

**Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos
en 3 tipos de agua residual pre y post tratamiento.**

Claudia Viviana Delgado Carreño

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito para optar al título de

BIÓLOGA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

BIOLOGÍA

Bogotá D.C. Colombia

Enero de 2016

**Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos
en 3 tipos de agua residual pre y post tratamiento.**

Claudia Viviana Delgado Carreño

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito para optar al título de

MICROBIÓLOGA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

MICROBIOLOGÍA INDUSTRIAL

Bogotá D.C. Colombia

Enero de 2016

**Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos de flocculantes naturales y químicos
en 3 tipos de agua residual pre y post tratamiento.**

Claudia Viviana Delgado Carreño

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito para optar al título de

BIÓLOGA

Concepción Judith Puerta Bula Ph. D

Decana académica Facultad de Ciencias

Jorge Jácome Ph. D

Directora carrera de Biología

**Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos de flocculantes naturales y químicos
en 3 tipos de agua residual pre y post tratamiento.**

Claudia Viviana Delgado Carreño

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito para optar al título de

MICROBIÓLOGA

Concepción Judith Puerta Bula Ph. D

Decana académica Facultad de Ciencias

Marcela Franco Correa Ph. D

Directora carrera de Microbiología Industrial

Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos en 3 tipos de agua residual pre y post tratamiento.

Claudia Viviana Delgado Carreño

Crispín A. Celis Zambrano Ph. D

Director de trabajo de grado

Luz Andrea García Caycedo

Jurado

Co-Director

Andrés E. Ortiz A.

**Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos
en 3 tipos de agua residual pre y post tratamiento.**

Claudia Viviana Delgado Carreño

Crispín A. Celis Zambrano Ph. D

Director de trabajo de grado

Aura Marina Pedroza Rodríguez

Jurado

Co-Director

Andrés E. Ortiz A.

NOTA DE ADVERTENCIA

"La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia".

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a todas las personas que me rodearon en este tiempo caótico lleno de nuevas y enriquecedoras experiencias académicas: Andrés Ortiz, William Arismendi y al profesor Crispín Celis por las enseñanzas de cosas nuevas cada día y por haber señalado el camino correcto para que esta obra hoy, pueda ser más que tan sólo una idea.

A las personas que me soportaron y con las que reí en más de una ocasión, gracias: Ana Bejarano, Darcy Correa y Diego Villota.

Deseo agradecer especialmente a mi Papá Jacob Delgado, por su apoyo incondicional e incluso con su apretada agenda siempre estar para mí y ayudarme.

A mis hermanas, mi mamá y mis amigos por haberme brindado el apoyo incondicional, la fuerza y la paciencia para lograr y alcanzar esta meta.

Tabla de contenido

1	Resumen.....	14
2	Introducción	15
3	Justificación y planteamiento del problema.....	16
4	Marco Teórico	18
4.1	Floculantes Naturales	20
4.2	Parámetros fisicoquímicos	24
4.2.1	test de jarras.....	24
4.2.2	turbidez.....	24
4.2.3	color.....	25
4.2.4	Sólidos.....	25
4.2.5	pH.....	26
4.2.6	DQO	26
4.2.7	ORP	26
4.2.8	Conductividad	26
4.2.9	Nitratos.....	27
4.2.10	Nitritos.....	27
4.3	Parámetros biológicos	27
4.3.1	Heterótrofos totales	27
4.3.2	Coliformes Totales	28
4.3.3	<i>E. Coli</i>	28
4.3.4	Bioensayos	29

5	Objetivos	31
5.1	General	31
5.2	Específicos	31
6	Metodología	32
6.1	Métodos para el 1 objetivo específico	33
6.2	Métodos para el 2 objetivo específico	34
6.3	Métodos para el 3 objetivo específico	34
7	Resultados	35
8	Discusión	52
8.1	Comparación con normativa vigente.....	52
8.2	Parámetros físico-químicos	55
8.3	Parámetros biológicos	62
9	Conclusiones y recomendaciones	66
10	Bibliografía Citada	68

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros iniciales de las muestras de aguas residuales	35
Tabla 2	Parámetros post-tratamiento en la segunda fase con los 3 floculantes naturales, las 3 mezclas y el control químico en el agua residual doméstica.	36
Tabla 3	Parámetros post-tratamiento en la segunda fase con los 3 floculantes naturales, las 3 mezclas y el control químico en el agua residual colectada en el canal rio salitre.	38
Tabla 4	Parámetros post-tratamiento en la segunda fase con los 3 floculantes naturales, las 3 mezclas y el control químico en el agua residual sintética.	40
Tabla 5	Porcentaje de inhibición de la germinación de la semilla de <i>Lactuca sativa</i> L.	49
Tabla 6	Porcentaje de inhibición de la elongación de la radícula de la semilla de <i>Lactuca sativa</i> L.	49
Tabla 7	Porcentaje de inhibición de la elongación del hipocótilo de la semilla de <i>Lactuca sativa</i> L.	50
Tabla 8	Normas Técnicas Colombianas e internacionales vigentes para los parámetros estudiados.	52
Tabla 9	Porcentaje de remoción de sólidos mediado por los biofloculantes	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de Turbidez para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.	42
Figura 2	Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de Color para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.	43
Figura 3	Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de los sólidos totales para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.	43
Figura 4	Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de pH para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.	44
Figura 5	Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de la demanda química de oxígeno (DQO) para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.	44
Figura 6	Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de ORP para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.	45
Figura 7	Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de la conductividad para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.	45
Figura 8	Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de nitratos para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.	46
Figura 9	Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de nitritos para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.	46
Figura 10	Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de Heterótrofos Totales en agar Nutritivo para cada uno de los tratamientos (3 floculantes	47

naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

- Figura 11 Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de Heterótrofos Totales en agar Nutritivo adicionado con Ketoconazol para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual. 47
- Figura 12 Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de Coliformes Totales en agar Chromocult para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual. 48
- Figura 13 Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de *E. coli* en agar Chromocult para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual. 48
- Figura 14 Porcentaje de inhibición de la germinación de la semilla de *Lactuca sativa* L. para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico ($AL_2(SO_4)_3$)). 50
- Figura 15 Porcentaje de inhibición de la elongación de la radícula de la semilla de *Lactuca sativa* L. para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico ($AL_2(SO_4)_3$)). 51
- Figura 16 Porcentaje de inhibición de la elongación del hipocótilo de la semilla de *Lactuca sativa* L. para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico ($AL_2(SO_4)_3$)). 51

1. RESUMEN

El desarrollo industrial e incremento poblacional han llevado a un deterioro ambiental, escasez de agua potable y aumento de las enfermedades diarreicas asociadas al consumo de agua contaminada. Tratar aguas residuales es importante y necesario para garantizar su disponibilidad a largo plazo y permitir su reutilización en todos los sistemas.

Una de las etapas del tratamiento de aguas residuales es la clarificación, conformada por diferentes procesos, entre ellos el de coagulación-floculación, donde generalmente se utilizan floculantes de origen químico posiblemente asociados a enfermedades neurodegenerativas. Por el contrario los floculantes naturales a base de taninos generalmente se consideran seguros, libres de tóxicos y ecológicos.

El objetivo de este estudio fue comparar los parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos en 3 tipos de aguas residuales. El estudio se dividió en dos fases: primero, por medio del test de jarras y nueve biofloculantes iniciales, se determinó la turbidez, color real y sólidos totales, para escoger tres de estos, que disminuyeran los parámetros anteriormente mencionados de manera significativa, tomando como parámetro estándar el control químico: Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). En la segunda fase se evaluaron los tres biofloculantes que se seleccionaron previamente, tres mezclas en una relación 1:1 y el control. A estos se les determinaron parámetros físico-químicos y biológicos. Se realizó un Diseño por bloques completamente al azar. El empleo de floculantes se vio favorecido en parámetros como pH, comparados con el control, puesto que tiende a acidificar el medio y la reducción de microorganismos, dado que se le atribuyen capacidades antimicrobianas a los biofloculantes y en las pruebas de toxicidad demostraron que incluso en altas concentraciones, (como más de 4.000 mg/L) puede lograrse la germinación del material objeto del bioensayo (semillas de *Lactuca sativa* L. var Crispa Cultivar. Milanese) sin grandes efectos subletales aparentes.

De los biofloculantes se destacaron especialmente los floculantes naturales Quebracho-Dietanolamina + Acacia-Cloruro de amonio (A- NH_4Cl), seguido de Quebracho-Dietanolamina y de Acacia-Etanolamina+ Acacia-A NH_4Cl , en vista de que estos tuvieron una alta remoción principalmente de la turbidez, color, sólidos totales, microorganismos.

2. INTRODUCCIÓN

Encontrar alternativas con el uso de productos ecológicos para el tratamiento de aguas residuales, ya sean industriales o domésticas, ha sido objeto de múltiples estudios tanto a nivel nacional, como internacional (Beltrán-Heredia et al. 2010, Beltrán-Heredia et al. 2011, Guzmán et al. 2013, y Choy 2014).

Partiendo de una realidad reconocida por todos, el desarrollo industrial y el incremento poblacional han incidido sustancialmente en la contaminación ambiental y en la escasez de agua potable, con los subsecuentes efectos sobre la salud con un especial aumento en las enfermedades diarreicas asociadas al consumo de agua contaminada; debe ser una prioridad a nivel estatal y privado tratar las aguas residuales para minimizar el vertimiento de estas en condiciones no aptas, este estudio se enfoca en seleccionar floculantes naturales, obtenidos de 3 de especies vegetales: Quebracho (*Schinopsis balansae*), Acacia (*Acacia mearnsii*) y Castaño (*Castanea sativa*), que sirvan para realizar procesos de clarificación y obtener calidades de agua dentro de los parámetros de ley, sin los efectos adversos que se han reportado al usar floculantes químicos (Flaten 2001, Bondy 2010, WHO 2011, Bhalcahndra y Kishen 2013, Choy 2014).

Se espera que esta contribución en pro del uso de materiales ecológicos, tenga la continuidad requerida para lograr que alguno o algunos de ellos sean llevados a nivel industrial y/o comercial, para que las propiedades que mostraron a nivel del laboratorio, sean aprovechadas, para beneficio de todos.

3. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo industrial y aumento de la población humana han conducido a un deterioro en los recursos hídricos generando escasez de agua, problemas sanitarios, almacenamiento inadecuado de las agua que facilitan el desarrollo de insectos transmisores de dengue, malaria y filariasis (IDCP 2010), enfermedades asociadas al consumo de agua como el cólera, parásitos intestinales, fiebre tifoidea, disenterías por ameba o *Shighella*, gastroenteritis, hepatitis A/E e intoxicación por químicos (Fernández et al. 2008, IDCP 2010, Choy et al. 2014, Llano et al. 2014).

Se estima que el 80% de las enfermedades existentes en países en vía de desarrollo son causadas por un abastecimiento de agua contaminada que son agravadas por la escasez del agua y los hábitos de mala higiene (Fernández et al. 2008, IDCP 2010, Llano et al. 2014, Choy et al. 2014). Las principales causas de la contaminación del agua se basan en el aumento de la población, que no miden el exceso de sus desechos, al cambio climático, el cual provoca aumento de la temperatura y de la evaporación del agua concentrando los contaminantes en los cuerpos de agua naturales o artificiales, al igual que la industrialización y la agricultura que producen grandes cantidades de desechos no biodegradables como restos de detergentes, grasas y pesticidas (Beltrán-Heredia et al. 2010, Choy et al. 2014).

Un tratamiento de aguas residuales es importante para garantizar su disponibilidad a largo plazo y permitir una reutilización en todos los sistemas (Peña et al. 2001, Beltrán-Heredia et al. 2010, Choy et al. 2014, Llano et al. 2014). Una de las etapas del tratamiento de aguas residuales es la coagulación-floculación, proceso en donde se clarifica el agua. Esto se efectúa cambiando las cargas superficiales de solidos disueltos no precipitables para que se aglutinen y al lograr mayor peso, se sedimenten, junto con algunos microorganismos que se encuentran asociados a estos, mejorando la calidad del agua (Peña et al. 2001, Guzmán et al.2013, Choy et al. 2014, Llano et al. 2014).

Los floculantes utilizados generalmente son de origen químico como el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), (alumbre), sales a base de hierro ($FeCl_3$, $FeCO_3$, $FeSO_4$), cloruro de polialuminio (PAC), poliacrilamidas (PAM's) y cloruro de polidimetilamonio (poly DADMAC) (Subramonian et al. 2014). Los floculantes naturales que se usan generalmente son a base de taninos extraídos de plantas, tales como cactus y arbustos, además de cereales y nueces. En algunas investigaciones se

han usado cascaras y semillas de frutas (*Carica papaya*, *Feronia limonia*, *Mangifera indica*, *Persea americana*, semillas y polen de *Phoenix dactylifera*, *Prunus armeniaca*, *Tamarindus indica*; las cascaras de *Citrus sinensis* y *Hylocereus undatus*)(Choy et al. 2014).

Se conoce la eficiencia de los floculantes químicos en el tratamiento de aguas residuales, ya que son capaces del eliminar 80-90% de la materia orgánica total suspendida y del 30 al 40% de la demanda química de oxígeno (DQO), pero no se ha estudiado exhaustivamente su impacto ambiental ni el riesgo para la salud humana y animal, tampoco se conoce la posible exposición de los monómeros químicos sin reaccionar y los subproductos de estos floculantes en el agua después de su tratamiento; se desconoce además la relación entre el aluminio residual y la incidencia de la enfermedad de Alzheimer, la demencia senil o la toxicidad en plantas por bioacumulación mediada por aluminio (Flaten 2001, Choy et al. 2014 y Subramonian et al. 2014).

En contraste con los floculantes químicos, los coagulantes naturales generalmente se consideran seguros, libres de tóxicos, ecológicos, no corrosivos (lo que reduce la preocupación por desgaste de las tuberías), ahorran dinero en las plantas de tratamiento, ya que generan menor cantidad de lodos metálicos que deban ser tratado y no son necesarios los ajustes de pH post-tratamiento. Son de fácil extracción y no necesitan ser purificados, lo cual ahorra tiempo y dinero (Choy et al. 2014 y Subramonian et al. 2014).

Los taninos son polisacáridos de alto peso molecular, los cuales se han usado extensivamente como floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales y se reporta que son útiles en todos los tipos de aguas residuales. Además, la presencia de alcaloides y flavonoides asociados, pueden tener actividad antimicrobiana, además de diversas actividades biológicas (Guzmán et al.2013, Choy et al. 2014). Floculantes naturales a base de taninos de Quebracho (*Schinopsis balansae*), Acacia (*Acacia mearnsii*) y Castaño (*Castanea sativa*) se han utilizado anteriormente para la clarificación de aguas residuales, pero no se ha hecho una comparación directa entre los floculantes químicos y naturales (Sánchez-Martín 2010, Pedraza-Bucio y Rutiaga-Quiñones 2011, Guzmán et al 2013, Choy et al. 2014). Por esta razón, el objetivo de este estudio es comparar los parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos en 3 tipos de aguas residuales.

4. MARCO TEÓRICO

Colombia es un país que posee gran riqueza hídrica disponible como agua superficial ocupando el cuarto lugar a nivel mundial. La contaminación del agua es uno de los principales problemas medioambientales, después de la deforestación y la erosión del suelo (Llano et al. 2014). El desarrollo industrial y el incremento poblacional han llevado a un marcado deterioro ambiental la escasez del agua potable y el aumento de las enfermedades diarreicas asociadas al consumo de agua contaminada, tienen una marcada incidencia en países en vía de desarrollo, debido a que no todas las comunidades tiene acceso a este recurso (Beltrán-Heredia et al. 2010, Llano et al. 2014 y Choy et al. 2014).

Se les denomina aguas residuales a las aguas remanentes después de un uso a nivel doméstico, comercial, público, agronómico o industrial (Peña et al. 2001). La alta contaminación a los cuerpos de agua se debe en gran parte al mal manejo de los desechos a nivel industrial (metales pesados y compuestos recalcitrantes), al igual que por aguas negras provenientes de fuentes domésticas y agronómicas que son nocivas debido a su vasto contenido de materia orgánica y de microorganismos (patógenos y no patógenos) las cuales deben ser tratadas adecuadamente para su disposición en los cuerpos de agua y posterior reingreso al ciclo hídrico, evitando así riesgos para el medio ambiente y la salud pública (Llano et al. 2014).

El tratamiento de aguas residuales es importante para garantizar la disponibilidad a largo plazo del recurso y permitir su reutilización en el ciclo hídrico (Peña et al. 2001, Beltrán-Heredia et al. 2010, Choy et al. 2014 y Llano et al. 2014). Este tratamiento se basa en una serie de procesos que permiten el saneamiento de las aguas para su correcto vertimiento en los diferentes afluentes y cuencas.

Dicho proceso incluye un pretratamiento y tres o más tratamientos subsecuentes, donde el pretratamiento separa físicamente materiales gruesos (Cribado de sólidos y separación de grasas), el primario separa sólidos en suspensión y materia orgánica e inorgánica flotante (muchas de las plantas de tratamiento de aguas residuales solamente manejan estas dos etapas). Cuando el agua de salida del tratamiento primario continúa con altas concentraciones de materia orgánica y contaminantes orgánicos asociados a esta, se realiza un manejo de tipo biológico/microbiológico en reactores anaerobios (UASB), lagunas de oxidación tipo aeróbico y anaeróbico, entre otros,

llamado tratamiento secundario. Por último, a las aguas con altas concentraciones de patógenos, metales pesados, contaminantes emergentes, nutrientes (nitratos y fosfatos) y compuestos recalcitrantes se les realiza procesos de tipo terciario entre los que se incluyen procesos Fenton, foto Fenton, catálisis fotolítica, entre otros (Peña et al. 2001, Manahan SE 2007 y Pedroza AM et al. 2013).

El proceso de coagulación-floculación se da en el tratamiento primario y es uno de los mecanismos mayormente adoptados para restaurar la palatabilidad y mejorar la apariencia del agua turbia. Este proceso no solo remueve las partículas coloidales en suspensión sino que además es capaz de remover ciertos microorganismos que se encuentran asociados a dichas partículas. Su principio se fundamenta en la desestabilización de las fuerzas electrostáticas superficiales por la inversión de las cargas por enlaces iónicos que generen superación de estas fuerzas que mantienen su estabilidad. Dichas partículas desestabilizadas se unen para formar grandes aglomerados debido principalmente a que los iones de carga similar a la carga primaria del coloide son repelidos y los iones con carga contraria son atraídos, para luego ser precipitados (Peña et al. 2001, Aguilar et al. 2002, Bhalcahndra y Kishen 2013, Choy et al. 2014 y Llano et al. 2014).

Diversos estudios comparativos demuestran la superioridad de los floculantes químicos frente a los naturales, aun así no se ha estudiado a fondo el efecto en el medio ambiente y el posible impacto negativo a la salud humana de los residuos de este tipo de floculantes. En la década de los 60's, se publicaron estudios de los efectos perjudiciales de los floculantes químicos en la salud pública, donde el aluminio residual post-tratamiento, proveniente de las sales de aluminio, ha sido tema de debate, puesto que se ha vinculado con enfermedades como el Alzheimer, demencia senil, cáncer de colon y riñón (Flaten 2001, Bhalcahndra y Kishen 2013, Choy et al. 2014 y Subramonian et al. 2014). El aluminio (Al) tiene un marcado efecto neurotóxico en humanos y animales, la forma más común de la exposición humana al aluminio es Al^{+3} , su absorción se da a través del tracto gastrointestinal debido a la bio-acumulación en tejidos y órganos, que consecuentemente llevan a diversas enfermedades degenerativas. Aproximadamente el 90% de este metal se liga a la transferrina, así el Al^{+3} puede pasar la barrera hematoencefálica (Flaten 2001 y Bondy 2010). Estudios epidemiológicos y observaciones clínicas sugieren que existe un 70% de correlación positiva entre la presencia de aluminio en el agua potable y el

desarrollo de Alzheimer en comunidades consumidoras. Aun así, los resultados en algunos casos son contradictorios y poco concluyentes lo que impide determinar objetivamente el efecto nocivo de este metal en las personas (Bhalcahndra y Kishen 2013 y Choy et al. 2014).

