versus 100 mL de lodos, por consiguiente se termina que este ensayo nos sirvió para determinar la eficiencia del tratamiento biológico.

La finalidad del ensayo 2 era comprobar si la equivalencia volumétrica afectaba la eficiencia de remoción, arrojando un resultado positivo en cada una de las concentraciones preparadas, se garantizaron las mismas condiciones que el primer ensayo solo que en este se utilizó la misma proporción de muestra y de lodos (1 L de la nuestras problema y 1 L de lodos activados).

Además de confirmar la eficiencia frente a la equivalencia volumétrica también se comprobó que dicha eficiencia se ve afectada en altas concentraciones del colorante ya que se disminuyó la población de lodos activados y la eficiencia del tratamiento ya que era una concentración elevada para los microorganismos; con esto podemos ver que los lodos activados son más eficientes en concentraciones bajas puesto las que se evaluaron eran muy altas hasta para las descargas de industrias textiles, posteriormente se determina que la concentración óptima es de 500 ppm a 100 ppm del colorante las cuales se utilizaran en la prueba final del tratamiento.

Luego de realizar este análisis se debe de dar un tratamiento a los lodos restantes (lodos residuales o biosólidos), los usos que se le pueden dar a estos biosólidos son: En zonas verdes tales como cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos, como producto para

uso en áreas privadas tales como jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización y/o en la agricultura, etc. Los biosólidos que cumplan con los parámetros establecidos en el decreto 1287 de 2014, pueden ser almacenados por un periodo máximo de 6 meses en condiciones que garanticen las emisiones de gases manejo de lixiviados y control a la proliferación de vectores. (Ministerio de Vivienda, 2014)

Esta prueba tuvo como objetivo determinar la eficiencia del tratamiento biológico con lodos activados (como se puede evidenciar en el Anexo 20) degradando un colorante comercial en este caso Iris Dark Blue #17, la cual después de 2 ensayos encontramos la concentración y la equivalencia volumétrica óptima para la degradación de este, dando como resultado un 90% de eficiencia de remoción en concentraciones de 250 a 500 ppm y 50% de eficiencia de remoción en una concentración de 100 ppm. Como se puede observar en la tabla 6 del anexo 20 entre T0 a T4 son los tiempos de mayor degradación del contaminante.

Con lo anterior se puede deducir que el tiempo con mayor degradación de los lodos activados están dentro de las primeras 6 horas de tratamiento, esta afirmación está dada en varios estudios y tiempos de retención en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Los resultados nos muestran que el tratamiento tiene una eficiencia de 90% pero si analizamos el crecimiento poblacional de los lodos activados dentro de esas 24 h podemos deducir que hay una disminución puesto no es el mismo % volumétrico de lodos de entrada que de salida, lo que podemos atribuir que la concentración afecta el crecimiento puesto como muestra el Anexo 6 entre más alimento tengan los lodos la población no disminuye de la misma forma cuando la concentración es más baja, por lo tanto aumenta la mortalidad de lodos (100 ppm (9%), 250 ppm (41%), 400 ppm (39%), 500 ppm (65%).

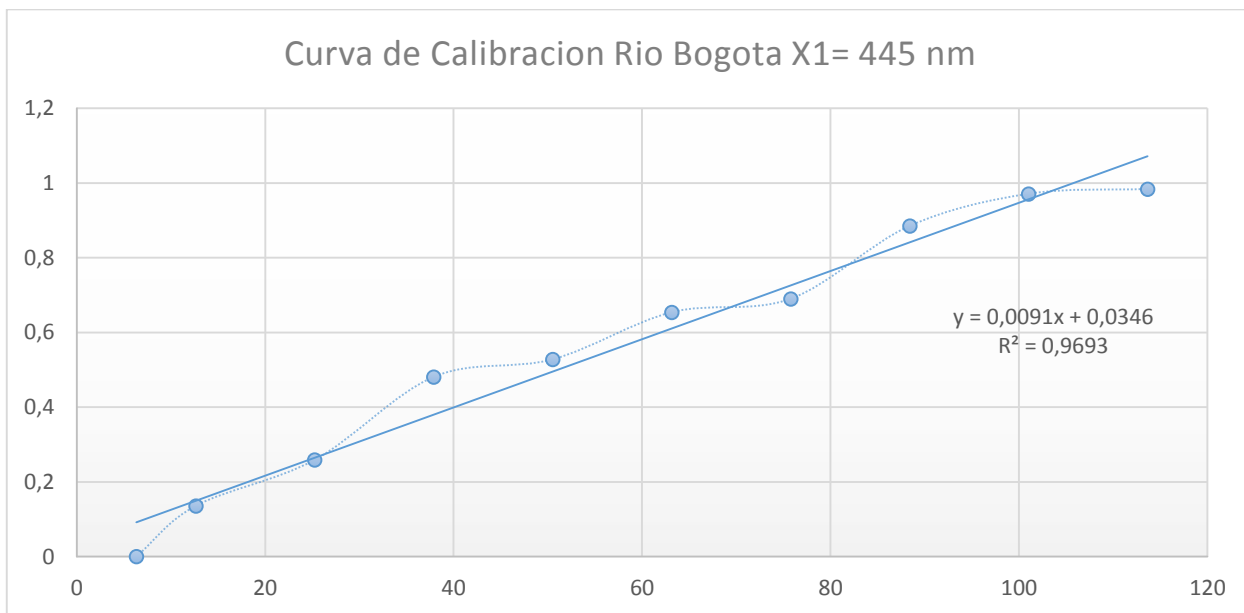
Con estos datos, se puede atribuir, que a pesar que se garanticen las mismas condiciones que en el depurador biológico los lodos son sensibles a los cambios bruscos de alimentación ya cuando se adaptan a un alimento la población nuevamente empieza a elevarse.

La mayor limitante de esta prueba está en la oxigenación optima de los lodos puesto si no se cuenta con una bomba de aire eficiente y una oxigenación estable los lodos empiezan a descomponerse lo cual afecta su crecimiento y la degradación de la solución contaminada por lo tanto se recomienda una bomba adecuada y un servicio de energía estable para no incurrir en apagones y alteraciones en las muestras.

CARBONO ORGANICO TOTAL

Para la determinación del porcentaje del carbono orgánico total del rio Bogotá se tomaron muestras en diferentes tiempos, en tubos de ensayo, dejando como muestra inicial el agua del rio Bogotá sin tratamiento (tratamiento con $K_2Cr_2O_7$); al momento de aplicar la fórmula para determinar la concentración del Carbono Orgánico Total $Y=Mx+b$; las muestras con el dicromato de potasio tenían un color amarillo, luego de las 28 horas al baño maría, la muestra tiende a oxidarse y a tomar un color verde.

Figura 5 CURVA DE CALIBRACION DEL COT



Allí se observan valores intermitentes, que varían drásticamente al pasar el tiempo. Antes de introducir el agua del río (t_0), los lodos se encontraban al 98 % y al pasar las 28 horas los lodos se redujeron al 50% debido a que el equipo sufrió cambios drásticos por cortos de energía y alteraciones en las condiciones óptimas, puesto que la oxigenación bajaba y el pH aumentaba, los microorganismos morían y la materia orgánica aumentaba.