Polímeros orgánicos sintéticos como la acrilamida y copolímeros de acrilamidas con partes de acrilato usados en los procesos de tratamiento de aguas tienen una fuerte incidencia en relación con los posibles efectos neurotóxicos y cancerígenos. Los monómeros químicos sin reaccionar y los subproductos de los polímeros pueden también ser riesgosos para la salud y generar un impacto ambiental negativo dada su naturaleza corrosiva y persistente. El uso de floculantes químicos genera grandes volúmenes de lodo, en su mayoría no biodegradable y difícil de tratar; por ejemplo, los lodos de alumbre ($Al_2(SO_4)_3$) tienen normalmente un 98% de agua retenida, lo que los hace particularmente difíciles de deshidratar y por ende de biodegradar, generando desechos de compuestos metálicos que pueden lixiviar y afectar corrientes subterráneas de agua (Manahan 2007 y Choy et al. 2014).

Una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) promedio tiene capacidad de tratar alrededor de 190 millones de litros de agua al día, de los cuales podrían resultar 3 toneladas de desechos sólidos que probablemente serán depositados en vertederos insuficientes para estos (Choy et al. 2014). En algunos casos los residuos sólidos no son llevados a vertederos especializados, sino son depositados en lugares no aptos para su descarga, aplicándolos directamente en el suelo, lo que lleva a una grave contaminación ambiental (Choy et al. 2014).

Los microorganismos patógenos pueden persistir en el lodo generado por el tratamiento de aguas residuales y en muchos casos se clasifican como Clase B, con restricción agrícola. Microorganismos como *Enterobacter* spp., *Shigella* spp, virus de hepatitis, enterovirus, protozoos como Entamoeba y Giardia, helmintos como Ascaris y Toxocara presentan altos riesgos para la salud pública ya que muchos de estos lodos, a pesar de la restricción, se usan como fertilizante, contaminando alimentos y a las personas que los manipulan (Manahan 2007).

4.1 FLOCULANTES NATURALES

Los floculantes naturales son una fuente alternativa con gran potencial poco explotado; se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas en animales y plantas. Por lo general, presentan una mínima o nula toxicidad y, en muchos casos, son productos alimenticios

con alto contenido de carbohidratos y de proteínas solubles en agua. Tienen propiedades similares a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial; en muchos lugares son utilizados en forma empírica por nativos para clarificar el agua turbia. Polímeros orgánicos naturales se han usado por más de 4000 años en India, África y China como ayudantes de coagulación para uso doméstico en áreas rurales (Guzmán et al. 2013 y Choy et al. 2014).

La mayoría de los floculantes naturales se hacen a base de taninos extraídos de plantas, tales como cactus y arbustos, además de cereales y nueces. Los taninos son metabolitos secundarios de alto peso molecular producidos en diversos tejidos vegetales como semillas, hojas, corteza, savia, raíces y frutas. Cuando estos son utilizados como floculantes, se potencian mediante la reacción de Mannich (Beltrán-Heredia 2010, Guzmán et al. 2013 y Choy et al. 2014) que consiste en la condensación de un compuesto carbonílico enolizable con formaldehído y una amina. El producto de esta reacción es un compuesto β -amino carbonílico conocido como base de Mannich que genera cambios en las cargas superficiales de sólidos en suspensión, haciéndolo ideal para su uso como floculante (Velilla 2011). Los taninos son polisacáridos de alto peso molecular, los cuales se han usado extensivamente como floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales y se reporta que son útiles en todos los tipos de aguas residuales (Guzmán et al. 2013 y Choy et al. 2014).

Sánchez-Martín et al. (2012) trabajaron en la optimización de ciertos parámetros de un coagulante natural a base del extracto de goma de semilla de *Moringa oleífera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales reales. Los resultados infieren que los pH ácidos tienden a intensificar el desempeño de la coagulación y la remoción de la turbidez, siendo tan exitoso en la remoción de la turbidez como los coagulantes y floculantes químicos. Saduzzaman et al. (2013) estudiaron la eficacia del extracto de las hojas de *M. oleífera* al usar diferentes solventes como acetona y benceno en el tratamiento de aguas residuales domesticas durante 3 días consecutivos. El extracto fue efectivo en la remoción de turbidez y sólidos. El benceno mostro una mayor reducción de SDT, dureza y nitratos. Se empleó coagulante en polvo de *M. oleífera* para el tratamiento de aguas residuales de una técnica de coloración, “Batik”, en la cual demostró una eficacia en la remoción de la turbidez del 95% cuando se adicionó 4000 mg/L y se esperó 180 minutos para la sedimentación, 87,5% en la remoción de SST con 156 mg/L y 60 minutos para la

sedimentación, su mejor desempeño fue con 5000 mg/L de coagulante y 180 minutos de sedimentación (Effendi et al 2013).

Sánchez-Martín et al. (2009) evaluaron la eficacia de un nuevo agente floculante derivado de un tanino de *Acacia mearnsii* De wild, con resultados satisfactorios en la remoción de la materia orgánica suspendida con bajas dosis de floculante. La dosificación del agente floculante es el factor más importante, incluso que la temperatura y el pH. Beltrán-Heredia et al. (2011) estudiaron la optimización de un nuevo agente coagulante a base del extracto de un tanino de la corteza de *Acacia mearnsii* De wild, NH_4Cl y formaldehído para la purificación y remediación de aguas residuales. La efectividad de este producto se comprobó en aguas residuales contaminadas con colorantes y surfactantes. Se encontró que la proporción de NH_4Cl es más importante que las condiciones a las que se encuentre el tratamiento (temperatura y pH).

Beltrán-Heredia et al. (2009) ensayaron un nuevo coagulante-floculante a base de taninos “TANFLOC”, probado en aguas residuales urbanas. Los resultados sugieren que “TANFLOC” posee una alta efectividad en la remoción de la turbidez (100%, dependiendo de la dosificación), 50% de DQO y DBO_5 , lo cual haría de “TANFLOC” un agente coagulante comparable con el alumbre comercial. Beltrán-Heredia et al. (2010) estudiaron la síntesis de coagulantes derivados de taninos por medio de un diseño factorial para evaluar las posibles combinaciones entre 2 tipos de extractos de taninos (*Acacia mearnsii* De Wild. Y *Schinopsis balansae*) disponibles en tres productos comerciales (Clarotan, Weibull Black y Quebracho colorado) y en tres compuestos tipo amina (cloruro de amonio, cloruro de glicidiltrimetilamonio y dietanolamina); el producto óptimo resultó ser el Clarotan y la Dietanolamina, que fueron muy efectivos cuando fueron probados en aguas superficiales, contaminadas con colorantes y surfactantes. Sánchez-Martín et al. (2010) desarrollaron un coagulante-floculante a base de un extracto de un tanino químicamente modificado de *Schinopsis balansae* “SILVAFLOC”, para ser utilizado en el tratamiento de agua de bebida. Bajas concentraciones del coagulante alcanzan altos porcentajes de remoción y condiciones operacionales de pH neutro y temperatura ambiente permiten una remoción de turbidez hasta del 90% con 20 mg/L. “silvafloc” conduce a una desinfección significativa (alrededor de 99.9% de *Streptococcus* fecales y coliformes fecales y un 70% para coliformes fecales).

Shak y Wu en el 2014 realizaron un estudio con la goma de la semilla de *Cassia obtusifolia* para comparar su eficiencia en contra con el sulfato de aluminio para el tratamiento de aguas residuales de alta resistencia, como lo son las aguas residuales agroindustriales, las cuales contienen altas concentraciones de SST y DQO. En este estudio se utilizó las aguas residuales de los efluentes de los molinos de aceite de palma (POME). La goma de la semilla de *C. obtusifolia* obtuvo mejores resultados que el sulfato de aluminio en la remoción de TSS y DQO de POME. Subramonian et al. (2014) también estudiaron la capacidad de la goma de *C. obtusifolia* para remover altos contenidos de SST y DQO en efluentes de una fábrica de celulosa y papel (MG/LE) de hasta un 86,9% y 36,2% respectivamente, solamente por medio del proceso de la coagulación-floculación. Los resultados de este estudio mostraron que la eficacia *C. obtusifolia* era comparable a la del alumbre. Shak y Wu (2015) estudiaron la posibilidad de usar la goma como coadyuvante junto con el alumbre en las aguas agro-industriales de un efluente de una planta de palma de aceite para reducir los niveles de sólidos suspendidos totales (SST) y el DQO; en este estudio encontraron que en condiciones óptimas reducía 81,58% de SST y 48,22% DQO, sin ser necesarios los ajustes de pH, como cuando es utilizado solo el sulfato de aluminio. Otro estudio sobre coagulante-floculantes como coadyuvantes orgánico-inorgánico lo llevaron a cabo Freitas et al. (2015) donde efectuaron un estudio para evaluar la acción coagulante-floculante del mucilago de *Abelmoschus esculentus* en agua residual de la industria textil, en una asociación orgánico-inorgánico con el floculante químico $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. La máxima eficiencia se dio en una mezcla de 3,20 MG/L del mucilago de *A. esculentus* y 88 MG/L de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, con una reducción del DQO del 85,69%, turbidez 97,24% y 93,57% de color.

En un estudio para las alternativas a los floculantes químicos inorgánicos (Thakur y Choubey 2014), usaron un floculante a base de la corteza de *Acacia catechu*, donde se indago sobre la capacidad de remoción de la turbidez y sólidos disueltos totales (SST). Se obtuvo hasta una remoción del 9% de la turbidez, 57,3% de los SST en muestras de agua residuales de ríos y lagunas. Fernández et al. (2008) Evaluaron la aplicación del exudado gomoso derivado de *Acacia siamea*, como agente coagulante, para seleccionar la dosis óptima para la clarificación de las aguas naturales y determinar el potencial de reducción de microorganismos no deseados en agua tratada. Con la aplicación de 50 mg/L de exudado gomoso de *A. siamea*, como dosis óptima, se alcanzó una disminución en los niveles de turbiedad de 80-95%. Nharingo y Moyo (2015) investigaron el mucilago de *Opuntia ficus-indica* como biofloculante para la remediación de agua

residual de la industria textil, las condiciones óptimas fueron pH 7 y 40 MG/L del mucilago de *Opuntia ficus-indica* (OFI), con los cuales se obtuvo la máxima eliminación de contaminantes con un porcentaje de remoción del color de 99,84%. Dicha investigación demostró que el mucilago OFI tiene un mejor desempeño que los floculantes comerciales EPENWATE EXP31/1 y la poliacrilamida A₁₀₀PWG.

4.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS:

4.2.1 TEST DE JARRAS

El test de jarras (jar test) simula el proceso de coagulación-floculación a escala piloto y provee una idea del comportamiento de los floculantes en muestras específicas de agua, permitiendo identificar el mejor tipo de compuestos, combinación de estos y dosis de los mismos. Para cada muestra de agua cruda se llenan vasos de precipitado con la misma cantidad de agua y son tratados con diferentes dosis del/los floculantes, la muestra se agita para promover la homogenización del floculante y la formación de los “flocs” (agregados de sólidos) (Satterfield 2005, Bhalcahndra y Kishen 2013), donde la agitación acelera la agregación de las partículas, ya que las partículas que siguen el movimiento del fluido y estas también tendrán velocidades distintas, de tal forma que existen oportunidades para los contactos interarticulares, cuando los contactos entre las partículas son causados por el movimiento del fluido, el proceso se conoce como floculación ortocinética (Webwer 1979). La agitación no aumentara la velocidad de agregación de las partículas pequeñas hasta que estas alcancen un tamaño aproximado de 1µm, el crecimiento de la partícula a un tamaño superior a 1µm requiere movimiento del fluido por agitación u otros medios, debido a que las partículas de este tamaño no decantan bien y esto produciría un proceso de floculación-coagulación deficiente (Webwer 1979).

El objetivo principal de la escala piloto es comparar la efectividad de las concentraciones y tipos de floculantes. Con base en la razón de cambio entre los parámetros iniciales y los finales, se puede determinar la calidad de agua lograda permitiendo optimizar los procesos que se implementarán en la planta de tratamiento (Satterfield 2005, Bhalcahndra y Kishen 2013).

4.2.2 TURBIDEZ

La turbidez del agua es producida por materias en suspensión (sólidos) y es una expresión de la difracción óptica causada por las partículas que genera una dispersión de la luz y una absorción de la misma impidiendo su transmitancia en línea recta a través de la muestra. Uno de los métodos para determinar la turbidez es el método nefelométrico (APHA 2130), el cual se basa en la comparación de la intensidad de la luz absorbida por la muestra en condiciones definidas y la absorbida por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones, el patrón empleado es un polímero de formazina (polímero producido por la reacción de sulfato de hidracina y hexametilentetramina). La turbidez de una concentración específica de una suspensión de formazina y se define como el equivalente a 40 unidades nefelométricas (NTU) (APHA, AWWA y WPCF 1989).

4.2.3 COLOR

Este parámetro se divide en color verdadero y color aparente, el color verdadero es el color del agua cuando se ha eliminado la turbidez por medio de un pretratamiento como filtración, dilución o centrifugado. La coloración del agua puede estar condicionada por la presencia de iones metálicos naturales (hierro y magnesio), de humus y turbas, plancton, restos vegetales y residuos industriales (color aparente). El color real del agua se determina mediante la comparación visual de las muestras con concentraciones conocidas de soluciones coloreadas, para esto el método patrón de medida es el de platino-cobalto (APHA 2120) siendo la unidad de color el producido por 1 mg de platino/L en forma de ion cloroplatinato (APHA, AWWA y WPCF 1989).

4.2.4 SÓLIDOS

Los sólidos pueden afectar negativamente la calidad del agua o a su suministro de varias maneras, las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de menor palatabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional, por esta razón en las aguas potables es deseable un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológicos y físicos de aguas residuales, para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido. Se les llama “sólidos totales” (APHA 2540 B) a los residuos después de evaporar la muestra; “sólidos suspendidos” (APHA 2540 D) a los retenidos en un filtro y los “sólidos disueltos totales” (APHA 2540 C) a la porción que pasa el filtro después de evaporar. Los “sólidos sedimentables” (APHA 2540 F) son los

sólidos que se pueden medir en ml/L después de sedimentar 1 litro de mezcla por 1 hora en un cono imhoff (APHA, AWWA y WPCF 1989).

4.2.5 pH

El pH o potencial de hidrógeno es un coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa. El pH de una solución depende de la cantidad de iones de hidrogeno o iones-OH (Silva et al. 2006). La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentemente utilizadas en el análisis químico del agua (APHA 2310B), en donde los iones hidrogeno son medidos utilizando un electrodo patrón de hidrogeno y otro de referencia; el pH se define operacionalmente o en una escala potenciométrica y se determina con un medidor de pH (4500-H⁺) (APHA, AWWA y WPCF 1989).

4.2.6 DQO

La Demanda Química de Oxígeno se usa para medir el equivalente a la materia orgánica oxidable mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general Dicromato de Potasio en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos recientes, se requiere ayuda de un catalizador como el sulfato de plata (Romero 2004). La muestra y el blanco se calientan en un digestor en la presencia de dicromato de potasio a 150°C, después de dos horas se enfrían los viales se mide espectrofotométricamente a 600 nm (EPA 410.4, APHA 5220D) (Environmental monitoring systems laboratory office of research and development U.S 1993).

4.2.7 ORP

El valor conocido como “potencial de óxido reducción” u ORP permite cuantificar la actividad de los electrones o el potencial electroquímico del agua, midiendo los electrones. La reducción establece un aumento de la energía en una sustancia. Un ORP negativo, representado en milivoltios (mV), normalmente indica que el agua tiene un efecto alcalinizante cuando es absorbida por el cuerpo, por ende el agua con ORP negativo proporciona una reserva segura de electrones libres útiles para contribuir al bloqueo de la oxidación parcial de los tejidos del cuerpo por parte de los radicales libres de oxígeno (Baroody y Palmisano 2015).

4.2.8 CONDUCTIVIDAD

La conductividad eléctrica (EC) estima la cantidad de sales disueltas totales o la cantidad total de iones disueltos en el agua y es usada para medir la salinidad de la misma. Puede ser medida en campo usando un electrodo de conductividad portátil (Kirkham 2004 y Moore Et al. 2008)

4.2.9 NITRATOS

Los nitratos son producto de la oxidación del nitrógeno causada por microorganismos, los cuales son esenciales para el crecimiento vegetal, son incoloros, insípidos e inodoros. Algunos estudios sugieren que el consumo de altos niveles de nitratos podría ser un riesgo para la salud de mujeres embarazadas, bebés en gestación y menores a 6 meses, ancianos y personas con el sistema inmunológico ineficiente. La exposición a altos niveles de nitratos reducen la cantidad de oxígeno en la sangre (Meta-hemoglobinemia) (WHO 2011, Health link 2013). El nitrato (NO_3^-) se reduce a nitrito (NO_2^-) en presencia de cadmio (Cd), reacción que es usada en métodos comerciales con gránulos tratados con sulfato de cobre (CuSO_4), el producto de dicha reacción se determina por formación de un diazotado con sulfanilamida y acomplamiento con dihidroclorhidrato de N-(1--naftil)-etilamina para formar un colorante azo de color muy intenso, el cual se mide espectrofotométricamente en el rango UV-Vis (APHA 4500- NO_3^- E) (APHA, AWWA y WPCF 1989).

4.2.10 NITRITOS

Los nitritos son el estado intermedio de oxidación del nitrógeno (en la oxidación del amoníaco a nitrato o en la reducción del nitrato). Tal oxidación/reducción puede ocurrir en el agua residual de las plantas de tratamiento y en las aguas naturales durante la descomposición biológica de los compuestos de nitrógeno. En pequeñas cantidades puede causar meta-hemoglobinemia entre los bebés. Además, se usan niveles altos para inhibir la corrosión en torres de refrigeración. Las reacciones de nitrosación de los nitritos pueden producir nitrosaminas orgánicas, que se sabe son cancerígenas (WHO 2011). Los nitritos reaccionan con el reactivo ácido cromotrópico y forman un tinte rosa en la muestra. La cantidad de color desarrollada es proporcional a la concentración de nitrito presente en la muestra de agua (APHA 4500- NO_2^- E) (APHA, AWWA y WPCF 1989).

4.3 PARÁMETROS BIOLÓGICOS:

4.3.1 HETERÓTROFOS TOTALES

Se debe garantizar la inocuidad del agua de consumo desde la cuenca de captación hasta el consumidor, ya que uno de los mayores riesgos microbiológicos está relacionado con el consumo de agua contaminada por heces. Los excrementos pueden ser fuente de microorganismos patógenos como bacterias, virus, protozoos y helmintos, los cuales pueden generar biopelículas en los sistemas de distribución, disminuir la calidad y palatabilidad del agua. Para controlar las cargas de dichos microorganismos se realiza, entre otras pruebas, el recuento de heterótrofos en placa (RHP) de muestras de agua. Esta prueba permite identificar la presencia de microorganismos heterótrofos en el agua, siendo un indicador indirecto de cambios como el aumento del potencial de proliferación microbiana, aumento de la formación de biopelículas, aumento de los tiempos de retención o estancamiento e interrupción de la integridad del sistema (APHA 9215 A, OMS 2006). El recuento de heterótrofos en placa (RHP) se realiza en agar nutritivo, el cual es un medio universal para el cultivo de microorganismos no exigentes en requerimientos nutritivos (Merck 1994).

4.3.2 COLIFORMES TOTALES

Muchos microorganismos de transmisión oro-fecal pueden estar presentes en el agua cruda, la cual se refiere al agua que no ha sido sometida a un tratamiento de potabilización, entre ellas *Salmonella* sp, *Shigella* sp, coliformes totales y fecales (APHA 9225A), la densidad del grupo de los coliformes es un buen indicador del grado de contaminación por su fácil detección y por lo tanto de la calidad sanitaria (APHA, AWWA y WPCF 1989, IDEAM 2007, Larrea et al.2013).