Esto puede deberse a que las precipitaciones de los días en que se tomaron las muestras fueron abundantes, lo que quiere decir, que las concentraciones de los contaminantes del agua del río Bogotá se encuentran muy diluidas, pero se mantiene la turbidez y el color del mismo. Por lo que a simple vista no se puede determinar sino hasta analizarlas en el laboratorio.

Al momento de terminar de tomar los datos de las muestras se dejó sedimentar el agua por 3 horas y posteriormente se trasladó al tanque

El tratamiento biológico con lodos activados no solo sirve para la degradación de contaminantes sino también para reducir la turbiedad como se evidencia en la tabla 10 del anexo 22, esto es gracias a la presencia de los microorganismos filamentosos que degradan la materia orgánica y

están presentes en los lodos activados, algunos de ellos son: *N. limicola* II, *Thiothrix* II, *Gallionella* (Pacheco, Rodriguez, Pavón, & Mejía, 2003). La adsorción de la turbiedad fue de 97.03%. Y si realizamos una comparación entre la eficiencia de la remoción de COT y la turbiedad podemos determinar que la eficiencia de los lodos es óptima siempre y cuando no haya afectaciones en las condiciones del laboratorio como cortes del servicio de energía, que ayudan y promueven descomposición o muerte de los mismos por que se deja de oxigenar el agua.

Luego de realizar todas las pruebas necesarias para la investigación se apagó el equipo a escala de laboratorio y la bomba para oxigenar, al pasar de las horas se evidencio que el agua de la desembocadura del rio Bogotá tomo un color negro. El cambio de color que sufrió el agua de la desembocadura rio Bogotá luego de que se dejó de oxigenar, se puede deber a que son aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición de las bacterias bajo condiciones anaerobias (sin oxígeno). (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

9. CONCLUSIONES

El aumento del alimento para los lodos activados va a ser proporcional a la eficiencia de los mismos, en este caso colorante o COT la eficiencia tiende a aumentar. Para el caso del colorante como la concentración del contaminante era alta los resultados fueron positivos; pero para el agua del río Bogotá, como la concentración del carbono fue tan baja y hubo fallas eléctricas se obtuvo un resultado no tan favorable en la eficiencia.

Para el método de análisis de Carbono Orgánico Total en una muestra de agua del río Bogotá se llegó a la conclusión que se debe realizar nuevamente una revisión de dicho estudio puesto que las condiciones variables en el laboratorio y las precipitaciones en la semana de recolección de muestra produjeron una alteración en la muestra al momento de analizar los resultados porque la eficiencia que se registra en la literatura debe ser superior al 88% (Barrios, Gaviria, Agudelo, & Cardona, 2015) y la eficiencia que se obtuvo fue entre 55 – 60%. Esto no quiere decir que el procedimiento aplicado sea erróneo, sino que se debe garantizar las condiciones óptimas para el análisis de las muestras.

Por otro lado Según la documentación técnica normativa del sector de agua potable y saneamiento básico del año 2000 el porcentaje de eficiencia de remoción para un sistema de lodos activados convencional se encuentra entre el 85 y 90%. (Dirección General de Agua Potable y Saneamiento básico, 2000)

En cambio, para la turbidez se obtuvo un resultado contrario, una eficiencia fue del 97.03 % y un agua clarificada de buena calidad, es decir, el proceso de remoción de turbidez fue tan bueno que la eficiencia aumento con respecto a la turbidez.

En caso de la remoción del colorante los resultados obtenidos fueron entre un 80 y 90% de eficiencia, esta es una técnica primaria para el tratamiento de agua residual proveniente de una industria textil, debido a que se disminuye la turbidez y la concentración final de dicha agua problema.

10. RECOMENDACIONES

Para poder dar las condiciones óptimas e ideales a los lodos activados el tiempo de retención hidráulico en el tanque de aeración, o el tiempo que las bacterias están en contacto con el agua residual, es un factor importante de diseño y operación. Se debe tener suficiente tiempo para que las bacterias asimilen la materia orgánica que contiene el agua residual. Si el tiempo de retención es muy corto no se removerá toda la materia orgánica y la DBO del efluente será alta.

(Patarrollo). Se recomienda que para un próximo análisis se garantice un tiempo de aireación lo suficientemente largo sin interrupciones en el proceso, previniendo bajas o altas de energía, temperatura y pH.

Para trabajar con procesos biológicos a escala de laboratorio se recomienda como primera instancia saber o analizar los fangos de lodos activados para saber el tipo de bacterias presentes en el lodo, esto debido a que al momento que se dejó de oxigenar el agua del río Bogotá con los lodos, el agua tomó un color negro.

Para la optimización de los microorganismos en los tratamientos biológicos se debe realizar una adición de co-sustratos o alimentos para garantizar el crecimiento de los microorganismos los cuales aseguran la degradación del colorante; se pueden evaluar diferentes parámetros como el modo de operación del reactor y variables como la temperatura, el pH, la concentración inicial del colorante y presencia de oxígeno en el sistema. Además de esto los tratamientos biológicos permiten determinar porcentajes de remoción de color y COT significativos. (Barrios, Gabiria, &

Agudelo, Tecnologías de remoción de colorantes y pigmentos presentes en las aguas residuales , (2015). Además de garantizar el crecimiento de los microorganismos se debe garantizar también el funcionamiento constante del equipo, ya que esto fue uno de los parámetros que contribuyó a que el COT del río Bogotá no se obtuviera el resultado que se esperaba.

11. BIBLIOGRAFIA

- Acero Aguirre, A. (2012). *Guía de Producción Más Limpia para el Sector Curtiembres de Bogotá, Enfoque en Vertimientos y Residuos*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Amada, R., Ortiz, O., & Aquiles, E. (2014). Metodología rápida y sencilla para la determinación de colifagos somáticos como indicadores de contaminación fecal en una planta de tratamiento de agua localizada en el noreste Colombiano. *Universidad y salud* , 57-68.
- Arenas, I., & Lopez, J. (2004). *Espectroscopia de Absorción* . Cuernavaca : Universidad Nacional Autónoma de México .
- Barrios, L., Gaviria, L., & Agudelo, E. (2015). Tecnologías de remoción de colorantes y pigmentos presentes en las aguas residuales . *DYNA*, 118-126.
- Barrios, L., Gaviria, L., Agudelo, E., & Cardona, S. (2015). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. Una revisión . *DYNA* , 118-126.
- Camacho, N. (2011). Tratamiento de agua para el consumo humano . *Ingeniería Industrial*, 153-170.
- Chamorro, X., Rodríguez, G., Enriquez, A., & Rosero, M. (2010). Montaje y validación del método de análisis por combustión por infrarrojo no dispersivo . *Luna Azul*, 10-23.

- Chavarro, M., Garcés, J., Guerrero, J., & Salas, D. (2006). Evaluación de la tratabilidad de los lixiviados en el relleno sanitario de Pereira mediante filtros anaerobios de flujo ascendente a escala piloto . *Scientia et Technica* , 0122-1701.
- Collazos, C. J. (2008). *Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales* . Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34782383/TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DOMESTICAS_E_INDUSTRIALES.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1558933333&Signature=28GRxIs6l7OVCXf1GoXIypAvilw%3D&response-content-disposition=inline%3B%2
- Cortazar, A., Gonzalez, C., Corocel, C., Escalante, J., Castro, J., & Villagomez, J. (2012). Biotecnología aplicada a la degradación de colorantes de la industria textil. *Universidad y ciencia tropico humedo* , 187-199.
- Crettaz, M., Milagnia, D., & Gianuzzi, L. (s.f.). bioacumulación y biomagnificación de cianotoxinas en organismos acuáticos de agua dulce . En M. Crettaz, D. Milagnia, & L. Gianuzzi, *CIAOBACTERIAS COMO DETERMINANTES AMBIENTALES DE LA SALUD* (págs. 171-186).
- Dávila, J., Machuca, F., & Marrianga, N. (2009). Reducción de demanda química de oxígeno, Carbono orgánico total y sólidos totales en vinazas mediante electroflotación/ oxidación. *Ingeniería e Investigación* , 35-38.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales . *Universidad de Barcelona* , 1-99.
- Dirección General de Agua Potable y Saneamiento básico. (2000). *Ras 2000*. Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico.