Se les denomina coliformes totales a todas las bacterias Gram negativas que presentan una forma bacilar, fermentadoras de lactosa a una temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂), aerobias o anaerobias facultativas, oxidasa negativa, no formadoras de spora y presentan actividad enzimática de la β-galactosidasa, por ejemplo *Escherichia coli*, *Citrobacter* sp, *Enerobacter* sp, y *Klebsiella* sp. Para la determinación de la β-galactosidasa se utilizan medios cromógenos tales como Chromocult (IDEAM 2007, Nollet y De Gelder 2014)

4.3.3 *E. COLI*

Los coliformes fecales o también denominados coliformes termotolerantes, soportan temperaturas de hasta de 45°C, integran el grupo de los coliformes totales pero se diferencian de estos, ya que son indol positivo y por su rango de temperatura el cual es muy amplio, son principalmente representados por *Escherichia coli*, aunque también podemos encontrar en el grupo a *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*, estos últimos generalmente se asocian con la vegetación y solo ocasionalmente aparecen en el intestino. Son mejores indicadores de higiene en alimentos y aguas, ya que la presencia de ellos indica la contaminación fecal de origen humano o animal (IDEAM 2007, Nollet y De Gelder 2014). *Escherichia coli* generalmente se encuentra en los intestinos de los humanos u otros animales de sangre caliente, fermenta lactosa produciendo ácido y gas, son bacilos Gram negativo, móviles por flagelos peritricos, anaerobios facultativos, poseen mecanismos respiratorio y fermentativo. Pertenece a la familia Enterobacteriaceae, puede producir indol a partir del triptófano, esta característica permite su diferenciación de otros coliformes (Nollet y De Gelder 2014).

Los medios cromógenos permiten observar un precipitado coloreado que demuestra la presencia de una enzima específica, si el microorganismo posee el sistema enzimático para poder degradar el sustrato, se produce un cambio de color visible en las colonias, son medios rápidos, sencillos y fiables para detectar actividades enzimáticas específicas de varios organismos (IDEAM 2007, Tortora 2007, González et al. 2009) el agar Chromocult es un medio selectivo para el crecimiento de coliformes totales y *E. coli* en muestras de aguas y alimentos, son inhibidas las bacterias Gram positivas por el contenido de lauril sulfato. La visualización del crecimiento y diferenciación simultánea de coliformes totales y *E. coli* se puede evidenciar por la formación de dos sustratos cromógenos; el sustrato Salmon-Gal que es separado por la enzima β -D-galactosidasa característica de coliformes y provoca una coloración roja de las colonias en los coliformes, y el sustrato X-glucurónido el cual al ser separado por la β -D-glucoronidasa produce una coloración azul, *E. coli* produce las enzimas β -D-galactosidasa y β -D-glucoronidasa, debido a esto presenta las dos coloraciones y las colonias se tiñen de color violeta, permitiendo diferenciarlas de las colonias rojas de los coliformes (Merck 1994, González et al. 2009).

4.3.4 BIOENSAYO

Los bioensayos son herramientas eco-toxicológicas que permiten evaluar los efectos agudos o crónicos de contaminantes en sistemas acuícolas y terrestres. Actualmente, una amplia variedad

de bioensayos se han desarrollado en muchos países., En general son rápidos, sencillos y económicos. Permiten realizar mediciones experimentales del efecto de agentes químicos o físicos en sistemas biológicos, estableciendo relaciones concentración-respuesta bajo condiciones controladas (Silva et al. 2003, Mendoza-Cantú et al. 2007). Estos ensayos permiten la evaluación de diferentes respuestas: reproductivas, mortalidad y genotóxicas en especies de diferentes niveles tróficos (Mendoza-Cantú et al. 2007). Los bioindicadores son organismos o sistemas biológicos que sirven para evaluar variaciones en su calidad ambiental, presentan efectos visibles tras ser expuestos a la contaminación, poseen un tamaño apropiado que permite visualizarlo y manipularlo con mayor facilidad. Además permiten disponer de abundantes especímenes idénticos en un tiempo relativamente reducido al poseer un corto tiempo de relevo generacional, condiciones óptimas para su cultivo y manipulación en laboratorio (Nuñez y Hurtado 2005), los organismos más utilizados son algas, protozoos, peces, crustáceos, anélidos, insectos entre otros, se recomienda realizar una batería de 3 organismos: *Vibrio fischeri* (una bacteria luminiscente), *Daphnia magna* (una pulga de agua) y *Lactuca sativa L.* (Lechuga “batavia”) (Boluda et al. 2002, Díaz-Báez et al. 2004). Dichos ensayos en bacterias y otros organismos, tienen la ventaja de que presentan rutas bioquímicas similares a las de los organismos superiores, ciclos de vida cortos y además responden rápidamente a los cambios en el medio ambiente (Díaz-Báez et al. 2004, Martínez et al. 2010).

5. OBJETIVOS

5.1 GENERAL

Evaluar parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos pre y post tratamiento en tres muestras de agua residual.

5.2 ESPECÍFICOS

- 5.2.1 Evaluar la actividad de 9 floculantes naturales según la respuesta de estos a parámetros físicos y químicos en tres muestras de agua residual.
- 5.2.2 Establecer el tratamiento de mayor eficacia de acuerdo a las mejores dosis obtenidas en el objetivo 1 para las diferentes muestras de aguas a nivel, físico, químico, biológico y microbiológico.
- 5.2.3 Evaluar la razón de cambio en los parámetros físicos, químicos y biológicos en tres muestras de agua residual post aplicación de floculantes naturales y químicos.

6. METODOLOGÍA

AREA DE ESTUDIO

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana en la ciudad de Bogotá D.C. Se llevaron a cabo dos fases del estudio, en el cual la primera fase fue un “screening” primario con 9 floculantes naturales y un control químico y en la segunda fase se evaluaron los 3 mejores floculantes naturales, 3 mezclas en relación 1:1 de los floculantes optimizados en el screening inicial y el control químico. Para este fin se tomaron 3 muestras de aguas residuales en dos colectas diferentes, una para cada fase.

La primera muestra de agua residual es de tipo doméstico y fue colectada en la ciudad de Bogotá, localidad de Usaqué en la Cra 8 H # 162-18 (4°44'23.1"N 74°01'52.5"W), los días 15,17 y 18 de junio para la primera fase y los días 26 y 27 de agosto para la segunda fase. La segunda muestra fue colectada en el canal río salitre en la Avenida 68 con calle 90 (4°41'06.2"N 74°04'35.5"W), localidad de suba el 20, 22 y 24 en la primera fase y para la segunda fase el 14 y 15 de septiembre. La tercera muestra fue un agua residual sintética producida en la universidad durante el 10, 11 y 12 de agosto para la primera fase y el 30 de septiembre y el 1 de octubre de 2015 para la segunda fase.

La unidad muestral se definió en 400mL, teniendo en cuenta esto se utilizó el método de muestra compuesta de las diferentes recolecciones a un volumen de mezcla de 31L para la primera fase y 15L para la segunda fase, para obtener homogeneidad en los ensayos y representatividad en los análisis se realizaron 3 réplicas y 3 repeticiones.

ORGANISMOS DE ESTUDIO

Uno de los bioindicadores más utilizados en la batería de los bioensayos es *Lactuca salivá L.* es una planta comestible que pertenece a la familia Asteraceae (Compositae), la familia más grande de las dicotiledóneas, tienen pétalos unidos, coronas irregulares, en ocasiones cuentan con flores incompletas y a veces imperfectas. Es un organismo útil para el monitoreo de procesos de detoxificación, saneamiento, control de efluentes, reutilización de biosólidos, detección de salinidad o presencia de herbicidas en aguas. La inhibición de la elongación de la radícula e hipocótilo constituye a indicadores subletales muy sensibles en la evaluación de efectos biológicos

para determinar la calidad del agua, asimismo el crecimiento de la raíz como punto final de lectura el cual es más sensible a la toxicidad que la germinación de las semillas (Lallana et al. 2008) a diferencia de otras pruebas, el bioensayo con semillas permite evaluar la fitotoxicidad de muestras coloreadas o con elevada turbiedad de manera directa (Martín et al. 2012). Para los bioensayos se mantuvieron 2 réplicas y 2 repeticiones, a fin de tener representatividad en los resultados.

Las semillas de lechuga *L. sativa* L. Variedad Crispa, Cultivariedad Milanesa se obtuvieron en una almacén de grandes superficies ubicado en la ciudad de Bogotá D.C. En el transcurso de la prueba se tomaron 20 semillas de tamaño, forma y color similar; se distribuyeron uniformemente sobre papel Whatman n° 3 impregnado con 5 mL de cada una los floclulantes dentro de una caja de Petri, se incubó en oscuridad a $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 5 días. Después del periodo de incubación, se midió y registró el promedio de longitud de las radículas e hipocótilos por cada concentración de los floclulantes. Finalmente, se estimó la concentración inhibitoria (CI_{50}) en la germinación de la semilla, el crecimiento de la radícula y del hipocótilo. Se utilizó como control negativo y como diluyente agua dura reconstituida y como control positivo, $454,75 \text{ mg Zn}^{+2}/\text{L}$ (Sobrero y Ronco 2008).

MUESTRA SINTÉTICA

La tercera muestra de agua fue el agua residual sintética, su elaboración fue llevada a cabo en las instalaciones de la Universidad Pontificia Javeriana según la metodología de Martínez et al. (2010). Para emular parcialmente las condiciones de un agua residual coloreada contaminada con compuestos altamente tóxicos como el rojo Congo.

6.1 METODOS PARA EL 1 OBJETIVO ESPECÍFICO

Por medio de los parámetros físico-químicos y del test de jarras y se determinó la dosis efectiva de los floclulantes naturales y del floclulante químico control (sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)) en cada agua residual, en donde el proceso experimental consistió de 3 etapas: una etapa inicial de mezclado rápido a 125 rpm por 2 minutos, seguido de una etapa intermedia de mezclado lento a 55 rpm por 15 min y la etapa final de sedimentación por 30 minutos. Para la síntesis de los 9 floclulantes iniciales se utilizaron 3 taninos (Quebracho, Acacia y Castaño) y 3 aminas (Etanolamina, Dietanolamina y Cloruro de amonio (NH_4Cl)).

Como método estadístico de optimización y de screening primario para los taninos, aminos, concentraciones e interacciones entre estos, por medio de un diseño completamente al azar (DCA), donde se valoraron 3 variables respuesta excluyentes: Turbidez (APHA 2130), Color (APHA 2120) y pH (APHA 2310B). Para esto se probaron todos los supuestos de la estadística paramétrica y se realizaron graficas de medias como análisis post-hoc de soporte, dado que estas permiten evidenciar las interacciones entre los factores de forma más robusta que las pruebas a posteriori convencionales.

6.2 METODOS PARA EL 2 OBJETIVO ESPECÍFICO

De los floculantes naturales se realizó un screening primario en los 3 tipos de aguas residuales, utilizando el test de jarras para evaluar la acción coagulante de los mismos y tomando muestras para establecer parámetros físicos y químicos; de los 9 floculantes iniciales se escogieron 3 floculantes naturales que disminuían los parámetros físicos y químicos y/o que se comportaban similar al control químico en los 3 tipos de aguas residuales (Acacia-Etanolamina, Quebracho-Dietanolamina y Acacia-NH₄Cl); además de estos 3 floculantes naturales se escogieron 3 mezclas de los mismos en relación 1:1 (Acacia-Etanolmiana + Quebracho Dietanolamina, Acacia-Etanolmiana + Acacia-NH₄Cl y Quebracho-Dietanolamina + Acacia-NH₄Cl). A estos 6 floculantes naturales junto con el floculante químico se les determinaron parámetros físicos, químicos y biológicos, ya que se realizó un recuento en placa en agar nutritivo y en agar nutritivo adicionado con ketoconazol de heterótrofos totales, un recuento en profundidad para coliformes totales y *E. coli* en agar Chromocult por triplicado y se realizaron bioensayos con *Lactuca saltiva L.*

6.4 METODOS PARA EL 4 OBJETIVO ESPECÍFICO

Realizar una evaluación estadística de los 3 floculantes naturales establecidos en el objetivo anterior, el control químico y 3 mezclas de los floculantes naturales en relación 1:1 en 3 muestras de agua residual. Para esto se mantuvo el diseño de bloques completamente al azar en las diferentes muestras de agua residual, como pruebas posthoc se mantuvieron las gráficas de medias, dado que estas permiten evidenciar las interacciones entre los factores y las respuestas. Los datos se analizaron con ayuda del programa estadístico IBM SPSS Versión 22.

7. RESULTADOS

Tabla 1. Parámetros iniciales de las muestras de aguas residuales.

Parámetro	Unidad	Agua residual doméstica	Canal rio salitre	Agua residual sintética
Turbidez	NTU	177 ± 4	293,67 ± 1,53	24,6 ± 1,53
Color	PCU	238,67 ± 1,52	298,33 ± 1,53	633,33 ± 0,57
pH	-	7,42 ± 0,002	8,11 ± 0,025	6,81 ± 0,017
ORP	mV	-23,97 ± 1,10	-61,87 ± 1,65	9,07 ± 0,85
Conductividad	mS/cm	0,60 ± 0,01	0,65 ± 0,005	0,78 ± 0,11
DQO	mg /L	517 ± 3	913,67 ± 18,5	500,67 ± 2,52
Nitratos	mg /L	21,8 ± 0,2	52,7 ± 0,9	31,6 ± 0,1
Nitritos	mg /L	0,11 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,08 ± 0,01
Sólidos totales	mg/L	370 ± 60,82	183,34 ± 20,81	1163,33 ± 160,10
Sólidos suspendidos totales	mg/L	870 ± 50	460 ± 96,43	1396,67 ± 246,64
Sólidos disueltos totales	mg/L	176,67 ± 23,1	103,34 ± 28,86	83,33 ± 87,37
<i>E. coli</i>	UFC/mL	1,02E+3 ± 50	2,2E+3 ± 66,7	4E+5 ± 2E+4
Coliformes Totales	UFC/mL	5,8E5 ± 2E+4	2,3E+4 ± 6,7E+2	5,5E11 ± 3E+10
HT (Agar nutritivo)	UFC/mL	4,6E+5 ± 1,6E+4	4E+E ± 1,3E+3	6E+12 ± 3E+11
HT (Agar nutritivo+Ketoconazol)	UFC/mL	8,3E+3 ± 2,7E+2	2E+4 ± 6,7E+2	8E+10 ± 4E+9

Tabla 2. Parámetros post-tratamiento en la segunda fase con los 3 floculantes naturales, las 3 mezclas y el control químico en el **agua residual doméstica**.

Parámetro	Unidad	Acacia-Etanolamina	Quebracho-Dietanolamina	Acacia-NH ₄ Cl	Al ₂ (SO ₄) ₃	Acacia-Etanolamina + Quebracho-Dietanolamina	Acacia-Etanolamina + Acacia-NH ₄ Cl	Quebracho-Dietanolamina + Acacia-NH ₄ Cl
Turbidez	NTU	27,53 ± 4,3	15,67 ± 1,98	23,5 ± 3,99	13,4 ± 0,91	20,83 ± 0,64	9,84 ± 0,26	10,95 ± 2,74
Color	PCU	121,67 ± 7,23	63 ± 8,54	71 ± 14	3 ± 3,6	114,67 ± 18,77	79,67 ± 6,5	65,67 ± 13,61
pH	-	6,78 ± 0,02	7,02 ± 0,02	6,95 ± 0,03	5,54 ± 0,09	6,91 ± 0,03	6,87 ± 0,01	6,96 ± 0,065
ORP	mV	10,4 ± 1,44	-2,57 ± 1,10	1,6 ± 1,97	77,83 ± 4,45	3,3 ± 1,85	5,53 ± 0,72	0,8 ± 3,73
Conductividad	mS/cm	0,71 ± 0,03	0,74 ± 0,01	0,69 ± 0,01	0,67 ± 0,005	0,64 ± 0,01	0,63 ± 0,03	0,63 ± 0,01
DQO	mg /L	335 ± 13	493 ± 17,32	282,67 ± 13,05	95,67 ± 9,02	313 ± 13,08	173,33 ± 8,33	250, ± 14,53
Nitratos	mg /L	0	29,06 ± 45,99	7,36 ± 8,52	9,37 ± 1,98	0	0,37 ± 0,63	0
Nitritos	mg /L	0,15 ± 0,09	0,07 ± 0,03	0,06 ± 0,005	0,07 ± 0,01	0,05 ± 0,043	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,01
Sólidos totales	mg/L	340 ± 121,24	376,67 ± 47,26	300 ± 117,90	236,67 ± 83,27	126,67 ± 61,10	96,67 ± 49,33	260 ± 45,82
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1326,67 ± 156,95	903,33 ± 119,3	1193,33 ± 175,59	1213,33 ± 106,93	586,67 ± 75,05	483,33 ± 55,07	783,33 ± 245,83

Sólidos disueltos totales	mg/L	176,67 ± 66,58	100 ± 52,91	16,67 ± 11,55	133,33 ± 28,87	560 ± 36,05	503,33 ± 30,55	256,67 ± 35,12
<i>E. coli</i>	UFC/mL	<10E+1 ± 0	<10E+1 ± 0	<10E+1 ± 0	<10E+1 ± 0	<10E+1 ± 0	<10E+1 ± 0	<10E+1 ± 0
Coliformes Totales	UFC/mL	8,93E+03 ± 450,92	1,26E+04 ± 600	1,02E+04 ± 763,76	2,00E+03 ± 100	1,02E+04 ± 763,76	1,30E+04 ± 1000	6,00E+04 ± 3000
HT (Agar nutritivo)	UFC/mL	9,50E+04 ± 400	4,60E+04 ± 2000	1,02E+05 ± 7637,63	1,50E+04 ± 1000	1,30E+05 ± 10000	5,60E+04 ± 3000	2,00E+04 ± 1000
HT (Agar nutritivo + Ketoconazol)	UFC/mL	8,00E+03 ± 400	5,03E+03 ± 251,66	6,40E+03 ± 300	1,02E+03 ± 76,38	5,30E+03 ± 300	7,20E+03 ± 400	6,93E+03 ± 351,19

Tabla. 3 Parámetros post-tratamiento en la segunda fase con los 3 floculantes naturales, las 3 mezclas y el control químico en el agua residual colectada en el canal río salitre.

Parámetro	Unidad	Acacia-Etanolamina	Quebracho-Dietanolamina	Acacia-NH ₄ Cl	Al ₂ (SO ₄) ₃	Acacia-Etanolamina + Quebracho-Dietanolamina	Acacia-Etanolamina + Acacia-NH ₄ Cl	Quebracho-Dietanolamina + Acacia-NH ₄ Cl
Turbidez	NTU	14,5 ± 1,22	9,5 ± 0,91	3,37 ± 0,44	5,53 ± 3,54	11,13 ± 0,5	3,3 ± 2,02	5,1 ± 0,53
Color	PCU	1033,33 ± 382, 79	141,67 ± 3,78	32 ± 5,29	58,33 ± 5,69	373,67 ± 0,29	187,67 ± 11,06	62 ± 14,11
pH	-	6,99 ± 0,12	7,24 ± 0,02	7,03 ± 0,02	6 ± 0,04	7,33 ± 0,29	7,27 ± 0,13	7,36 ± 0,12
ORP	mV	-0,63 ± 6,96	-14,6 ± 1,4	-3,06 ± 1,26	53,27 ± 2,25	-19,5 ± 16,21	-16,1 ± 7,20	-20,97 ± 6,83
Conductividad	mS/cm	0,87 ± 0,03	0,089 ± 0,02	0,87 ± 0,03	0,74 ± 0,07	0,9 ± 0,03	0,87 ± 0,02	0,88 ± 0,01
DQO	mg /L	493,67 ± 30,6	496,67 ± 3,51	249,67 ± 12,5	48 ± 4,58	541 ± 61,39	321,34 ± 9,61	355,67 ± 22, 5
Nitratos	mg /L	14,5 ± 25,11	20,93 ± 36,26	17,13 ± 3,63	7,57 ± 4,5	0	4,13 ± 6,9	19,57 ± 8,12
Nitritos	mg /L	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,07 ± 0,005	0,09 ± 0,03	0,03 ± 0,03	0,09 ± 0,03	0,06 ± 0,005

Sólidos totales	mg/L	386,67 ± 240,07	156,67 ± 100,17	126,67 ± 115,9	186,67 ± 219,62	586,67 ± 85,04	33,33 ± 20,81	73,33 ± 61,1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	613,33 ± 241,31	313,33 ± 70,24	533,33 ± 106,93	950 ± 52,91	1056,67 ± 246,64	773,33 ± 230,29	1033,33 ± 40,41
Sólidos disueltos totales	mg/L	133,33 ± 61,1	126,67 ± 70,95	113,33 ± 28,87	146,67 ± 80,83	186,67 ± 150,44	150 ± 60	50 ± 30
<i>E. coli</i>	UFC/mL	2,00E+01 ± 1	<10E+1 ± 0	1,00E+01 ± 0,5	1,26E+02 ± 167,72	1,26E+02 ± 167,72	<10E+1 ± 0	<10E+1 ± 0
Coliformes Totales	UFC/mL	1,06E+05 ± 5291,5	3,03E+02 ± 15,27	3,40E+02 ± 20	2,00E+02 ± 10	4,60E+02 ± 20	1,80E+02 ± 10	<10E+1 ± 0
HT (Agar nutritivo)	UFC/mL	3,03E+06 ± 152752,5	<10E+1 ± 0	1,05E+06 ± 5E+4	1,26E+05 ± 5291,5	3,03E+06 ± 152752,5	1,14E+06 ± 51316,01	<10E+1 ± 0
HT (Agar nutritivo+K etoconazol)	UFC/mL	3,03E+04 ± 1527,52	<10E+1 ± 0	4,00E+05 ± 2E+4	2,30E+04 ± 2E+4	2,60E+05 ± 1E+4	1,50E+04 ± 1E+3	<10E+1 ± 0

Tabla. 4 Parámetros post-tratamiento en la segunda fase con los 3 floculantes naturales, las 3 mezclas y el control químico en el **agua residual sintética**.

Parámetro	Unidad	Acacia-Etanolamina	Quebracho-Dietanolamina	Acacia-NH ₄ Cl	Al ₂ (SO ₄) ₃	Acacia-Etanolamina + Quebracho-Dietanolamina	Acacia-Etanolamina + Acacia-NH ₄ Cl	Quebracho-Dietanolamina + Acacia-NH ₄ Cl
Turbidez	NTU	35,5 ± 10,13	7,9 ± 1,9	4,6 ± 0,84	8,30 ± 1,25	4,89 ± 0,71	9,61 ± 6,77	3,43 ± 1,69
Color	PCU	62,67 ± 12,74	28,33 ± 6,03	28 ± 10	15,33 ± 2,08	35,33 ± 13,32	33,67 ± 14,57	27,33 ± 6,11
pH	-	6,36 ± 0,14	6,65 ± 0,05	6,7 ± 0,01	5,33 ± 0,06	6,24 ± 0,49	6,27 ± 0,56	5,98 ± 0,57
ORP	mV	33,43 ± 7,96	17,63 ± 2,97	15,17 ± 2,97	0,42 ± 0,01	40,13 ± 26,82	38,43 ± 30,62	54,17 ± 31,02
Conductividad	mS/cm	0,40 ± 0,02	0,39 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,42 ± 0,01	0,42 ± 0,24	0,39 ± 0,23	0,31 ± 0,18
DQO	MG/L	295 ± 35,59	211,67 ± 5,86	166,67 ± 9,45	166,67 ± 11,93	182 ± 50,48	168,33 ± 29,26	188 ± 70,45
Nitratos	MG/L	4,13 ± 7,15	5,75 ± 9,97	9,15 ± 3,76	2,06 ± 3,57	4,42 ± 0,02	1,33 ± 2,3	4,57 ± 4,02
Nitritos	MG/L	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,005
Sólidos totales	mg/L	156,67 ± 51,32	103,33 ± 51,32	616,67 ± 422,53	133,33 ± 100,17	243,33 ± 146,4	123,33 ± 45,09	146,67 ± 30,55
Sólidos suspendidos totales	mg/L	406,67 ± 90,73	380 ± 190	360 ± 282,13	583,33 ± 32,14	846,67 ± 285,36	950 ± 194,68	636,67 ± 198,58

Sólidos disueltos totales	mg/L	90 ± 72,11	116,67 ± 49,33	66,67 ± 41,63	20 ± 10	146,67 ± 20,82	256,67 ± 122,2	60 ± 13,32
<i>E. coli</i>	UFC/mL	4,50E+05 ± 20000	3,03E+03 ± 152,75	1,20E+05 ± 10000	1,50E+04 ± 1000	3,03E+04 ± 1527,52	3,14E+03 ± 76,37	1,02E+04 ± 763,76
Coliformes Totales	UFC/mL	4,50E+09 ± 2,00E+8	5,03E+09 ± 3E+08	5,03E+09 ± 3E+08	6,20E+10 ± 3E+09	5,90E+11 ± 3E+10	4,40E+11 ± 2E+10	1,93E+09 ± 1E+8
HT (Agar nutritivo)	UFC/mL	2,60E+11 ± 1E+10	3,03E+09 ± 2E+08	5,03E+10 ± 3E+9	4,20E+10 ± 2E+09	1,55E+13 ± 5,03322E+11	4,20E+11 ± 2E+10	1,90E+10 ± 1E+9
HT (Agar nutritivo + Ketoconazol)	UFC/mL	3,03E+9 ± 2E+8	2,70E+08 ± 1E+7	6,00E+10 ± 3E+9	2,60E+08 ± 1E+7	5,70E+11 ± 3E+10	6,20E+09 ± 3E+8	2,70E+08 ± 1E+7

Los resultados obtenidos en la segunda etapa fueron analizados estadísticamente en el programa IBM SPSS versión 2.0, en donde se pueden evidenciar las interacciones entre los factores y las variables respuesta como se pueden ver a continuación:

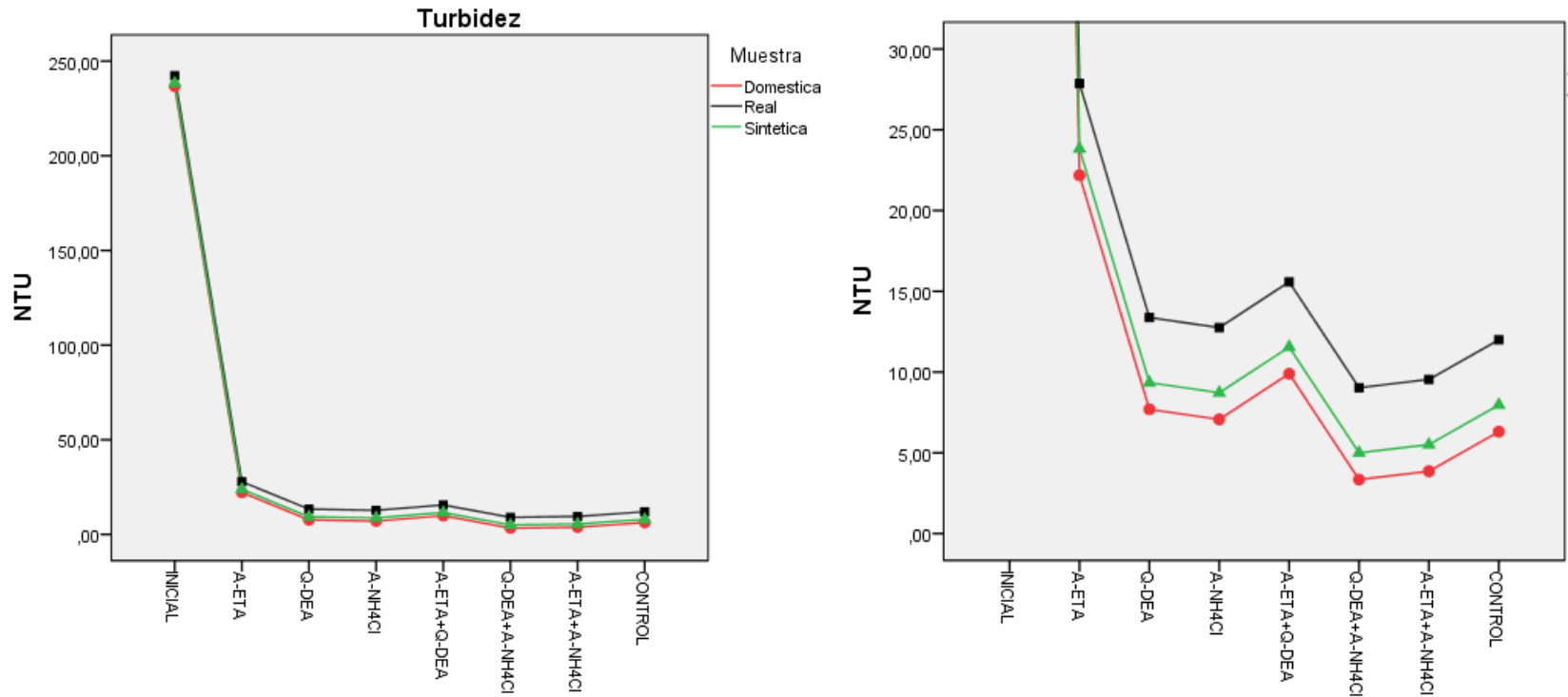


Figura 1. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de Turbidez para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

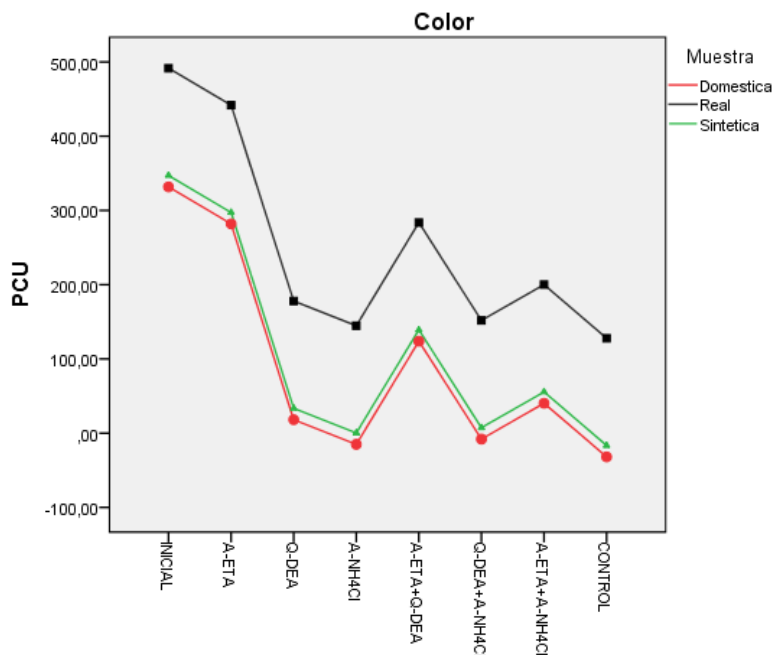


Figura 2. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de Color para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

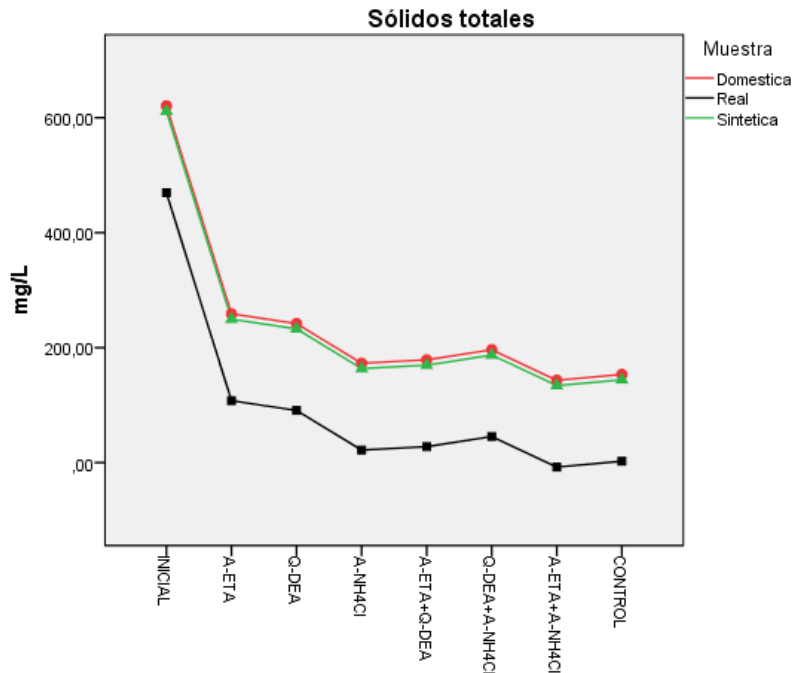


Figura 3. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de los sólidos totales para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

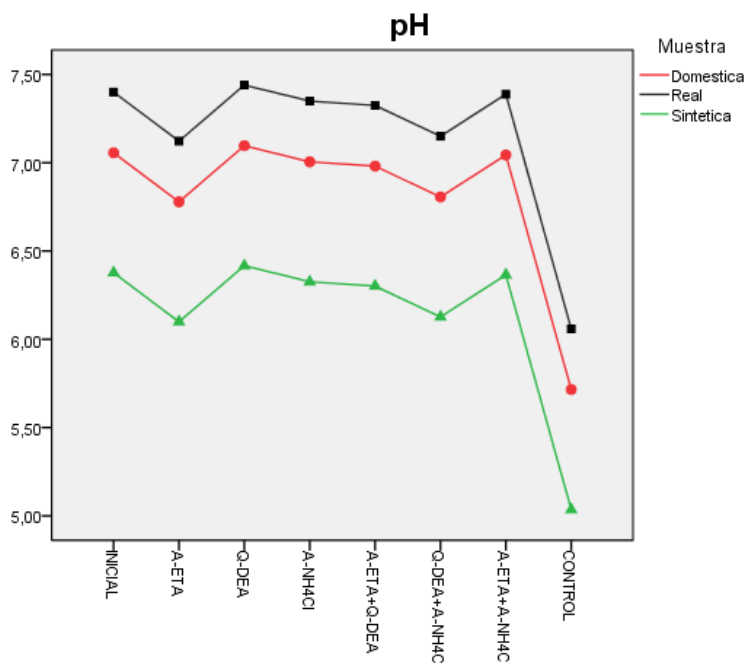


Figura 4. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de pH para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

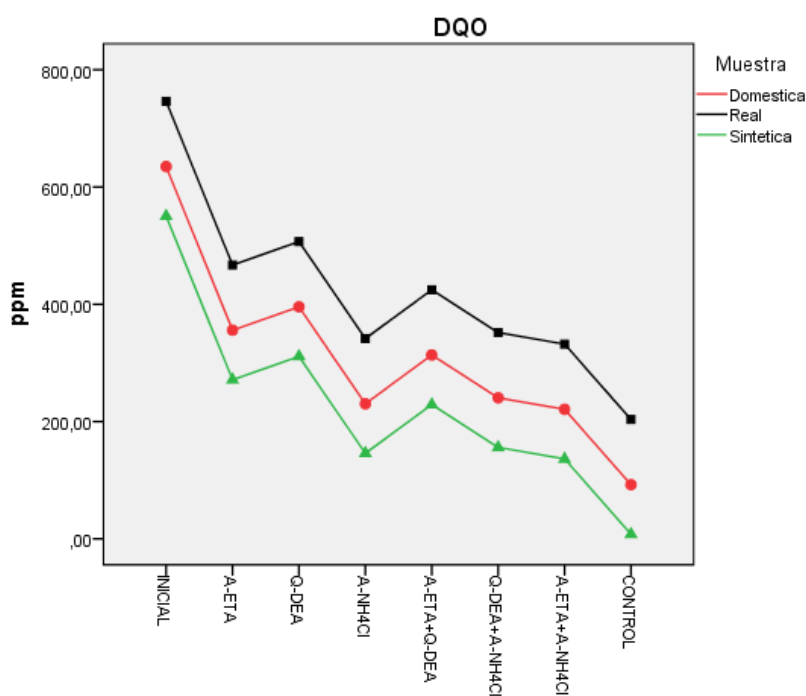


Figura 5. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de la demanda química de oxígeno (DQO) para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

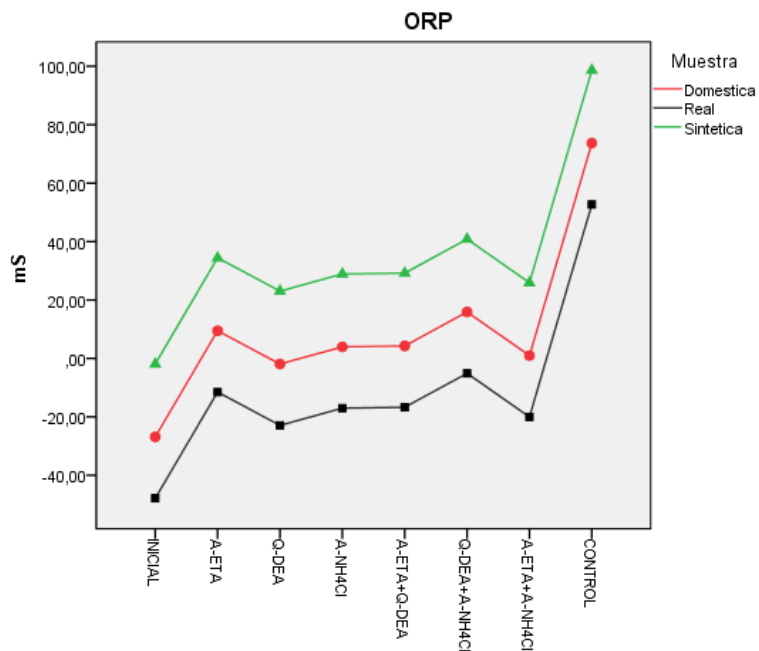


Figura 6. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de ORP para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

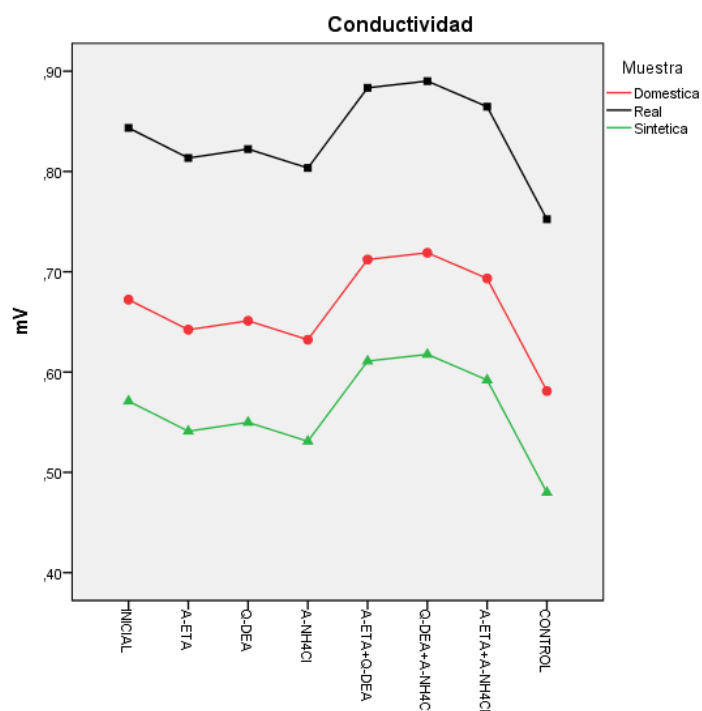


Figura 7. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de la conductividad para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

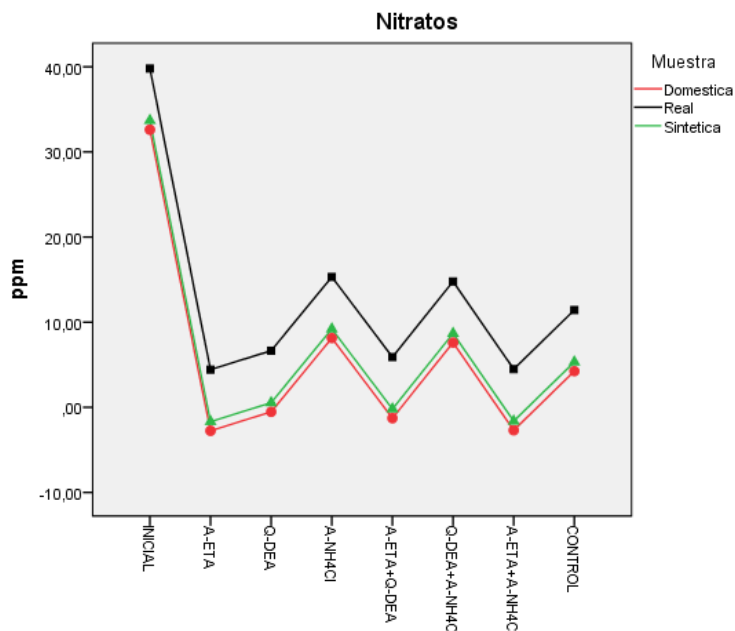


Figura 8. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de nitratos para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