- Felix, J., Sañudo, R., Rojo, G., Ruiz, R., & Olalde, V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos . *Revista de sociedad, cultura y desarrollo sostenible* , 57-67.
- Ferrara, G., & Ramirez, A. (2013). Análisis de la sedimentabilidad de los lodos biológicos producidos en un rcs mediante la desnitrificación de un biorreactor de crecimiento adherido. *Facultad de Ingeniería* , 37-44.
- Galeano, L., & Rojas, V. (2016). *Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Velez Santander*. Bogotá : Universidad Católica de Colombia .
- García, C., Górtares, P., & Drogui, P. (2011). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción . *Química viva*, 96-105.
- Generatoris. (2012). Tratamiento de agua residual doméstica sin clarificación primaria en un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto. *Ingeniería y Desarrollo*.
- Guiza, L., Londoño, B., & Rodríguez, C. (2014). La judicialización de los conflictos ambientales: un estudio del caso de la cuenca hidrográfica del río Bogotá . *Int. contam. ambie.* , 195-209.
- Hanna Instruments. (s.f.). Manual de Instrucciones .
- Hanna Instruments. (s.f.). Manual de instrucciones de Microprocesador portátil Medidor de Turbidez .
- Iturbell, R. (30 de marzo de 2010). *Ciencia de Boleto 11*. Obtenido de ¿que es la bioremediación? : http://www.dgdc.unam.mx/assets/cienciaboletos/cb_11.pdf
- Jiménez, P., Vivas, S., Bonada, N., Robles, S., Mellado, A., Álvarez, M., . . . Pardo, I. (s.f.). Protocolo GUADALMED (PRECE). 187-204.

- Leitzke, D., Fachinello, J., & Padilha, S. (2011). Espectroscopia visible e infrarrojo en la evaluación de la calidad de mangas tommy atkins . *Bras, Frutic, Jaboticabal* , 306-313.
- Limon Maias, J. G. (2013). *Lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿ problema o recurso?*
- Londoño, A., & Colab., y. (2010). *Métodos analíticos para la evaluación de la calidad Fisicoquímica del agua* . Manizales : Blanecolor Ltda .
- Lora, R., & Bonilla, H. (2010). Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con metales pesados cadmio y cromo . *U.D.C.A*, 61-70.
- Lugo Arias, J. L. (2017). *Evaluación de alternativas de potabilización de bajo costo en comunidades palafíticas en el Caribe Norte Colombiano* . Barranquilla : Universidad del Norte .
- Mancer, N., & Alvarez, R. (2006). Estado del Crecimiento de las Concentraciones de Mercurio y Otros Metales Pesados en peces Dulceacuicolas de Colombia . *Acta Biologica Colombiana* , 3- 23 .
- Mayorga, J., & Mayorga, O. (2015). Caracterizacion de agua de consumo en el sector santa rosa-la Hechicera (Merida, Venezuela) . *Ingenieria UC*, 106-112.
- Mendez, L., Miyashiro, V., Rojas, R., Contrado, R., & Carrasco, R. (2004). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala del laboratorio. *FIGMMG*, 74-83.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2014). *Decreto 1287*. Bogotá.
- Ordoñez, M., Bravo, I., & Figueroa, A. (2003). Flujo de carbono orgánico total (COT) en la cuenca Andina: caso subcuenca rio de las Piedras . *Ingenierias Universidad de Medellin* , 30-42.

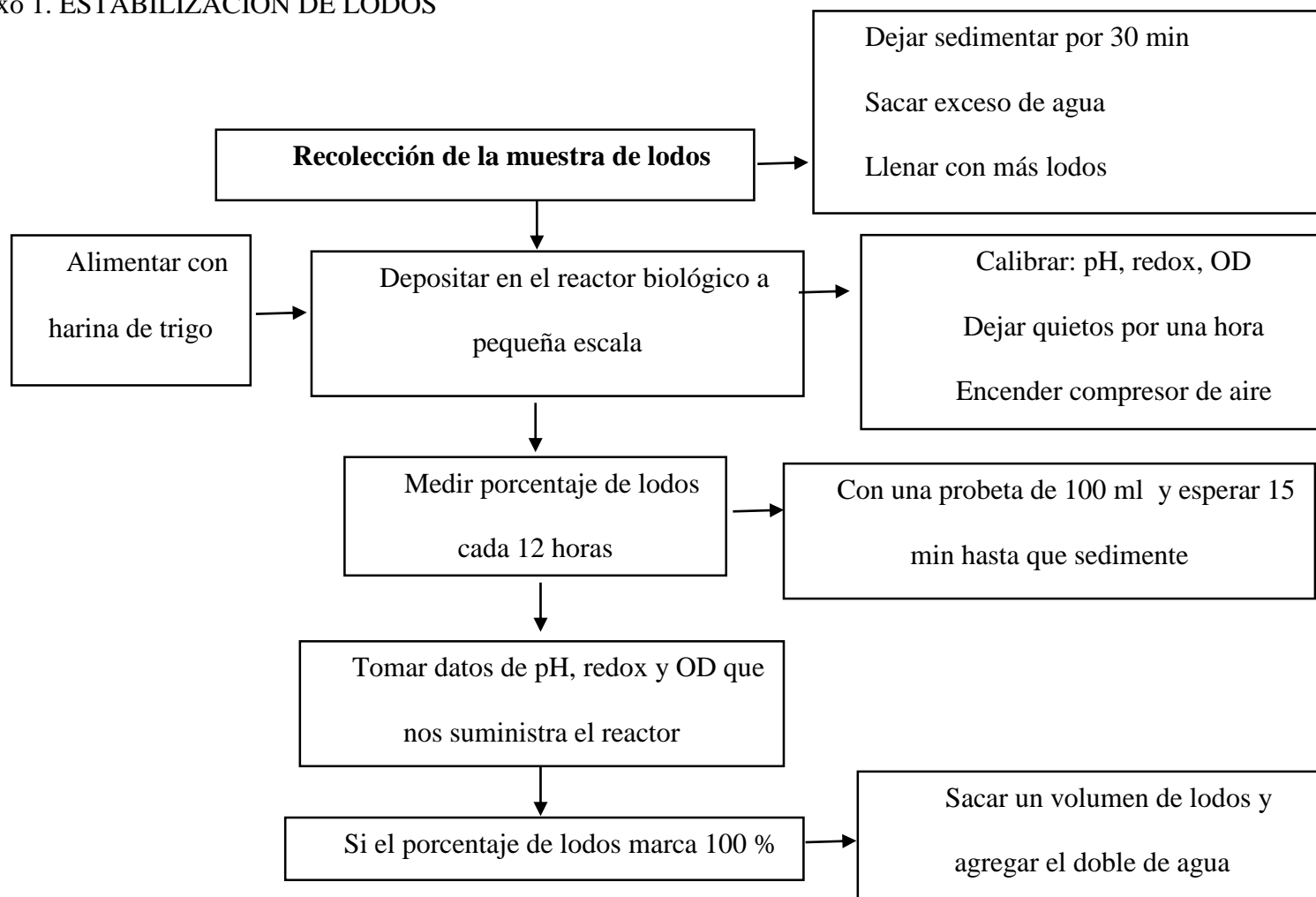
- Oropeza Garcia, N. (2006). Lodos residuales: Estabilización y manejo . *Caos Conciencia* , 51-58.
- Pacheco, V., Rodriguez, B., Pavón, T., & Mejía, G. (2003). Control del crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales . *Rev. int. contam. ambient* , 47-53.
- Patarrollo, E. (s.f.). *Procesos de estabilizacion de residuos generados en la industria textil en Colombiamediante lodos activados*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada .
- Peña Garcia, Y. (2016). *Degradacion microbiana de compuestos xenobioticos* . Huila: Universidad autonoma de Coahuila.
- Ramalho, R. (s.f.). *Tratamiento de aguas residuales* . Quebec, Canada : Reverté S.A.
- Reynolds, K. (septiembre/ octubre de 2002). Tratamiento de aguas residuales en latinoamerica . *De la llave* .
- Rodriguez, T., Botelho, D., & Cleto, D. (2008). tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiacion ultravioleta. *Fac, Ing, Univ, Antioquia* , 24-38.
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de tratamientos de aguas residuales* . Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente .
- Segura Triana, L. E. (2007). *Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia*. Bogotá: ESAP.
- Silva, J., Torres, P., & Madrez, C. (2008). *Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión*. Agronomía Colombiana .

Valarezco Garcia, N. A. (2010). *Efecto de la concentración de la biomasa y la presencia de aceites vegetales, acetites vegetales quemados, sales e hidrocarburos en los lodos activados*. Quito : Universidad Fransisco de Quito .

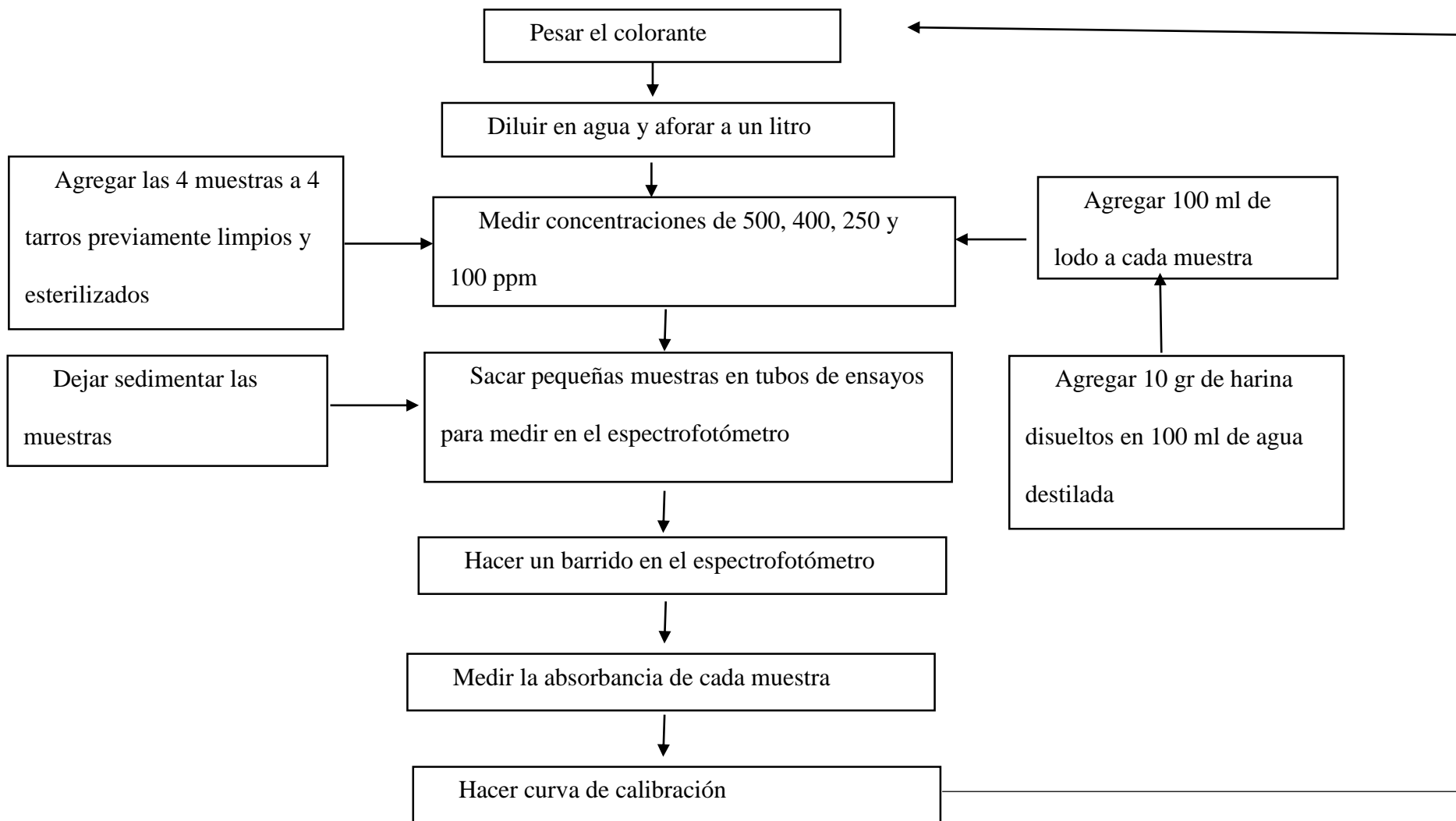
Varila, J., & Diaz, F. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio . *Journal of technology* , 21-28.