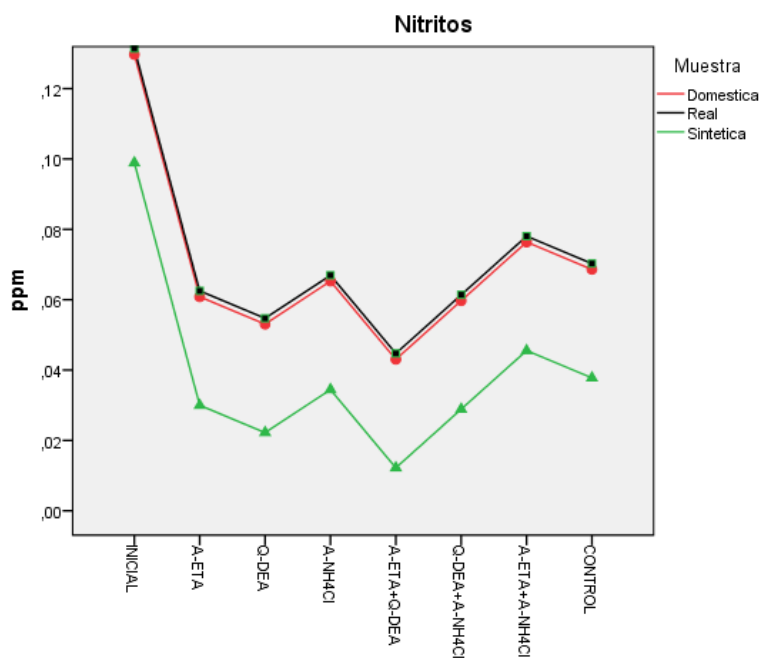


Figura 9. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de nitritos para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

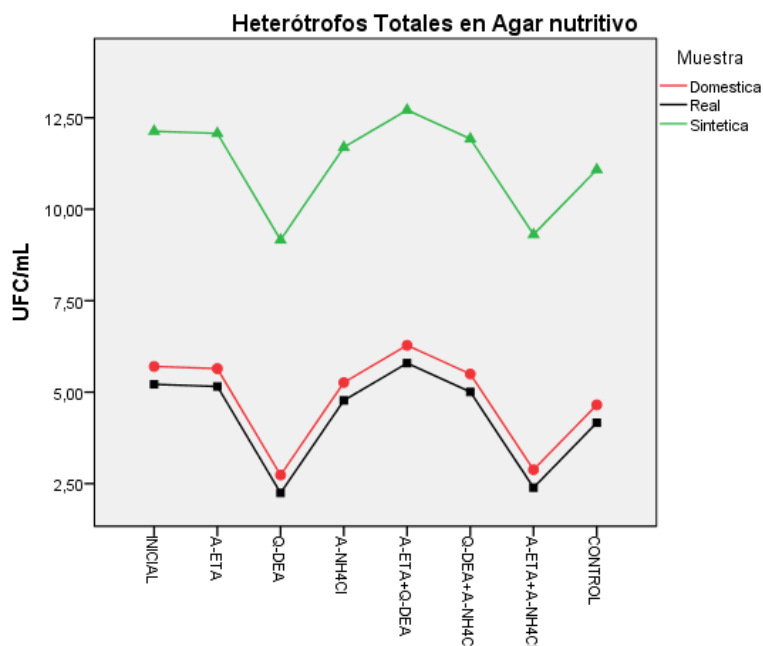


Figura 10. Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de Heterótrofos Totales en agar Nutritivo para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

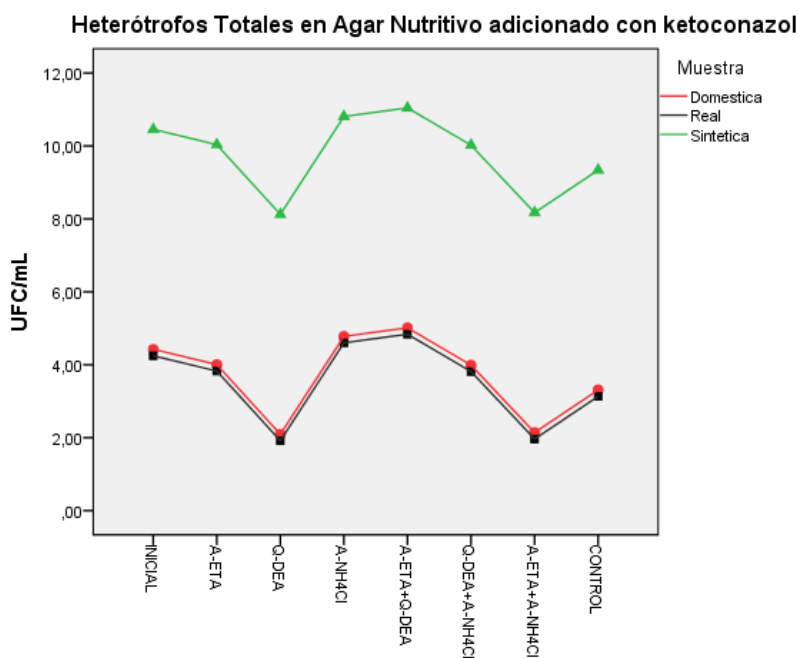


Figura 11. Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de Heterótrofos Totales en agar Nutritivo adicionado con Ketoconazol para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

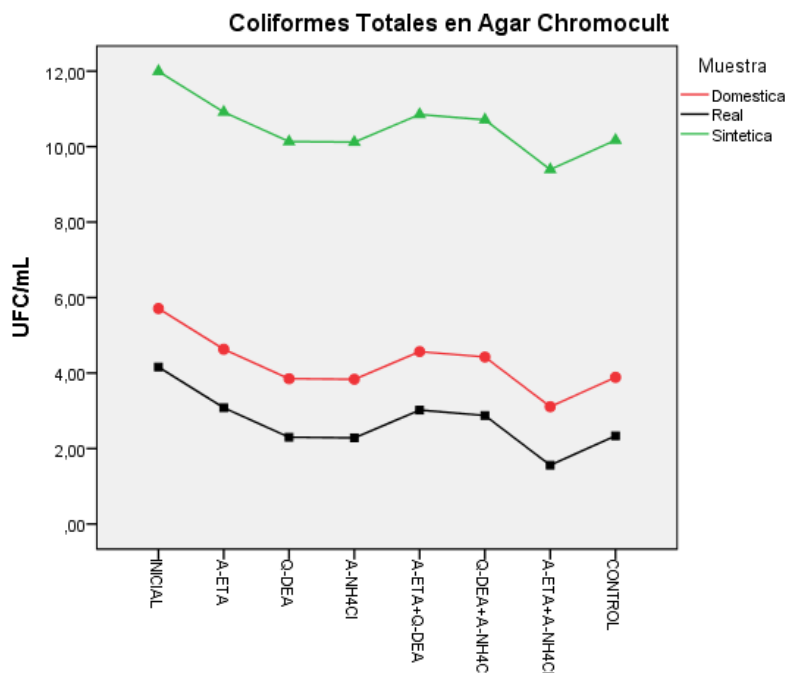


Figura 12. Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de Coliformes Totales en agar Chromocult para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

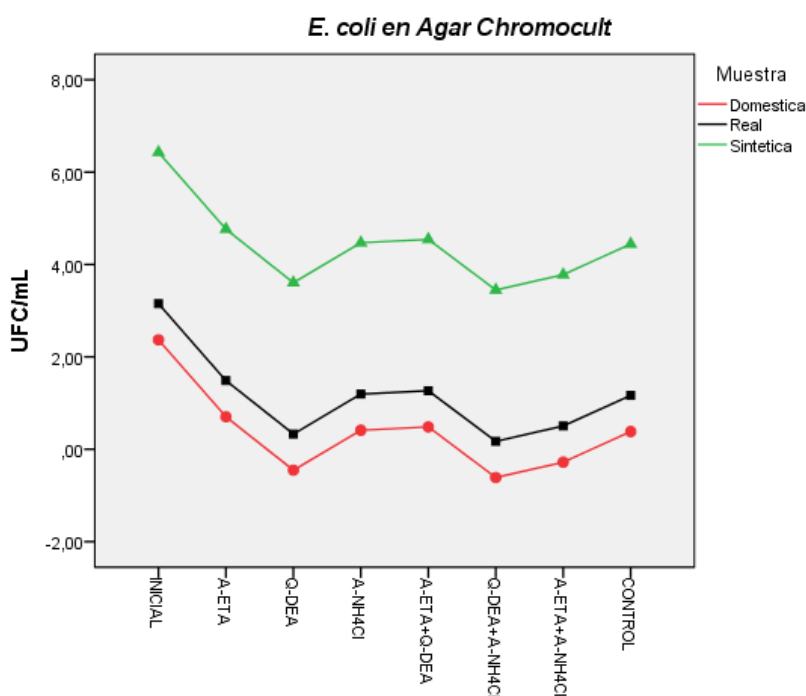


Figura 13. Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de *E. coli* en agar Chromocult para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

Tabla. 7 Porcentaje de inhibición de la elongación del hipocótilo de la semilla de *Lactuca sativa* L.

Porcentaje de la inhibición de la elongación del Hipocótilo

Concentración	Acacia-Etanolamina	Quebracho-Dietanolamina	Acacia-NH ₄ Cl	Al ₂ (SO ₄) ₃	Acacia-Etanolamina + Acacia-NH ₄ Cl	Quebracho-Dietanolamina + Acacia-NH ₄ Cl
1%	13,61%	4,82%	1,46%	70,45%		
8,25%	100%	100%	100%	86,35%	100%	100%
15,5%	100%	100%	100%	93,08%	100%	100%
22,75%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
30%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

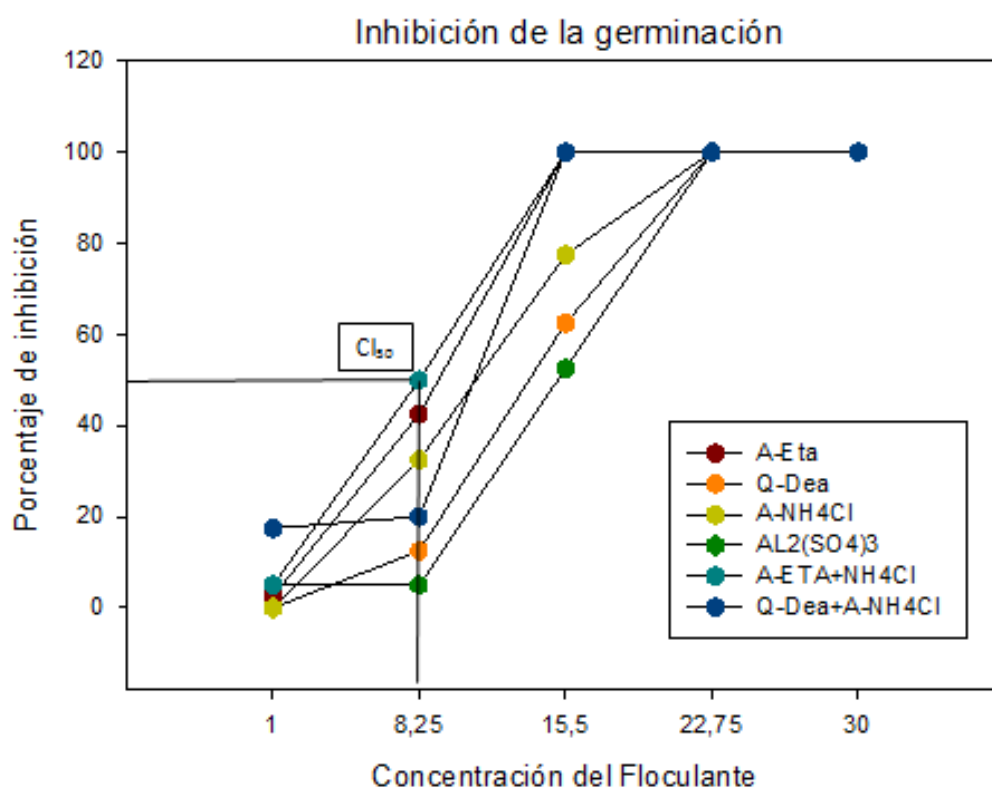


Figura 14. Porcentaje de inhibición de la germinación de la semilla de *Lactuca sativa* L. para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (AL₂(SO₄)₃)).

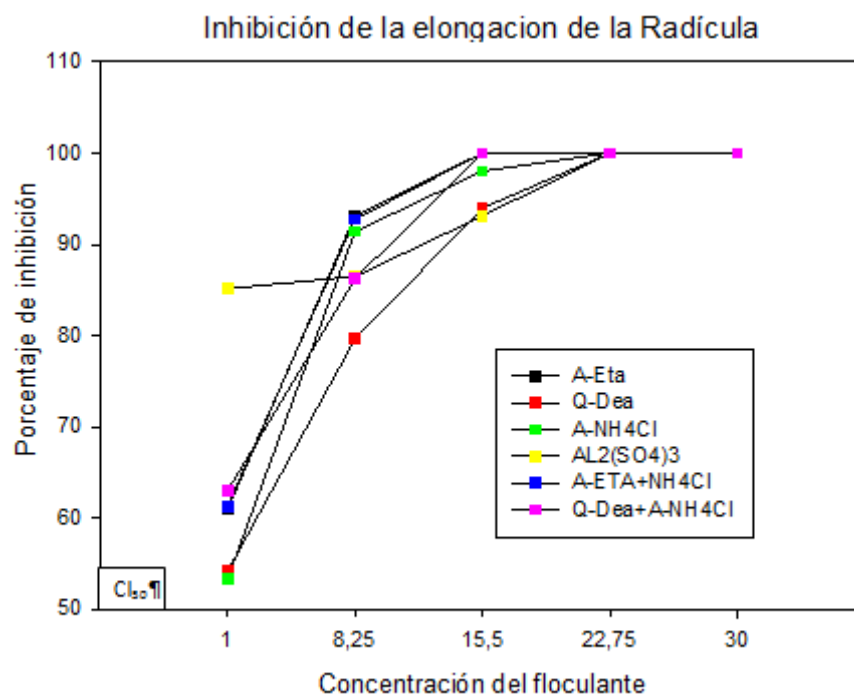


Figura 15. Porcentaje de inhibición de la elongación de la radícula de la semilla de *Lactuca sativa L.* para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico ($AL_2(SO_4)_3$)).

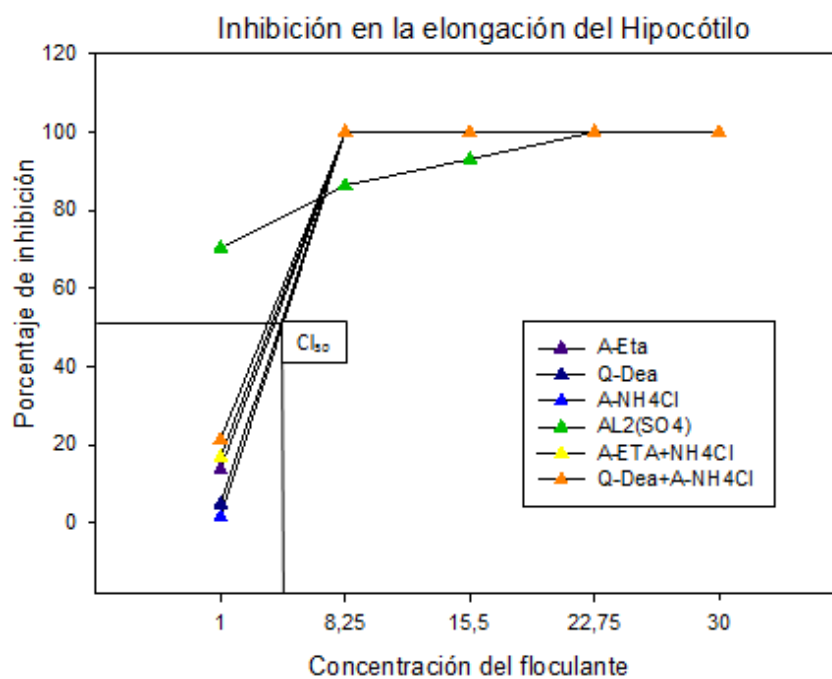


Figura 16. Porcentaje de inhibición de la elongación del hipocótilo de la semilla de *Lactuca sativa L.* para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico ($AL_2(SO_4)_3$)).

8. DISCUSIÓN

8.1. Comparación con normativa vigente:

Tabla 8. Normas Técnicas Colombianas e internacionales vigentes para los parámetros estudiados.

Parámetro		Unidad	Norma Técnica	Agua residual doméstica	Canal rio salitre	Agua residual sintética
Turbidez		NTU	Decreto 1594 de 1984	10 JTU (190 NTU) ^a	10 JTU (190 NTU) ^a	10 JTU (190 NTU) ^a
Color real		PCU	Resolución 3957 de 2009	50 UC (1/20) ^a	50 UC (1/20) ^a	50 UC (1/20) ^a
pH		-	Resolución 0631 de 2015	6-9 ^b	6-9 ^c	6-9 ^d
ORP		mV	-	-	-	-
Conductividad		mS/cm	-	-	-	-
DQO		mg/L	Resolución 0631 de 2015	200 ^b	180 ^c	200 ^d
Nitratos	NO ⁻³	mg/L	WHO 2011	50 mg/L ^a	50 mg/L ^a	50 mg/L ^a
	NO ⁻³ -N			11 mg/L ^a	11 mg/L ^a	11 mg/L ^a
Nitritos	NO ⁻²	mg/L	WHO 2011	3 mg/L ^a	3 mg/L ^a	3 mg/L ^a
	NO ⁻² -N			0,9 mg/L ^a	0,9 mg/L ^a	0,9 mg/L ^a
	NO ⁻³ + NO ⁻²	mg/L	WHO 2011	<1 mg/L ^a	<1 mg/L ^a	<1 mg/L ^a
Sólidos totales		mg/L	Resolución 0631 de 2015	100 ^b	90 ^c	100 ^d
Sólidos suspendidos totales		mg/L	Resolución 3957 de 2009	40 ^a	40 ^a	40 ^a
Sólidos disueltos totales		mg/L	-	-	-	-

<i>E. coli</i>	UFC/mL	FAO 2007	Ausente en 250 ml ^a	Ausente en 250 ml	Ausente en 250 ml
Coliformes Totales	UFC/mL	FAO 2007	Ausente en 250 ml	Ausente en 250 ml	Ausente en 250 ml
HT (Agar nutritivo)	UFC/mL	-	-	-	-
HT (Agar nutritivo+ Ketoconazol)	UFC/mL	-	-	-	-

a. Normas generales para el agua potable de uso doméstico e industrial.

b. Aguas residuales domésticas, de las soluciones individuales de saneamiento de viviendas unifamiliares o bifamiliares.

c. Aguas residuales domésticas, de las aguas residuales de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.

d. Aguas residuales de industrias de imprentas y litografías.

Para la normativa vigente Colombiana, se estipulan los parámetros y valores máximos permisibles de los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, en la resolución 0631 del 17 de Marzo del 2015, el decreto 1594 de 1984 y la resolución 3957 del 2009 (tabla.8). Los rangos máximos permisibles para el vertimiento de la turbidez se encuentran en el decreto 1594 de 1984, donde establece que el agua potable para el destino doméstico e industrial debe tener una turbidez máxima de 10 JTU (unidad de turbidez de Jackson) en donde 1 JTU equivale a 19 NTU (LGM 2010), por lo cual en la norma se aceptarían 190 NTU para su vertimiento a cuerpos de agua. La muestra inicial del agua domestica tenía una turbidez de $168,67 \pm 14,98$ NTU, la muestra colectada del canal rio salitre $271,33 \pm 38,42$ NTU y la muestra sintética $247,33 \pm 2,56$ NTU; por lo anterior, acorde a este parámetro, solo la muestra doméstica se podría verter directamente a un cuerpo de agua superficial sin tratamiento. Gracias al tratamiento de las 3 aguas residuales con los biofloculantes y el control químico, todas las aguas tratadas se podrían disponer directamente en el alcantarillado.