12. ANEXOS

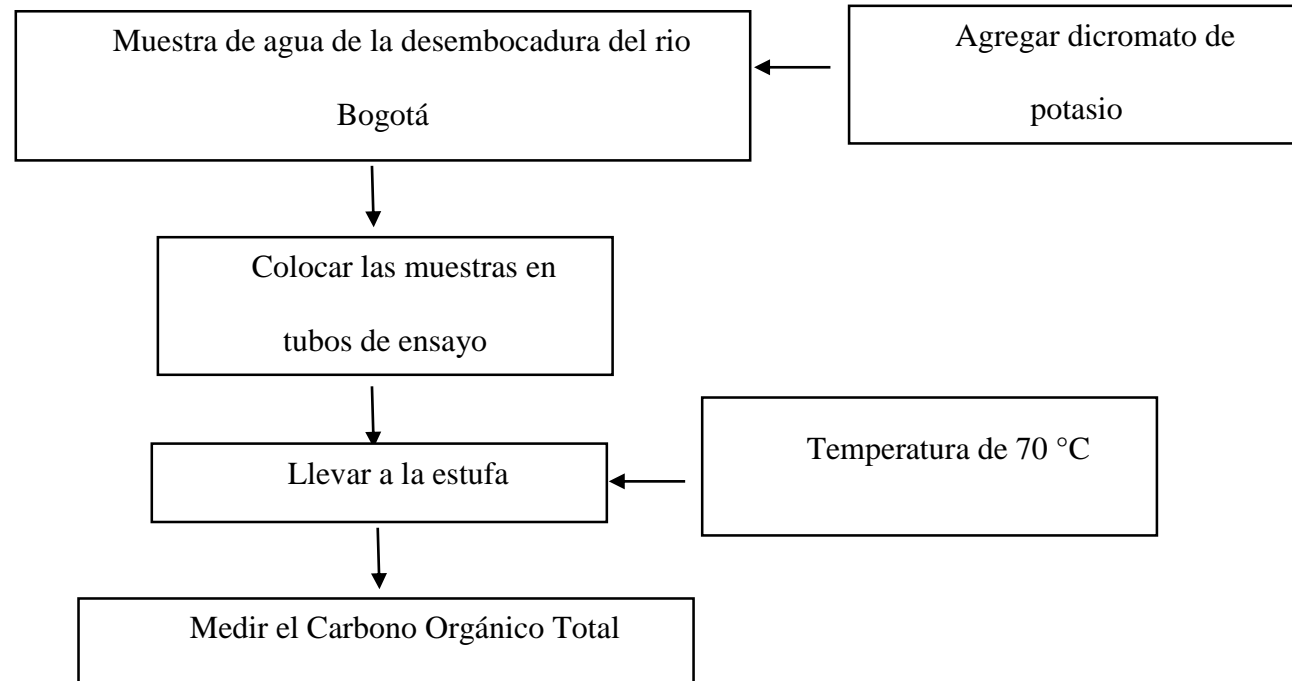
Anexo 1. ESTABILIZACION DE LODOS



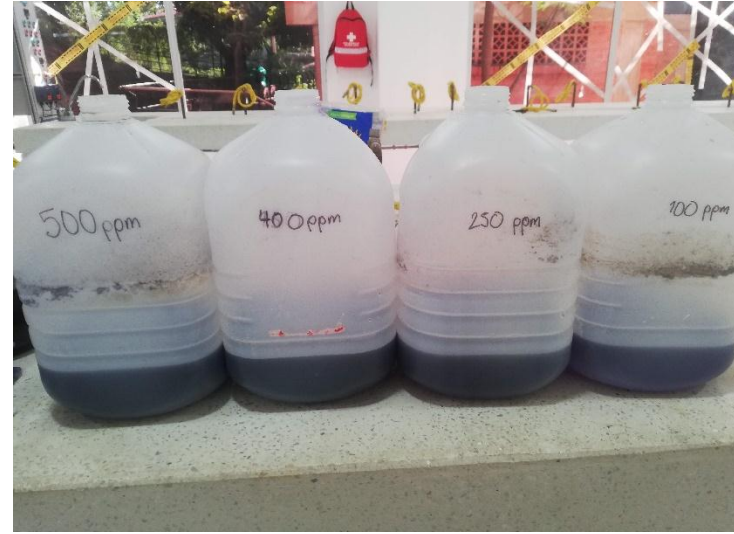
Anexo 2. MUESTRAS DEL COLORANTE



Anexo 3. MUESTRAS DEL RIO BOGOTÁ



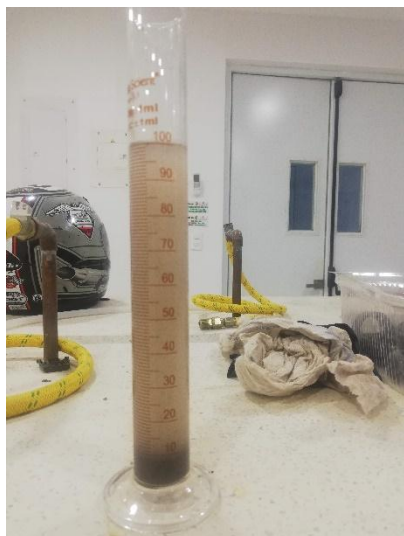
Anexo 4. MONTAJE Y PREPARACION DE MUESTRAS DEL COLORANTE IRIS DARK BLUE #17



Anexo 5. MONTAJE Y PREPARACION DE MUESTRAS DE LA CURVA DE CALIBRACION Y MUESTRAS COT



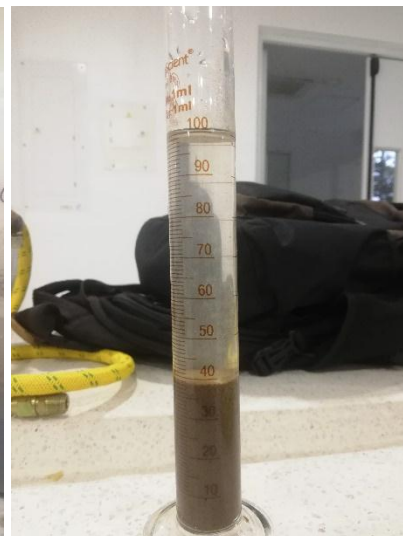
Anexo 6. PORCENTAJE VOLUMETRICO FINAL PRUEBA COLORANTE IRIS



***100 ppm (9%)**



***250 ppm (41%)**



***400 ppm (39%)**

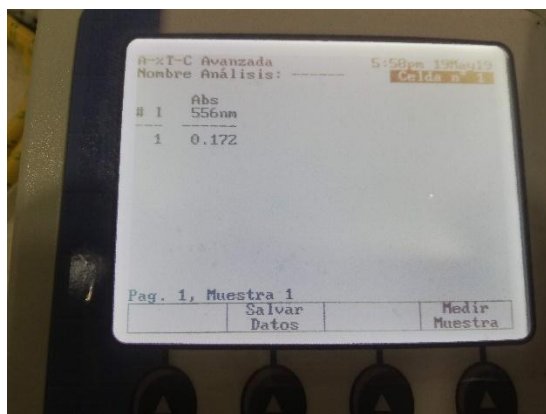


***500 ppm (65%)**

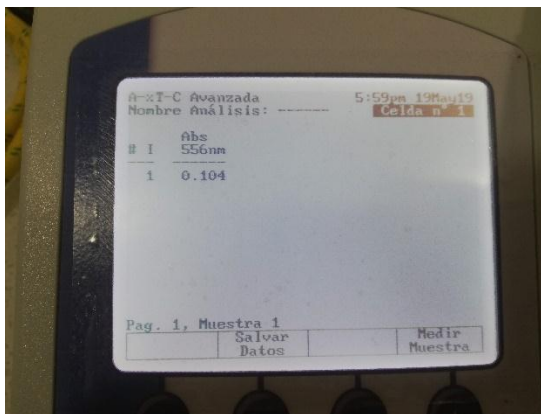
Anexo 7. MONTAJE FILTRACION DE MUESTRAS COLORANTE IRIS



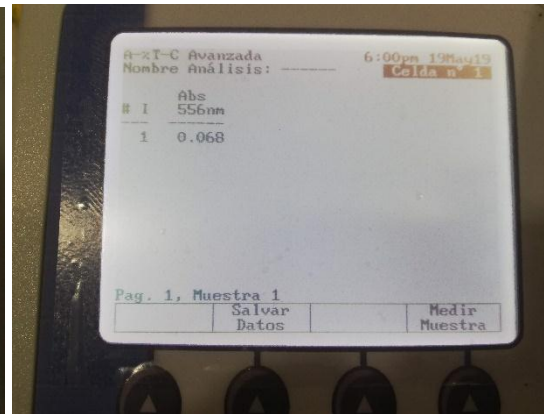
Anexo 8. RESULTADOS PRUEBA COLORANTE IRIS