La resolución 3957 del 2009 establece el valor máximo permitido para el agua potable de uso doméstico e industrial de solidos suspendidos totales (SST) y de color real es de 40 mg/L y 50 UC en una dilución 1/20 para su vertimiento respectivamente. La muestra inicial del agua domestica tenía solidos suspendidos totales y color real inicial de 2870 ± 50 mg/L y $42 \pm 6,24$

PCU, la muestra colectada del canal rio salitre $460 \pm 96,43$ mg/L y $301,33 \pm 6,66$ PCU y la muestra sintética $1396,67 \pm 246,64$ mg/L y $31,67 \pm 2,89$ PCU, teniendo en cuenta solo el color, las 3 aguas podrían ser aceptadas, pero dados los valores de sólidos suspendidos totales no podrían ser vertidas a aguas superficiales incluso después de los tratamientos, para ello sería necesario una etapa con filtros de arena o la ultrafiltración, es decir un tratamiento extra al proceso realizado.

En la resolución 0631 del 17 de Marzo del 2015 se establece el rango de pH, los valores máximos permitidos de los sólidos totales y de la demanda química de oxígeno (DQO) para el agua del saneamiento de viviendas, aguas residuales de los prestadores de servicios públicos de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales y aguas residuales de industrias de imprentas y litografías como la muestra 1, 2 y 3, respectivamente. Acorde a esta normativa El pH debe encontrarse entre 6-9 para todas las muestras, los sólidos totales para aguas residuales de saneamiento de viviendas y aguas residuales de industrias de imprentas y litografías, en 100 mg/L, para aguas residuales de los prestadores de servicios públicos de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales, en 90 mg/L. Por otra parte, para el parámetro de DQO en este tipo de muestras debe estar en 200 MG/L y para aguas residuales de los prestadores de servicios públicos de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales, en 180 MG/L.

El pH, los sólidos totales y la DQO de la muestra 1 inicialmente eran $7,42 \pm 0,002$, $370 \pm 60,82$ mg/L y $537,67 \pm 35$, 92 MG/L, respectivamente, de la muestra 2 eran $8,11 \pm 0,025$, $183,34 \pm 20,81$ mg/L y $818,67 \pm 165,29$ MG/L y de la muestra 3 de $6,81 \pm 0,017$, $1163,33 \pm 160$ mg/L y $10, 486,33 \pm 24,66$ MG/L. Lo que demuestra que solo por el parámetro “pH” las 3 aguas podrían ser vertidas directamente, pero por los valores de solidos totales y DQO ninguna de las 3 aguas podrían ser vertidas, post-tratamiento, las 3 muestras de agua podrían ser vertidas por el pH, excepto las aguas tratadas con el control químico, el cual baja a niveles no permitidos por la normativa vigente en Colombia (tabla 8), con los valores presentados para la demanda química de oxígeno (DQO) solo se podrían verter directamente el agua tratada con el control y Acacia-Etanolamina + Acacia+ NH_4Cl y por el parámetro de sólidos totales se podría verter solamente el agua pot-tratamiento de Acacia-Etanolamina + Acacia+ NH_4Cl .

La regulación para los valores de nitratos y nitritos se tomó de la Organización Mundial de la salud (WHO 2011), en donde el valor máximo de nitratos es de 50 MG/L y de nitritos de 3 MG/L

y cuando se encuentren juntos nitratos+nitritos, sus valores no deben superar 1 MG/L, esto debido al riesgo de meta-hemoglobinemia en poblaciones abastecidas por el dicha agua, la cual es una consecuencia de la de la reacción del nitrito con la hemoglobina eritrocitaria para formar meta-hemoglobina, que se une al oxígeno fuertemente y no lo libera, bloqueando así el transporte de oxígeno. Los altos niveles de meta-hemoglobina (>10%) incide directamente en lactantes al ser agente etiológico de cianosis, referida como síndrome del bebé azul (WHO 2011). Muchos de los biofloculantes consiguieron cumplir este estricto parámetro, gracias a sus altos porcentajes de remoción, que en muchos casos evidenciaron niveles de 0 MG/L los cuales podrían ser vertidos directamente al alcantarillado y no presentar riesgos para la salud infantil.

Del codex alimentarius (FAO 2007) se tomaron los valores máximos de los coliformes totales y *E. coli* en el agua potable, los cuales deben estar ausentes en 250 ml de muestra. Esto no se consiguió después de los tratamientos, ya que en alguna medida se presentaban microorganismos presentes en el agua después de los tratamientos, por ello es necesario etapas de desinfección posteriores. Para los parámetros de ORP, conductividad, Sólidos Disueltos Totales y heterótrofos totales no se encontró normativa que los contemple como estándar de calidad actual.

8.2. Comportamiento de parámetros físico-químicos

Del screening primario se destacaron tres floculantes naturales dado que lograron una mayor remoción de la turbidez, color y sólidos totales (parámetros que fueron tenidos en cuenta principalmente en la primera fase): Acacia-Etanolamina, Quebracho-Dietanolamina, y Acacia-NH₄Cl, en algunos casos obtuvieron los mejores resultados frente al control químico. En el screening primario se determinó que los floculantes con los cuales los parámetros físico-químicos tenían tendencias similares o incluso superiores a los obtenidos con el control químico, serían considerados los más aptos para la segunda fase, en donde además se contemplaron los parámetros biológicos y se evaluaron 3 mezclas en relación 1:1 de los floculantes optimizados en el screening inicial, junto al control químico: sulfato de aluminio (Al₂ (SO₄)₃) en las mismas 3 aguas residuales: domestica, colectada del rio canal salitre y sintética.

La remoción de la turbidez se ve en mayor proporción mediada por los floculantes naturales Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH₄Cl, Acacia-Etanolamina+ Acacia- NH₄Cl y Acacia-NH₄Cl, seguidos por el control químico sulfato de aluminio (Al₂ (SO₄)₃). En los tres tipos de aguas residuales (fig. 1). Los resultados obtenidos a partir de la turbidez dan un indicio de la capacidad

clarificadora de los taninos obtenidos de acacia y el quebracho, al estar potenciados con las aminas Dietanolamina y cloruro de amonio (NH_4Cl); Beltrán-Heredia et al., en el 2010, recomienda el uso de la Acacia con la Dietanolamina o el cloruro de amonio (NH_4Cl) como un buen floculante para la remoción de la turbidez; aunque el quebracho no pareció darles buenos resultados, en este estudio el quebracho coadyuvado con la acacia arrojó los mejores porcentajes de remoción en las tres muestras de agua. Beltrán-Heredia et al. (2011) a su vez realizaron un estudio de la optimización de un floculante natural con un tanino modificado de Acacia con cloruro de amonio (NH_4Cl) y formaldehído, con el cual se tuvo una remoción del 100 % de la turbidez, de 80 a 0 NTU y se concluyó que con bajas dosis del floculante es posible remover casi la totalidad de la turbidez de la muestra inicial, similar a la investigación realizada por Sánchez-Martín et al. (2010) donde ensayaron un agente coagulante a base de taninos de *Schinopsis balansae* (Quebracho), llamado “Silvafloc” para la clarificación de la superficie de agua de ríos y también se determinó que a bajas concentraciones del coagulante (20 MG/L) es posible remover el 90% de la turbidez. En el presente estudio: Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH_4Cl al ser una mezcla y estar potenciado junto la Dietanolamina y la Acacia- NH_4Cl , obtuvo una alta remoción de la turbidez el 93,51% en la primera muestra, 98,12y en la segunda muestra y 98,61% en la muestra sintética, superando incluso al control químico teniendo en cuenta que en la primera muestra su porcentaje de remoción fue de 92%, en la segunda muestra de 97,96% y en la tercera muestra de 96,64%.

Los floculantes naturales a base de taninos, que se modifican por la reacción de Mannich, son capaces de desestabilizar la materia coloidal en el agua cruda y ordenar la acción floculante, se ha encontrado que su eficiencia puede ser mayor al sulfato de aluminio debido a su habilidad para formar redes, ampliando su superficie de contacto y a su vez aumentando de peso, y así poder precipitarse más rápido clarificando el agua residual en menor tiempo, en contraste el alumbre solo puede actuar como coagulante, esto quiere decir que puede desestabilizar las cargas de las partículas que se encuentran enturbiando el agua, pero necesitaran tiempo para poder precipitarse y clarificarla (Sánchez-Martín et al. 2010).

Aboulhassan et al. (2005) realizaron un estudio para evaluar la acción coagulante-floculante y la reducción del color de un floculante natural a base de sustancias tánicas vegetales (Polysep 3000) en una muestra de agua industrial, con grandes concentraciones de colorantes de tipo azo, en

comparación con dos controles químicos: Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y Cloruro de férrico (FeCl_3), en relación al color, el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ fue el menos efectivo en su remoción (71,4%), pero el floculante natural y el otro control químico fueron muy similares en la remoción del color 90,7% y 97,6% respectivamente.

Durante el transcurso del estudio se logró obtener una reducción del 96,36%, 96,21%, y 96% con Acacia- NH_4Cl , Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH_4Cl y Acacia-Etanolamina+ Acacia- NH_4Cl (fig.2), este tipo de aguas se consideran de difícil remoción ya que los colorantes de tipo azo son compuestos recalcitrantes y no son biodegradables, para ello se recomienda un tratamiento anaerobio el cual es capaz de romper los enlaces azo (Aboulhassan et al. 2005 y Ong et al. 2009)

Los mayores porcentajes de remoción de los sólidos llevados a cabo por los biofloculante se pueden ver en la tabla 10.

Tabla 9. Porcentaje de remoción de sólidos mediado por los biofloculantes

Muestra de agua residual	ST	SST	SDT
Agua residual doméstica	73,87%: Acacia-Etanolamina + Acacia- NH_4Cl .	44,44%: Acacia-Etanolamina + Acacia- NH_4Cl .	90,56%: Acacia- NH_4Cl .
	65,76%: Acacia-Etanolamina + Quebracho-Dietanolamina.	32,56%: Acacia-Etanolamina + Quebracho-Dietanolamina.	43,4%: Quebracho-Dietanolamina
Agua residual colectada en el rio canal salitre	81,91%: Acacia-Etanolamina + Acacia- NH_4Cl .	31,88%: Quebracho-Dietanolamina	51,61%: Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH_4Cl .q
	60%: Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH_4Cl .		
Agua residual sintética	91,12%: Quebracho-Dietanolamina	77,22%: Acacia- NH_4Cl	28%: Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH_4Cl .

	89,4%: Acacia- Etanolamina + Acacia- NH ₄ Cl.	72,8%: Quebracho- Dietanolamina	20%: Acacia- NH ₄ Cl.
	87,39%: Quebracho- Dietanolamina + Acacia- NH ₄ Cl.	70,93%: Acacia- Etanolamina	

En los resultados de los Sólidos totales (ST) (fig. 3), se encontró que con el control en el agua colectada del río canal salitre los sólidos totales aumentaron un 1,8% (de 183,33 mg/L a 186,66 mg/L). Esto puede deberse al mismo aumento de los Sólidos suspendidos totales, puesto que los sólidos totales son la sumatoria de los sólidos disueltos totales y los sólidos suspendidos totales (Karia y Chirstian 2013).

En general, para los resultados obtenidos de los sólidos suspendidos totales (SST), se evidenció un aumento de los mismos, especialmente en el empleo del control químico Al₂(SO₄)₃, por ejemplo en las muestras de agua residual doméstica aumentó un 39,46% y en la colectada en el río canal salitre 106,52%, en la muestra de agua sintética solo logro reducir los SST un 24,53%. Los sólidos suspendidos incrementaron a medida de que la dosis del floculante aumenta y aumenta el pH, lo cual se debe a la desestabilización de los agregados de sólidos (“flocs”) (Beltrán-Heredia 2009, Sánchez-Martín 2009y Sánchez-Martín 2010).

En los sólidos disueltos totales (SDT) también se evidenció un aumento en la segunda muestra residual del 41,94% con el control y una disminución del 24,53% en la muestra doméstica y 76% en la sintética, Saduzzaman et al. (2013) desarrollaron un experimento con el extracto de benceno de *Moringa oleífera* en dos tratamientos con 5 y 10 ml del extracto sobre agua residuales domésticas, se obtuvo un descenso de los sólidos disueltos totales de 68,75% y 75% respectivamente. Los SDT se lograron disminuir en este estudio hasta 90,56% y 43,4% (tabla. 9) al ser tratados con Acacia- NH₄Cl y Quebracho-Dietanolamina, una alta concentración de iones disueltos es un indicador de que una corriente está contaminada o es insalubre, si se encuentra alto contenido de iones disueltos en el cuerpo de agua, muchas formas de vida acuática se verán afectadas. Estas concentraciones pueden añadir un efector laxante al agua o que esta tenga un sabor metálico desagradable al beberla, por ello es imperativo la remoción de SDT en los cuerpos de agua (Sharmila et al. 2013).

En todas las muestras después de los tratamientos se puede observar un descenso en el pH en el control químico (fig.4). El pH oscila entre 5,28 y 6,00 e incluso alcanzó valores de 4,27 en la primera fase (datos no presentados), mientras que las muestras tratadas con floculantes químicos el pH oscila entre 6,76 y 7,04. Shak y Wu en el 2015 llevaron a cabo un estudio para ver el potencial de la goma de la semilla de *Cassia obtusifolia* asistido con alumbre en la clarificación aguas residuales. Durante este proceso se encontró que el pH descendió desde el óptimo de 3,88 a 2,74 cuando se usó solo el alumbre, pero el tratamiento con la goma no demostró cambios en el pH. La reducción del pH en los tratamientos que utilizaban el alumbre se debió a la adición del sulfato de aluminio, lo cual produce una acidez cuando el aluminio se disuelve en el agua residual (Shak y Wu 2015).

Es ampliamente conocido que el uso de floculantes de origen químico como el sulfato de aluminio baja el pH en aguas tratadas (Yin 2010, Guzmán et al. 2013), puesto que el sulfato de aluminio se disocia completamente al reaccionar con el agua, permitiendo la formación de ácido sulfúrico, y este acidifica el medio de la siguiente manera: $Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 6H^{1+} + 3SO_4^{2+}$ algunos de los iones del aluminio reaccionan con las partículas coloidales presentes y el resto se precipita como hidróxido de aluminio ($Al(OH)_3$), donde a pH por debajo de 6,00, el hidróxido de aluminio es soluble, Además, algunos iones de hidrogeno también reaccionan con las partículas coloidales, pero la mayoría neutralizan los carbonatos y bicarbonatos para reducir la alcalinidad y suprimir el pH (Boyd 1979). Es pertinente resaltar que estos valores de pH se encuentran fuera de los valores mínimos permitidos para los vertimientos a cuerpos de agua superficiales en Colombia y se debería adicionar otros compuestos al agua tratada para regular este parámetro.

Resultados obtenidos por Aboulhassan et al. (2005) quienes realizaron un estudio para evaluar la acción coagulante-floculante y la reducción del DQO de un floculante natural a base de sustancias tánicas vegetales (Polysep 3000) en una muestra de agua industrial, en comparación con dos controles químicos: sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Cloruro de férrico ($FeCl_3$); ($Al_2(SO_4)_3$) fue el más efectivo, removiendo 87,20% y el otro control químico y el floculante natural removieron 57,4% y 50,20% respectivamente; en este estudio se observó que tanto el control como Acacia- NH_4Cl obtuvieron una remoción del 65,73% del DQO, pero además Acacia-Etanolamina + Acacia- NH_4Cl obtuvo 65,45% y Acacia-Etanolamina +Quebracho-

Dietanolamina el 62,57% (fig. 5), Otros floculantes de origen natural tampoco han tenido un alto desempeño en la disminución del DQO, Effendi et al. (2015) describe como el floculante natural a base de la semilla de *Moringa oleifera* en lugar de disminuir el DQO inicial de 3712,5 MG/L lo incrementa hasta 9652,5 MG/L, lo cual se vio principalmente afectado debido a la incidencia de sustancias orgánicas propias de la semillas de *Moringa oleifera*.

Investigaciones indican que un valor de ORP de ≥ 650 mV es necesario para lograr una completa desinfección del agua, de 650 a 700 mv bacterias como *E. coli* y *Salmonella spp.* son suprimidas de los cuerpos de agua en 30 segundos y que levaduras y hongos formadores de esporas sensibles pueden demorarse unos pocos minutos más (Suslow 2004, WHO 2011, Copeland y Lytle 2014), en lugar de realizar pruebas microbiológicas se puede realizar pruebas de potencial de óxido reducción y así poder conocer el estado de desinfección de las aguas (Suslow 2004 y Copeland y Lytle 2014). En el transcurso del proyecto no se encontraron resultados como los mencionados previamente, aunque el control químico fue el más aumento el ORP no logro el valor para la desinfección, el valor máximo que se logró obtener fue en la muestra sintética de 9,07 a 95,3 mV, de los biofloculantes Acacia-Etanolamina fue la que más aumento el ORP en comparación a los demás biofloculantes fue en la muestra sintética de 9,07 a 33,43 mV (fig. 6).

La conductividad eléctrica se ha investigado como un marcador de contaminación de aguas residuales, puesto que su medición es útil para proporcionar una proyección del nivel de contaminación en asociación con las concentraciones de contaminantes emergentes, es un indicador indirecto de la contaminación. Altos valores generalmente se asocian con aguas residuales y es un parámetro de la calidad del agua bien establecido (Ribeiro de Sousa et al. 2014). En una investigación realizada por Shak y Wu (2015) utilizando la goma de la semilla de *Cassia obtusifolia* coadyuvado con alumbre para tratar aguas residuales de alta resistencia, la conductividad aumentó cuando se usó el sulfato de aluminio por separado, no obstante cuando se utilizó la goma sola, se registró la menor conductividad eléctrica, no se observaron grandes cambios en la conductividad cuando se administró el sulfato de aluminio asistido con la goma de la semilla de *C. btusifolia*. El aumento se debe a la disociación de ácido después de un ajuste de pH (alta concentración de hidrogeno) porque la adición de sales de la disolución de alumbre durante el tratamiento contribuye al aumento de la conductividad, que a su vez baja el pH. Así

mismo en ausencia del ajuste de pH y reducción de la dosis del alumbre en el tratamiento cambiando resulto en una menor conductividad (Shak y Wu 2015).

Ribeiro de Sousa et al. (2014) evaluaron el uso de marcadores químicos de fuentes antropogénicas para determinar la contaminación de agua dulce superficial debido a las aguas residuales, empleando correlaciones observadas entre los parámetros físico-químicos, como la conductividad eléctrica y la concentración de diferentes compuestos orgánicos emergentes y encontró una alta correlación con la concentración de diferentes medicamentos y la conductividad eléctrica. En el presente estudio, se obtuvieron resultados congruentes con los estudios descritos previamente, debido a que en la primera y segunda muestra, tanto con el control como con los biofloculantes aumentaron los valores de la conductividad Contrastando con la tercera muestra residual, en el agua sintética se obtuvo una disminución de la conductividad, tanto con el control como con los biofloculantes, que superaron al control; Quebracho-Dietanolamina + Acacia-NH₄Cl obtuvo valores de 0,3 mS/cm, Quebracho-Dietanolamina, Acacia-NH₄Cl y Acacia-Etanolamina+ Acacia-NH₄Cl valores de 0,39 mS/cm cuando inicialmente tenía 0,78 mS/cm, debido a la estrecha relación que tienen las sales disueltas en la columna de agua se puede inferir que la muestra sintética no es de hecho una muestra residual, ya que no hay un incremento en la concentración de los iones de cloruro característicos de la dieta humana (fig.7).