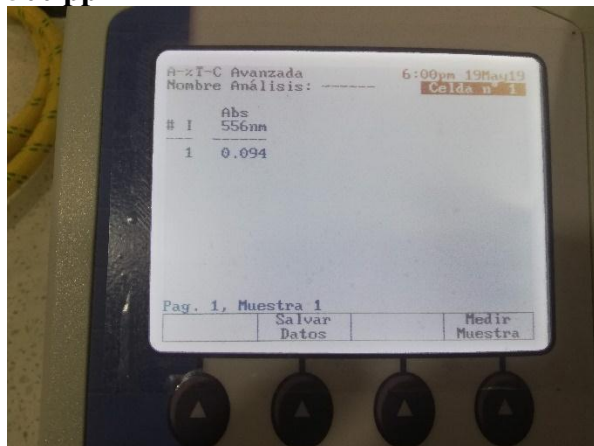
500 ppm



400 ppm



250 ppm

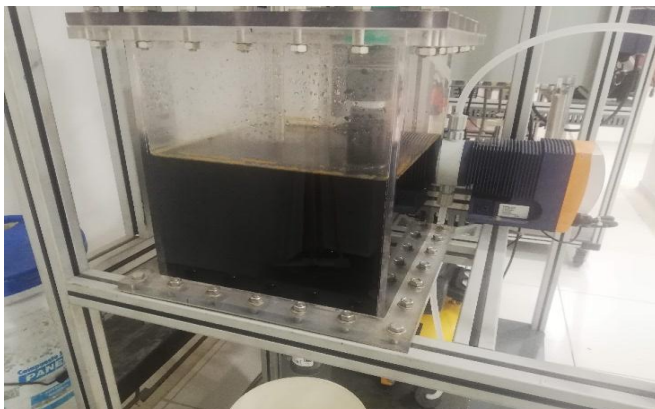


100 ppm

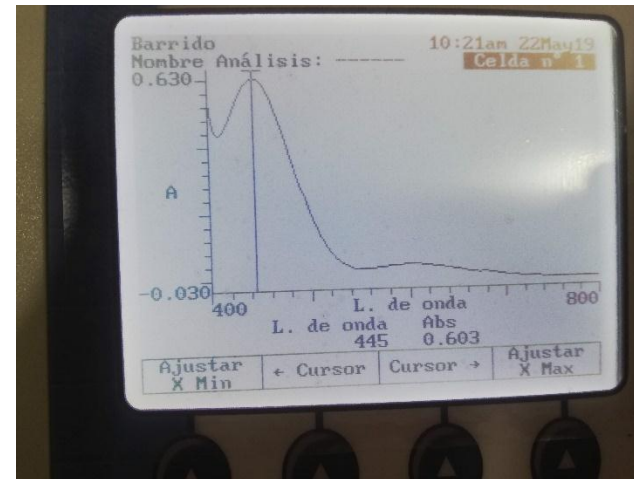
Anexo 9. COMPARACION DE MUESTRAS RIO BOGOTA



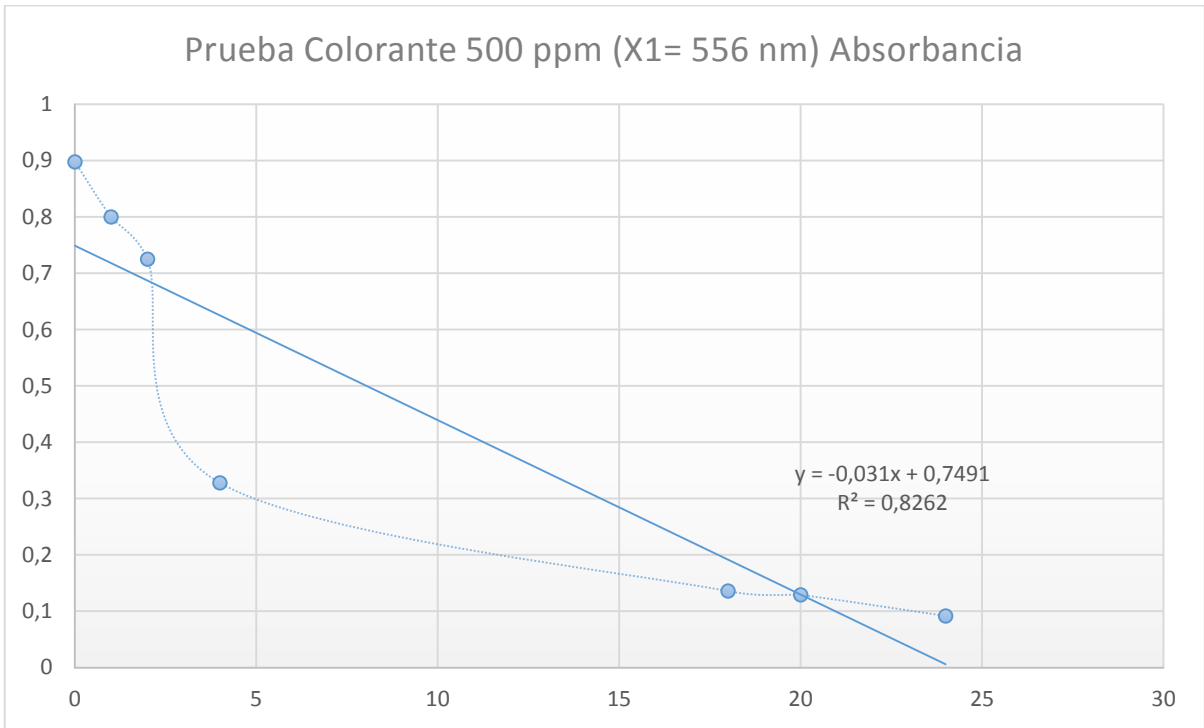
Anexo 10. AGUA DEL RIO REPOSADA POS TRATAMIENTO



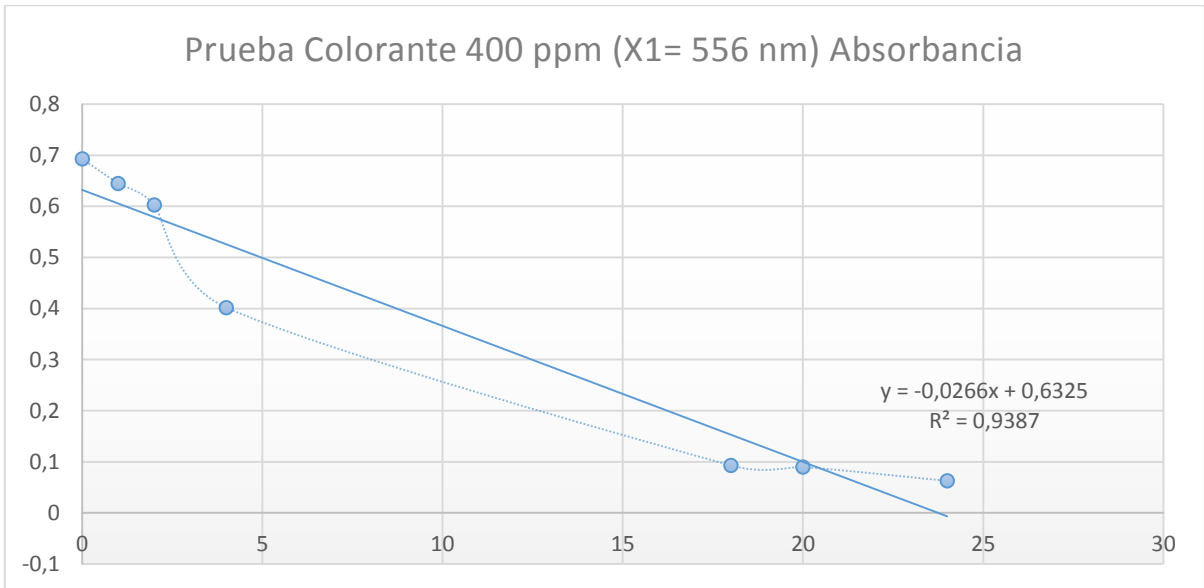
Anexo 11. BARRIDO ANALISIS CARBONO ORGANICO