Los nitratos y nitritos que son difíciles de erradicar, con frecuencia se encuentran contaminando fuentes de agua superficial y subterránea se deben principalmente a contaminación por aguas residuales y escorrentía agrícola (WHO 2011). El incremento o descenso del contenido de nitrógeno se debe principalmente a las bacterias, quienes requieren de una fuente de carbono y en ausencia de oxígeno usan el nitrato (NO₃-N) como aceptor final de electrones (Narmadha y Kavitha 2012). Se debe desinfectar el agua para minimizar el riesgo de infecciones gastrointestinales, como de otras patologías (WHO 2011, Sharmilla et al. 2013).

Sharmilla et al. (2013) realiza un análisis del efecto del extracto de las hojas de *Moringa oleifera* para la clarificación, sedimentación y reducción de la dureza en aguas residuales domésticas, donde se efectuaron dos tratamientos con 5 y 10 ml de extracto etílico de *M. oleifera*. A los 3 días se pudo observar la disminución de la concentración de nitratos, que los cual descendieron un 56,86% y un 65,09% respectivamente. En un análisis de parámetros físico-químicos y biológicos

de un tratamiento de agua residual domestica usando floculantes naturales a base de estiércol equino y bovino, el mayor descenso se vio cuando el agua fue tratada con los floculantes naturales (Narmadha y Kavitha 2012). Los resultados obtenidos en el presente estudio presentan un comportamiento similar a los estudios previamente mencionados, ya que en el agua residual domestica de lavandería se obtuvo un 100% de remoción de nitratos para los biofloculantes: Acacia-Etanolamina, Acacia-Etanolamina+ Quebracho-Dietanolamina, Acacia-Etanolamina+ Acacia- NH_4Cl y Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH_4Cl a diferencia del control químico con el cual solo registró un descenso del 51,92%. Para el agua colectada en el canal rio salitre se obtuvo un porcentaje de remoción del nitratos de 100% con: Acacia-Etanolamina+ Quebracho-Dietanolamina, 93,92% con Acacia-Etanolamina+ Acacia- NH_4Cl y con el control 88,97%. En el agua sintética se obtuvo un poder reductor de 96,07% con Acacia-Etanolamina+ Acacia- NH_4Cl y 88,8% con Acacia- NH_4Cl , el control obtuvo una remoción del 93,86% de nitratos (Fig. 8). Por otra parte, se reportaron inicialmente niveles de 0,12 MG/L de nitritos en el agua residual doméstica y se llegaron a reducir al 66,67% mediados por Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH_4Cl y 58,33% con Acacia-Etanolamina+ Quebracho-Dietanolamina, Acacia-Etanolamina+ Acacia- NH_4Cl y Acacia- NH_4Cl , así pues el control consiguió niveles de reducción del 50%, por el contrario en la segunda muestra después del tratamiento con los biofloculantes se obtuvieron porcentajes de remoción de nitritos de 82,35% con Acacia-Etanolamina+ Quebracho-Dietanolamina, 64,7% con Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH_4Cl y 47,05% con Acacia-Etanolamina+ Acacia- NH_4Cl al igual que el control. En la muestra sintética así como el control químico 4 floculantes naturales lograron disminuir los nitritos un 62,2% (Acacia-Etanolamina, Quebracho-Dietanolamina, Acacia- NH_4Cl y Acacia-Etanolamina+ Quebracho-Dietanolamina) (Fig. 9). Como se puede evidenciar en el párrafo anterior se obtienen mejores porcentajes de remoción de nitratos y nitritos con los floculantes de origen natural tanto a base de tejidos vegetales, animales o incluso a base de estiércol de diferentes animales que cuando es utilizado el floculante de origen químico; esto es importante debido a las enfermedades que podría generar el aumento de los nitratos y nitritos en los cuerpos de agua.

8.3. Parámetros Biológicos

Los floculantes naturales con los que se logró mejores porcentajes de remoción a nivel microbiano fueron Quebracho-Dietanolamina y Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH_4Cl en

las tres muestras de agua; para la muestra de agua domestica de lavandería se removió el 90,14 y 95,72% de Heterótrofos totales en Agar nutritivo (fig.11) , 39,39 y 16,86% de Heterótrofos totales en Agar nutritivo adicionado con ketoconazol (fig. 12) , 97,82 y 89,65% de coliformes totales en Agar Chromocult (fig.13) y 100% de reducción de *E. coli* en Agar Chromocult (fig.14) respectivamente. En el agua colectada del rio canal salitre se registró la remoción del 100% con los dos biofloculantes de Heterótrofos totales en Agar nutritivo, Heterótrofos totales en Agar nutritivo adicionado con ketoconazol, *E. coli* en Agar Chromocult y para los coliformes totales en Agar Chromocult se obtuvo un porcentaje de remoción de 98,68% con Quebracho-Dietanolamina y el 100% con Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH₄Cl. Para la remoción de microorganismos del agua sintética se obtuvieron los siguientes porcentajes: 99,94 y 99,68% de Heterótrofos totales en Agar nutritivo, 99,66% para los dos biofloculantes de Heterótrofos totales en Agar nutritivo adicionado con ketoconazol 99,08 y 99,64% de coliformes totales en Agar Chromocult 99,24 y 97,45% de *E. coli* en Agar Chromocult con Quebracho-Dietanolamina y Quebracho-Dietanolamina + Acacia- NH₄Cl respectivamente.

Las bacterias que comúnmente se encuentran presentes en aguas superficiales son *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, estas deben ser eliminadas para poder cumplir los estándares de agua potable establecidos, igualmente se conocen especies vegetales que poseen actividades bacteriostáticas, especies como *Persea americana*, que presenta agentes antimicrobianos como saponinas, fenoles y flavonoides; además de la notable remoción de la turbidez, se reconoce la capacidad de los coagulantes a base de plantas para eliminar metales pesados y remover bacterias como *E. coli* y coliformes fecales, debido a la presencia de constituyentes fotoquímicos como alcaloides y taninos (Choy et al. 2014). Los taninos empleados para la elaboración floculantes naturales son tóxicos para los microorganismos, dado que son capaces de formar puentes de hidrogeno con las proteínas bacterianas y desactivarlas (Méndez et al. 2007).

Los coagulantes naturales, se pueden usar solos o en conjunto con coagulantes y floculantes químicos, aplicándose para reducir la turbidez y los microorganismos en aguas, ya que remueven la microbiota asociada a las partículas suspendidas (Guzmán et al. 2013). Yongabi (2004) reportó haber probado la capacidad coagulante y desinfectante de la *Moringa oleifera*, *Jatropha curcas*, *Pleurotus tuberregium sclerotium* y *Hibiscus sabdariffa*, comparándolas con el alumbre en muestras de aguas residuales, todas las especies vegetales redujeron drásticamente la carga

bacteriana e inhibieron a *Escherichia coli*, especialmente *Moringa oleífera* con la que se obtuvo una remoción de 90% de la carga bacteriana. Sánchez-Marín et al. (2009) observaron un porcentaje de remoción de 71% de coliformes totales, 59,9% de coliformes fecales y 81,1% de *Streptococcus fecales* en un análisis experimental de un floculante derivado de un tanino modificado de la madera de *Acacia mearnsii*; de la misma forma en el 2012 Sánchez-Martín et al. registraron un poder reductivo del 96-94% para coliformes totales y fecales y casi del 100% en el caso de *Streptococcus fecales* con una dosis de 16 MG/L de un extracto de la semilla de *Moringa oleífera*. De igual manera, Sánchez-Marín et al. (2010) en un estudio previamente mencionado con el uso del floculante Silvafloc determinaron su posible desinfección con un 99,9% para *Streptococcus fecales* y coliformes totales y un 70% para coliformes fecales. En el presente estudio también se generaron potenciales de reducción tan altos como los mencionados anteriormente, principalmente se vieron en las aguas post-tratamiento con Quebracho-Dietanolamina; en la primera muestra se obtuvo un porcentaje de reducción del 97,82% de coliformes totales y del 100% de *E. coli*, en la segunda muestra 98,68 y 99,24% y en la muestra sintética 90,14 y 99,24% (fig.12 y 13). La remoción de los microorganismos aumenta cuando las dosis del floculante también aumenta, teniendo en cuenta que al remover la turbidez (la cual es básicamente materia orgánica suspendida), los microorganismos pierden su estructura de soporte, permitiendo una alta tasa de eliminación (Sánchez-Marín et al. 2010). Aun así la desinfección secundaria es crucial para poder alcanzar y garantizar los niveles exigidos para la calidad del agua (Choy et al. 2014). Se aconseja que sistemas como la filtración lenta de arena pueden mejorar la eliminación de microorganismos con el fin de mejorar la calidad del agua (Sánchez-Marín et al. 2012).

La concentración inhibitoria (CI_{50}) para la germinación de las semillas de *Lactuca sativa L.* var. Crispa Cultivar. Milanesa se encuentra en la concentración de 8,25% de los floculantes Acacia-Etanolamina, Acacia-Etanolamina+Acacia-NH₄Cl y Quebracho-Dietanolamina+ Acacia-NH₄Cl que corresponde a 4125 mg/L, CI_{50} de 15,5% (7750mg/L) de Quebracho-Dietanolamina y el control (Tabla. 5 y Fig. 15). La concentración inhibitoria (CI_{50}) en la elongación de la radícula como un efecto subletal no se pudo evidenciar, ya que desde la primera concentración se vio una inhibición superior al 50% de la misma (Tabla. 6 y Fig. 16). La inhibición del hipocótilo se encuentra entre el 1% y el 8,25% para todos los biofloculantes y antes del 1% para el control químico (Tabla. 7 y Fig. 17). Se evidenció que aunque a concentraciones bajas el control

químico tenga un porcentaje alto de germinación, tiene además un alto porcentaje de inhibición en la radícula e hipocótilo, los cuales son efectos subletales y que permiten cuantificar el efecto tóxico de los compuestos solubles presentes en niveles de concentración tan bajos que no son suficientes para inhibir la germinación pero que sin embargo pueden retardar o inhibir completamente los procesos de elongación de la radícula o del hipocótilo (Sobrero y Ronco 2008). Siti Aisyah et al. (2014) evaluaron el desempeño de un polímero sintético orgánico (poliacrilamida) y polímeros orgánicos naturales (pectina) como floculantes para el tratamiento de aguas residuales, sin embargo se le atribuía toxicidad al tratamiento con poliacrilamida comparado con el floculante natural, realizaron un bioensayo con semillas de *Lactuca sativa* y se encontró una concentración letal (CL_{50}) de 17% y 34% respectivamente, indicando la baja toxicidad de los floculantes naturales al compararla con la poliacrilamida, como se puede constatar en este estudio, ya que incluso a concentraciones de 4125 MG/L (que para este estudio fueron tomados como concentraciones bajas) tuvieron altos índices germinativos.

9. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

El uso de floculantes naturales a base de taninos como los enunciados en este trabajo tiene diversas ventajas al ser empleados en la clarificación de aguas residuales, como por ejemplo que a los floculantes químicos como el sulfato de aluminio empleado como control en el transcurso de este trabajo se les han atribuido grandes incidencias epidemiológicas, y que por el contrario el uso de floculantes naturales suelen ser ecológicos, no tóxicos y seguros para su uso, además se conoce que después del empleo de floculantes químicos es necesario un ajuste de pH aumentando los costes de producción; no obstante los floculantes naturales tienen una producción sencilla por medio de una modificación de los taninos por la medio de la reacción de Mannich.

Se encontró que los biofloculantes con capacidades superiores para mejorar los parámetros analizados de los utilizados para el estudio son, en primer lugar Quebracho-Dietanolamina + Acacia-A NH_4Cl , seguido de Quebracho-Dietanolamina y de Acacia-Etanolamina+ Acacia-A NH_4Cl .

Quebracho-Dietanolamina + Acacia-A NH_4Cl demostró gran capacidad en la remoción de la turbidez, color, Sólidos totales, Sólidos disueltos totales, DQO, nitratos, nitritos, conductividad y en general a la reducción de los microorganismos. Quebracho-Dietanolamina se destacó en el porcentaje de remoción de microorganismos, sólidos suspendidos totales, color y conductividad. Acacia-Etanolamina+ Acacia-A NH_4Cl al igual que los otros dos biofloculantes se destacó en la remoción de la turbidez, remoción de sólidos totales, DQO, nitratos, nitritos y conductividad.

El único floculante que afectó el pH drásticamente fue el del control químico. Los demás biofloculantes estudiados no alteraron el pH; manteniendo la tendencia a neutro . En el análisis del ORP no se obtienen resultados concluyentes de la esterilidad del agua después de la floculación-coagulación, aunque si se ve un marcado descenso de las UFC/mL, Esto pudo deberse a que la unidad muestral tomada para las diluciones y posterior siembra en los medios de cultivo haya sido poco representativa. Es pertinente también mencionar que después de la etapa de la coagulación-floculación el agua tratada deberá ser llevada a etapas posteriores donde tendrá tratamientos biológicos, físicos y químicos donde se podrá reducir la carga bacteriana.

Se constataron varios factores que podrían afectar el proceso de coagulación-floculación como la concentración de materia orgánica inicial en el agua residual, la dosis del floculantes y el pH inicial, por lo cual se deben tener en cuenta cada vez que se colecta una muestra de agua, ya que cada muestra de agua contiene diferentes características iniciales y por ello la determinación de la dosis requerida de cada floculante varía dependiendo del agua residual inicial y para ello se debe realizar un screening inicial. Esto indica que para determinar la dosis adecuada de floculante, deberá ser caracterizada la muestra de la corriente objeto del tratamiento.

Durante el desarrollo del bioensayo con *Lactuca sativa* L. en este estudio se encontró que las concentraciones inhibitorias (CI_{50}) tanto para la germinación de la semilla como para la elongación del hipocótilo como un efecto subletal se encuentran en 1 y 8,25% (en algunos casos 15,5%) y además, como se pudo evidenciar en la gráfica de la elongación de la radícula, que parece ser más sensible a los tóxicos, ya que su (CI_{50}) no se pudo calcular debido a que es inferior a la menor concentración (1%); se recomienda efectuar otro ensayo donde se realicen diluciones desde intervalos menores a 1% hasta 15,5%.

10. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Aboulhassan MA, Souabi S, Yaacoubi A y Baudu M (2005) treatment of textile wastewater using a natural flocculant. *Environmental technology* 26:705-7011 DOI: [10.1080/09593330.2001.9619510](https://doi.org/10.1080/09593330.2001.9619510).

Aguilar MI, Sáez J, Lloréns M, Soler A y Ortuño JF (2002) Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación-Floculación. Universidad de Murcia, España.

American Public Health Association, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation (1989) Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Díaz de santos Madrid, España.

Baroody T y Palmisano R (2015) Alcalinizarse y ionizarse para vivir sanos más tiempo. Centro. Estudio S.A.P.I.O, Italia.

Beltrán-Heredia J y Sánchez-Martín J (2009) Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. *Desalination* 249:353-358.

Beltrán-Heredia J, Sánchez-Martín J y Dávila-Acedo M.A (2011) Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. *Journal of Hazardous Materials* 186:1704-1712 doi:[10.1016/j.jhazmat.2010.12.075](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.075).

Beltrán-Heredia J, Sánchez-Martín J y Gómez-Muños MC (2010) New coagulant agents from tannin extracts: preliminary optimization studies. *Chemical engineering journal* 162: 1019-1025.

Bhalcahndra A y Kishen J (2013) Drinking water disinfection techniques. Taylor y Francis Group Boca Raton, U.S.A.

Boluda R, Quintanilla JF, Bonilla JA, Sáez E, Gamón M (2002) Application of the Microtox test and pollution indices to the study of water toxicity in the Albufera natura park (Valencia, Spain). *Chemosphere* 46, 355-369.

Boyd C (1979) Aluminium sulfate (alum) for precipitating clay turbidity from fish ponds. *Transactions of the american fisheries society* 108 (3): 3017-3013 DOI:10.1577/1548-8659(1979)108<307:ASAFPC>2.0.CO;2.

Copeland A y Lytle D (2014) Measuring The oxidation-Reduction potencial of important oxidants in drinking water. *American Water Works Association* 106(1): E 10-E20 <http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2014.106.0002>

Choy SY, Nagendra K, Wu TY, Eshwaraiah M y Nagasundara R (2014) Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of environmental sciences* 26:2178-2189 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>.

Decreto 1594 (1984). Usos del agua y residuos líquidos. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

Díaz-Báez MC, Bustos MC y Espinosa A (2004) Prueba de toxicidad acuática: fundamentos y métodos. Unibiblos Bogotá, Colombia.

Effendi H, Delima R, Hasibuan S (2015) Moringa oleifera as coagulant for batik effluent treatment. *Research Journal of Recent Sciences* Vol. 1(3): 31-40

Environmental monitoring systems laboratory office of research and development U.S. environmental protection agency 2.0 (1993) The determination of chemical oxygen demand by semi-automated colorimetry. Método 410.4 Cincinnati, U.S.A.

Fernández A, Chávez M, Herrera F, Mas YR, Mejías D y Díaz A (2008) Evaluación del exudado gomoso de *Acacia siamea* como coagulante en la clarificación de las aguas para consumo humano. *Revista técnica de la facultad de ingeniería Universidad de Zulia* 31:32-40.

Flaten TP (2001) Aluminum as a risk factor in Alzheimer's disease with emphasis on drinking water. *Brain research bulletin* 55(2): 187-196.

Freitas T.K.F.S, Oliviera V.M, De souza M.T.F, Geraldino H.C.L, Almeida V.C, Fávaro S.L y García J.C (2015) optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. *Industrial crops and products* 76:538-544. [dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.027](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.027).

González MI, Torres T, Chiroles S y Manafi M (2009) Medios de cultivo fluorogénicos y cromogénicos y evaluación en aguas de consumo y costeras. *Higiene y salud ambiental* 9:422-430.

Guzmán L, Villabona Á, Tejada C y García R (2013) Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica* 16(1): 253 – 262.

Health link (2013) Nitratos en aguas de pozo. British Columbia.

Instituto dermatológico y cirugía de piel (IDCP), convenio “Agua para el desarrollo”, república dominicana- Haití (2010) Aprenda a prevenir las enfermedades que se relacionan con el agua y el saneamiento.

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) (2007) Determinación de *Escherichia coli* y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar Chromocult. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, república de Colombia.

Karia GL y Chirstian RA (2013) Wastewater treatment: Concepts and desing approach. 2 edition. PHI Learning private limited Surat, India.

Kirkham MB (2004) Principles of soil and plant water relations. Elsevier Manhattan, USA.

La guía Metas (2010) Medición de la turbidez en la calidad del agua. Metrólogos asociados Jalisco, México

Lallana MC, Billard CE, Elizalde JH y Lallana VH (2008) Bioensayo de germinación de germinación: determinación de calidad de agua en represas para riego. *Revista de la facultad de ciencias agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* 40(1): 29-38.

Larrea J, Rojas M, Romeu B, Rojas N y Heydrich M (2013) Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *CENIC* 44 (3):24.

Llano B, Cardona J, Ocampo D y Ríos L (2014) Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Información tecnológica* 25(3): 73-82 doi: [10.4067/S0718-07642014000300010](https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010).

Manahan SE (2007) Tratamiento del agua. En: Durán MC (ed) introducción a la química ambiental. Reverté, México D.F, México pp 205-247.

Martín FJ, Romero A, Arco M, Sierra M, Ortiz-Bernad L y Abbaslou H (2012) Assessment of arsenic toxicity in spiked soils and water solutions by the use of bioassays. *Spanish journal of soli science* 3(2): 45-56 dOI: 10.3232/SJSS.2012.V2.N3.05.

Manual de medios de cultivo (1994) Merck. Alemania.

Martínez MM, Pedroza AM y Gutiérrez V (2010) Métodos microbiológicos, físicos y químicos con aplicación ambiental, Manual de Microbiología Ambiental. Editorial USM, Santiago, Chile.

Martínez S, Vela A, Botero A, Arandia F y Mollinedo P (2010) Nuevo micro-Bioensayo de ecotoxicidad de extractos acuosos de plantas medicinales sobre *Daphnia magna*. *Revista bolivariana de química* 27(1):29-32 doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v12i1.2373>.

Méndez R et al. 2007 Producción limpia en la industria de curtiembres. Universidad de Santiago de Compostela, España.