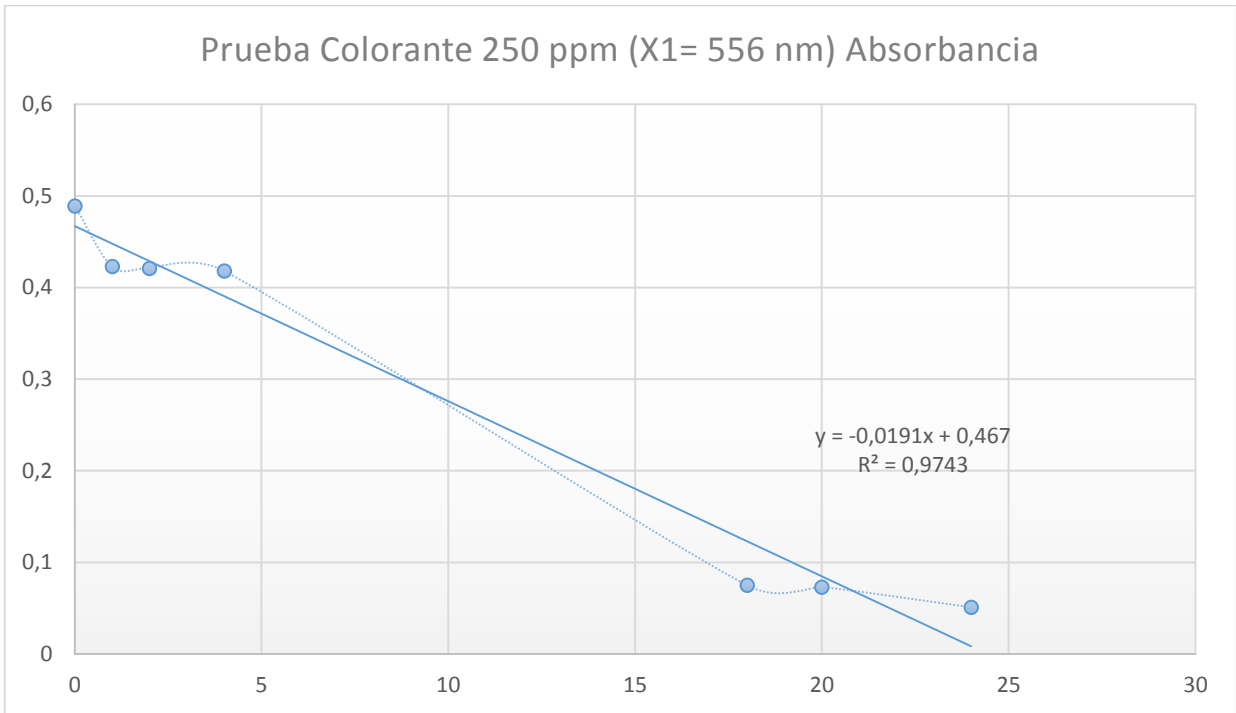
Anexo 12. ABSORBANCIA 500 ppm



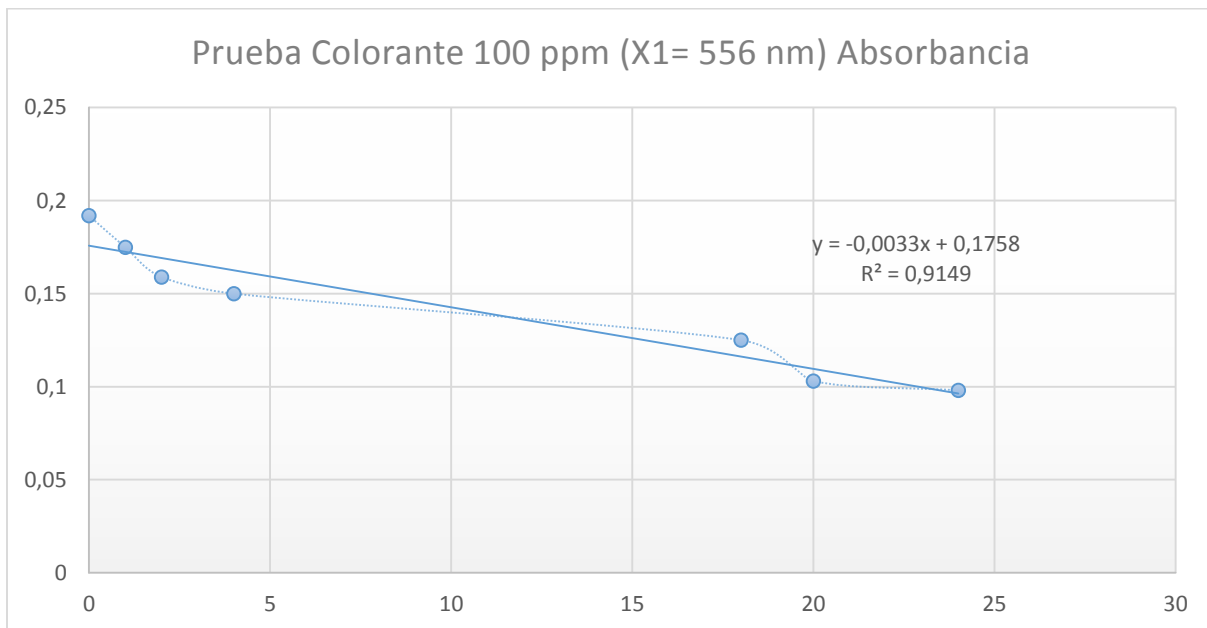
Anexo 13. ABSORBANCIA 4000 ppm



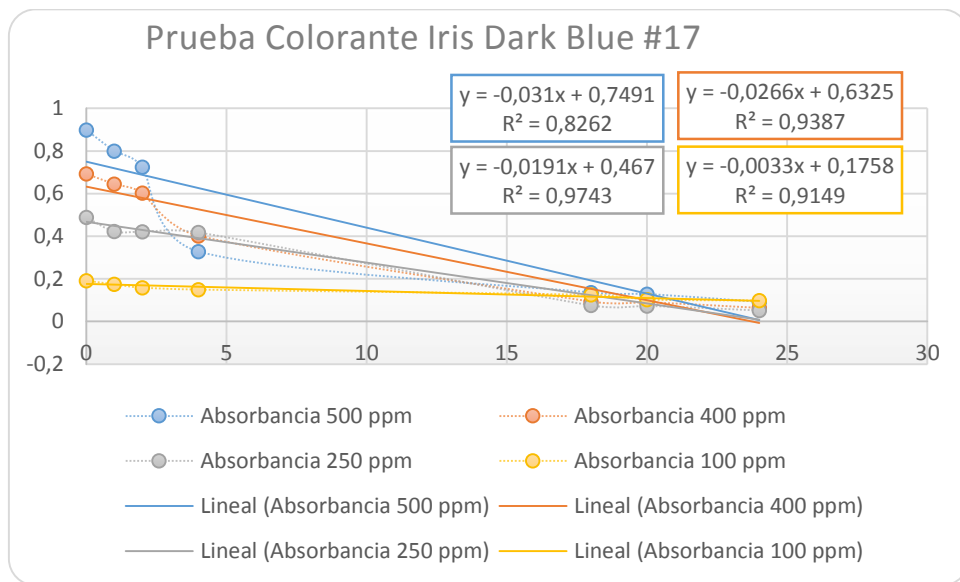
Anexo 14. ABSORBANCIA 250 ppm



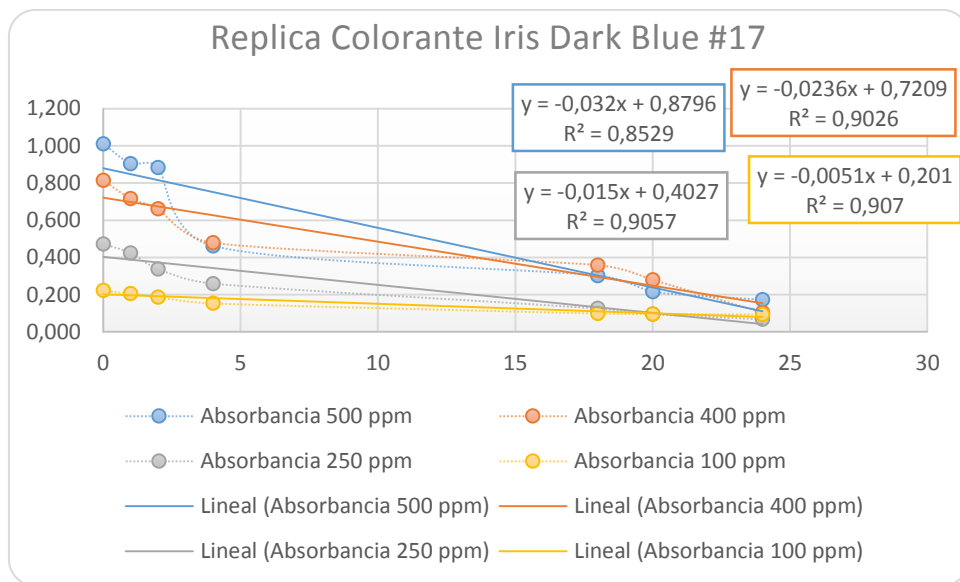
Anexo 15. ABSORBANCIA 100 ppm



Anexo 16. PRUEBA 1 ABSORBANCIA Iris Dark Blue #17



Anexo 17. REPLICA ABSORBANCIA Iris Dark Blue #17



Concentración	T.4	Hora	T.5.	Hora	T.6	Hora	Eficiencia en 24h
500 ppm	0.136	8 am	0.129	10 am	0.092	2 pm	89.26%
400 ppm	0.093	8 am	0.090	10 am	0.063	2 pm	90.91%
250 ppm	0.075	8 am	0.073	10 am	0.051	2 pm	89.57%
100 ppm	0.125	8 am	0.103	10 am	0.098	2 pm	48.96%

REPLICA.

Peso colorante Iris Dark Blue #17: 1.0097 gr

Día 1 2:00 pm (lodos 98%)

t₀= 2:00 pm λ=556 nm 1L sln+1L lodos+ 10 gr harina 100 ml agua = 2.1L

Tabla 7 CONCENTRACIONES Replica Colorante

Concentración	T. 0	Hora	T. 1	Hora	T. 2	Hora	T.3	Hora
500 ppm	1.010	2 pm	0.904	3 pm	0.883	4pm	0.461	6 pm
400 ppm	0.815	2pm	0.717	3 pm	0.661	4pm	0.479	6 pm
250 ppm	0.472	2pm	0.424	3 pm	0.338	4pm	0.259	6 pm
100 ppm	0.223	2pm	0.205	3 pm	0.186	4pm	0.153	6 pm

Concentración	T.4	Hora	T.5.	Hora	T.6	Hora	Eficiencia en 24h
500 ppm	0.302	8 am	0.215	10 am	0.172	2 pm	82.97%
400 ppm	0.359	8 am	0.280	10 am	0.104	2 pm	87.24%
250 ppm	0.126	8 am	0.095	10 am	0.068	2 pm	85.59%
100 ppm	0.099	8 am	0.096	10 am	0.094	2 pm	57.85%

Anexo 21. PRUEBA 2. COT DEL RÍO BOGOTÁ

PRUEBA 2.

Día 1 2:00 pm (lodos 98%)

t0= 2:00 pm $\lambda=445$ nm

Día 2 6:00 pm

Tf= 6:00 pm

Tabla 8 REMOCION DE COT RIO BOGOTA

Prueba COT Rio Bogotá				
Tiempos	Muestras	Absorbancia	Corrección	mg/L Carbono
0 h	Rio Bogotá 1	0,905	0,181	16,087
	Rio Bogotá 2	0,976	0,11	8,2857
1 h	1 A	0,168	0,918	97,076
	1 B	0,157	0,929	98,285
4 h	2 A	0,232	0,854	90,043
	2 B	0,184	0,902	95,318
28 h	8 A	0,824	0,262	24,989
	8 B	0,818	0,268	25,648
0 h	Blanco	1,086		
Tiempo 1	0,506	51,8022	% Remoción en 28h	
Tiempo 2	0,262	24,989	51,76	

REPLICA.

Día 1 2:00 pm (lodos 98%)

t₀= 2:00 pm λ=445 nm

Día 2 6:00 pm

T_f= 6:00 pm

Tabla 9 REMOCION COT RIO BOGOTA

Replica COT Rio Bogotá				
Tiempos	Muestras	Absorbancia	Corrección	mg/L Carbono
0 h	Rio Bogotá 1	0,853	0,409	41,142
	Rio Bogotá 2	0,604	0,658	68,505
1 h	1 A	0,116	1,146	122,131
	1 B	0,104	1,158	123,450
4 h	2 A	0,248	1,014	107,626
	2 B	0,289	0,973	103,120
28 h	8 A	0,757	0,505	51,692
	8 B	0,956	0,306	29,824
0 h	Blanco	1,262		
Tiempo			%	
1	0,658	68,5054	Remoción	
Tiempo				
2	0,306	29,8241	56,46	

Tabla 10. REMOCION DE TURBIEDAD

HORAS	MUESTRAS	TURBIEDAD	CONDUCTIVIDAD	pH
0	Rio Bogotá	554	0.69	7.62
1	1	352	1.05	6.76
3	2	78	0.98	6.75
18	3	68	0.68	6.74
24	4	36.72	0.97	6.43
28	FINAL	16.43	3.69	6.36