Mendoza-Cantú A, Ramírez-Romero P y Pica-Granados Y (2007) Environmental legislation and aquatic ecotoxicology in Mexico: past, present and future scenarios. *Journal of environmental Science and Health part A* 42: 1343-1348.

Moore ER, Richards G y Story A (2008) Electrical Conductivity as an Indicator of Water Chemistry and Hydrologic Process. *Watershed Management bulletin* 11(2): 25-29.

Narmadha D y Kavitha M (2012) treatment of domestic waste water using natural flocculants. *International journal of life sciences biotechnology and pharma research* 1(3): 206-213.

Nharingo T y Moyo M (2015) Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review. *Journal of environmental management* 166:55-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.10.005>

Nollet L y De Gelder L (2014) Handbook of water analysis. CRC press Boca raton, FL U.S.A.

Nuñez M y Hurtado J (2005) Bioensayos de toxicidad aguada utilizando *Daphnia magna* straus (Cladocera, Daphniidae) desarrollada en medio de cultivo modificado. *Revista peruana de biología* 12(1):155-170 doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v12i1.2373>.

Ong S, Uchiyama K, Inadama D y Yamagiwa K (2009) Simultaneous removal of color, organic compounds and nutrients in azo dye-containing wastewater using up-flow constructed wetland. *Journal of Hazardous Materials* 165:696-703 doi:10.1016/j.jhazmat.2008.10.071

Organización mundial de la salud (2006) Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice.

Pedraza-Bucio FE y Rutiaga-Quiñones JG (2011) Extracto técnico de la madera de palo de brasil. *Conciencia Tecnológica* 42:36-41

Pedroza AM, García J, Daza C, Castellanos MP, Fernandez J, Uscategui A (2013) Remoción de colorantes sintéticos mediante el proceso Fenton heterogéneo usando Fe₂O₃ soportado en carbón activado obtenido a partir de residuos de rosas. *Universitas Scientarium* 17: 303-314.

Peña LE, Muñoz M y Espinosa AM (2001) Tratamiento de aguas residuales y su impacto ambiental sobre un ecosistema. *Revista científica* 3:91-112.

Resolución 3957 (2009). Norma técnica para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

Resolución 0631 (2015). Modifica Decreto 1594. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

Ribeiro de Sousa D, Aparecido A, Lajarim R y Fadini PS (2014) Electrical conductivity and emerging contaminant as markers of surface freshwater contamination by wastewater. *Science of the Total Environment* 484:19-26 <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.135>.

Romero JA (2004) Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Escuela colombiana de ingeniería Bogotá, Colombia.

Saduzzaman Md, Sharmila S y Jeyanthi R (2013) Efficacy of leaf extract of *Moringa oleifera* in treating domestic effluent. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 5(2):139-143.

Sánchez-Martín J, Beltrán-Heredia J y Peres JA (2012) Improvement of the flocculation process in water treatment by using *Moringa oleifera* seeds extract. *Environmental engineering* 29(3): 495-502 <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322012000300006>.

Sánchez-Martín J, González-Velasco M y Beltrán-Heredia J (2009) Acacia mearnsii de Wild Tannin-Based Flocculant in Surface Water Treatment. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 29: 119–135 DOI: 10.1080/02773810902796146.

Sánchez-Martín J, González-Velasco M y Beltrán-Heredia J (2010) Surface water treatment with tannin-based coagulants from Quebracho (*Schinopsis balansae*). *Chemical engineering journal* 165:851-858 [doi:10.1016/j.cej.2010.10.030](http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2010.10.030)

Satterfield Z (2005) Teach brief. Jar testing. *National environmental services center*. 5(1):1-4.

Sharmila S, Jeyanthi R y Saduzzaman Md (2013) Domestic waste water treatment using leaf extract of *Moringa oleifera*. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical* 4(2):833-839.

Shak KPY y Wu TY (2014) Coagulation–flocculation treatment of high-strength agro-industrial wastewater using natural *Cassia obtusifolia* seed gum: Treatment efficiencies and flocs characterization. *Chemical Engineering Journal* 256: 293–305 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.093>.

Shak KPY y Wu TY (2015) Optimized use of alum together with unmodified *Cassia obtusifolia* seed gum as a coagulant aid in treatment of palm oil mill effluent under natural pH of wastewater. *Industrial Crops and Products* 76: 1169–1178 <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.072>.

Silva MC, García MJ, Del Castillo L, Ania JM y Gómez D (2006) Técnicos especialistas de laboratorio. MAD Sevilla, España.

Silva J, Torrejón G, Bay-Schmith E y Larrain A (2003) Calibración del bioensayo de toxicidad aguda con *Daphnia pulex* (CRUSTACEA: CLADOCERA) usando un toxico de referencia. *Gayana* 67(1):87-96.

Siti Aisyah I, Siti Norfariha MN, Azlan My Norli I (2014) Comparison of Synthetic and Natural Organic Polymers as Flocculant for Textile Wastewater Treatment. *Iranica Journal of Energy y Environment* 5 (4): 436-445 DOI: 10.5829/idosi.ijee.2014.05.04.11.

Sobrero MC y Ronco A (2008) Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. in: Ramírez P y Mendoza A. Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo La experiencia en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), pp55-67.

Subramonian W, Wu TY y Chai SP (2014) A comprehensive study on coagulant performance and floc characterization of natural *Cassia obtusifolia* seed gum in treatment of raw pulp and paper mill effluent. *Industrial crops and products* 61:317-324 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.055>.

Suslow T (2004) Oxidation-Redction Potencial (ORP) for water disinfection monitoring, cotrol, and documentation. *Agriculture and Natural Resources* 8149:1-5.

Thakur SS y Choubey S (2014) Use of Tannin based natural coagulants for water treatment: An alternative to inorganic chemicals. *international Journal of ChemTech Research* 6(7)3628-3634.

Tortora G, Funke B y Case C (2007) introducción a la microbiología. Panamericana, Buenos Aires, Argentina.

Velilla I (2011) Catálisis asimétrica vía enaminas: reacciones nitrosoaldólica y de Mannich catalizadas por pirrolidinas quirales. Tesis doctoral. Facultad de química orgánica, Universidad de países vascos, España.

Weber W (1979) Control de la calidad del agua. Procesos Físicoquímicos. Editorial Reverté Barcelona, España.

World Health Organization (2011) Guidelines for drinking-water quality- 4th edition. WHO, Switzerland.

Yin (2010) Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry* 45: 1437–1444 doi:10.1016/j.procbio.2010.05.030

Yongabi KA (2004) Studies on the potential use of medicinal plants and macrofungi (lower plants) in water and wastewater purification. *African Journal of biology Research* Vol. 5(6): 628-635.

ANEXO 1

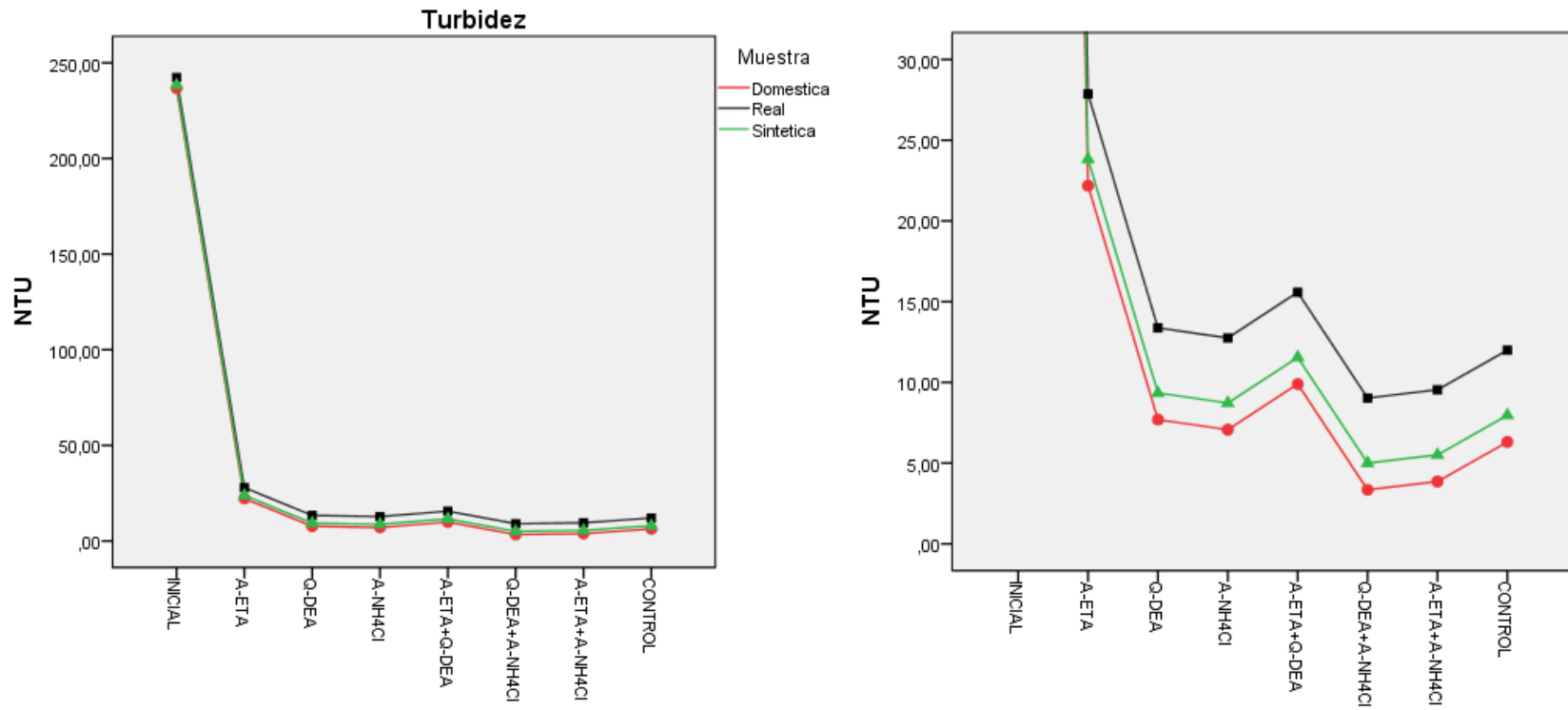


Figura 1. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de Turbidez para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

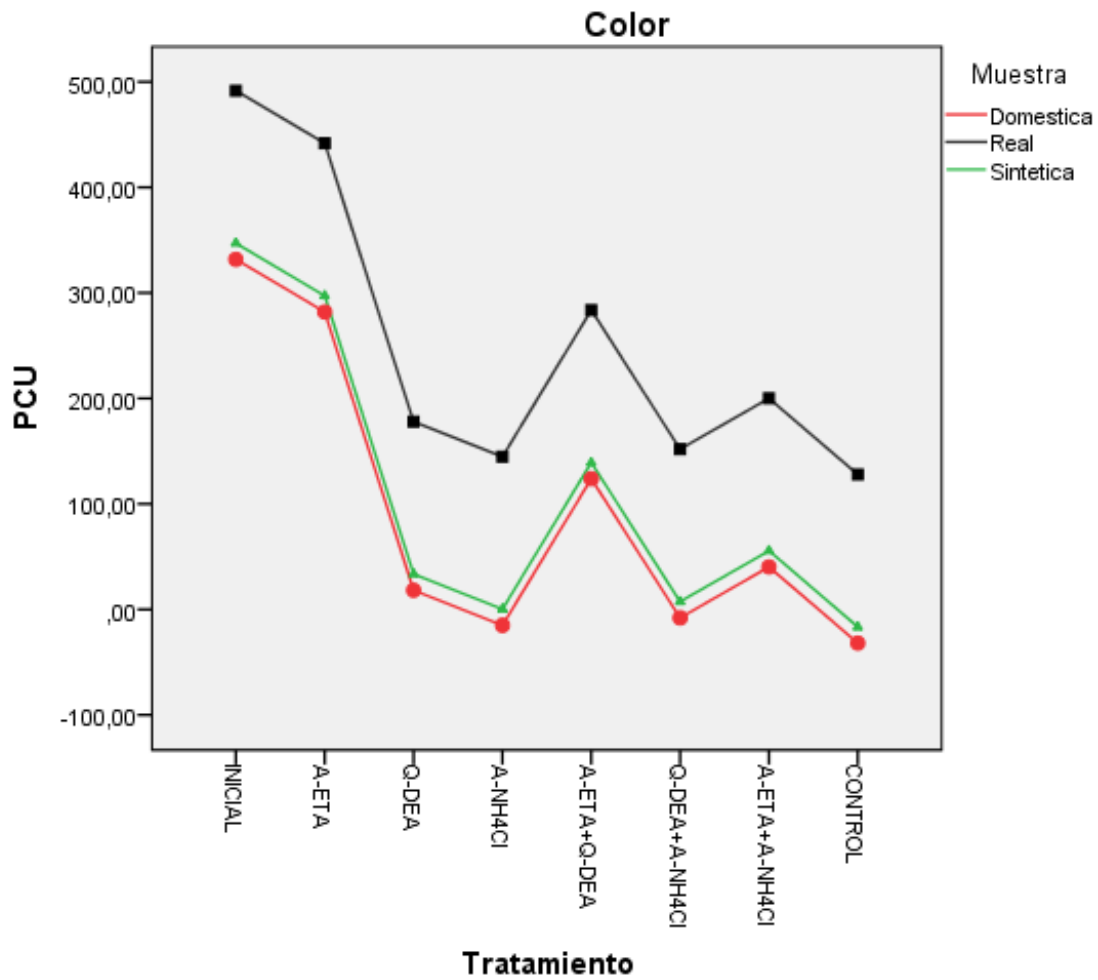


Figura 2. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de Color para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

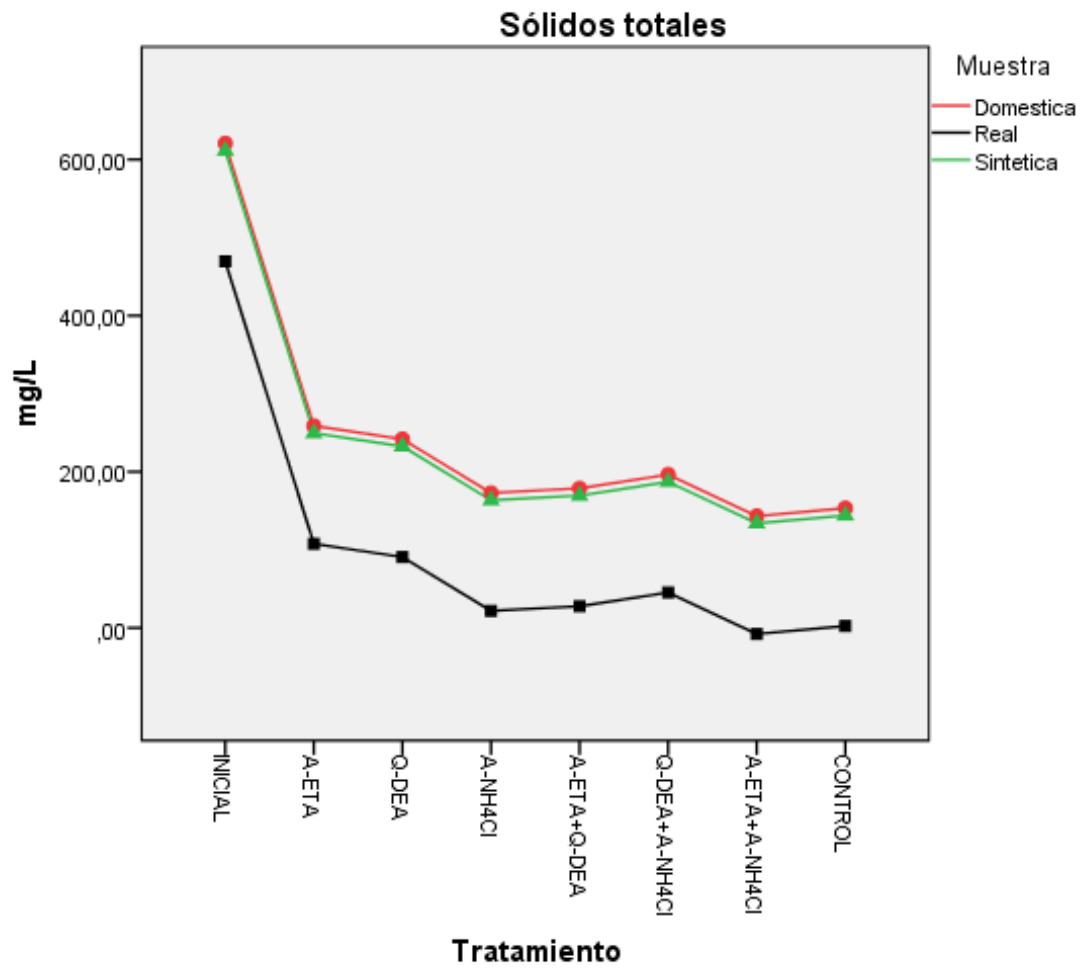


Figura 3. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de los sólidos totales para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

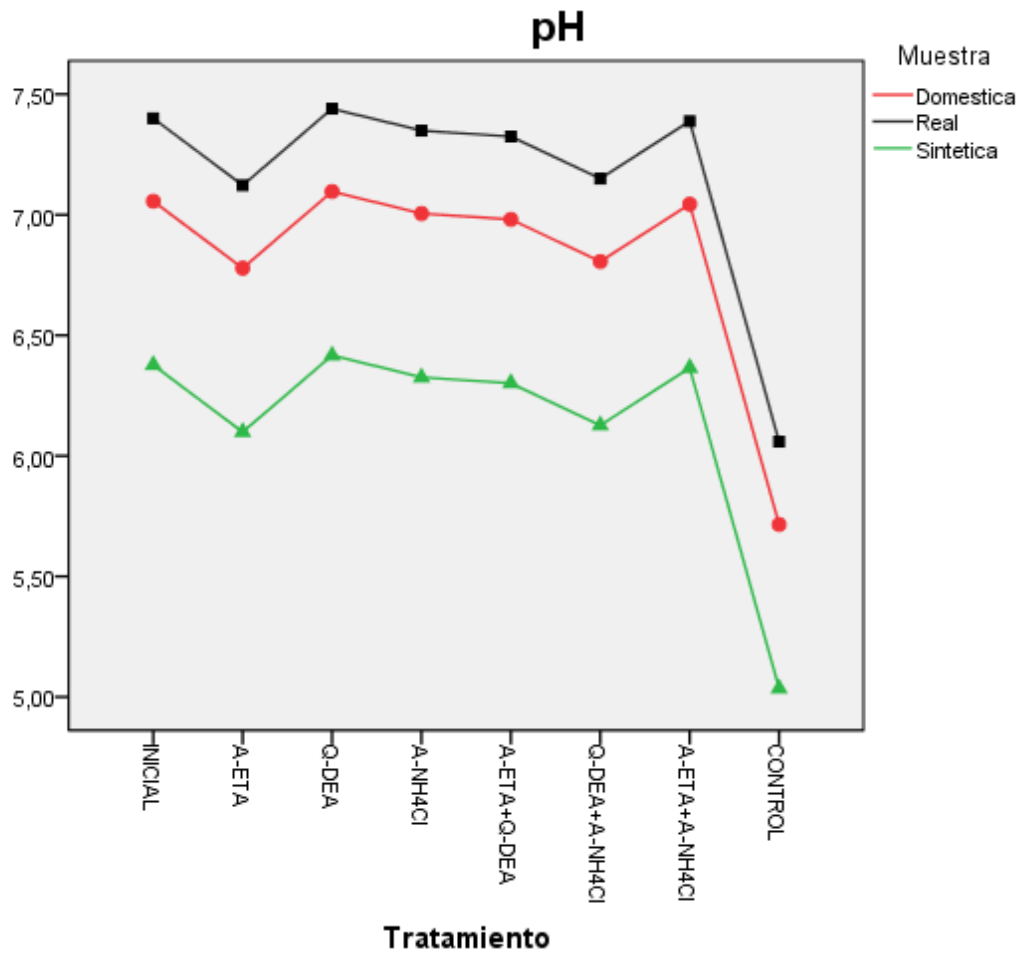


Figura 4. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de pH para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

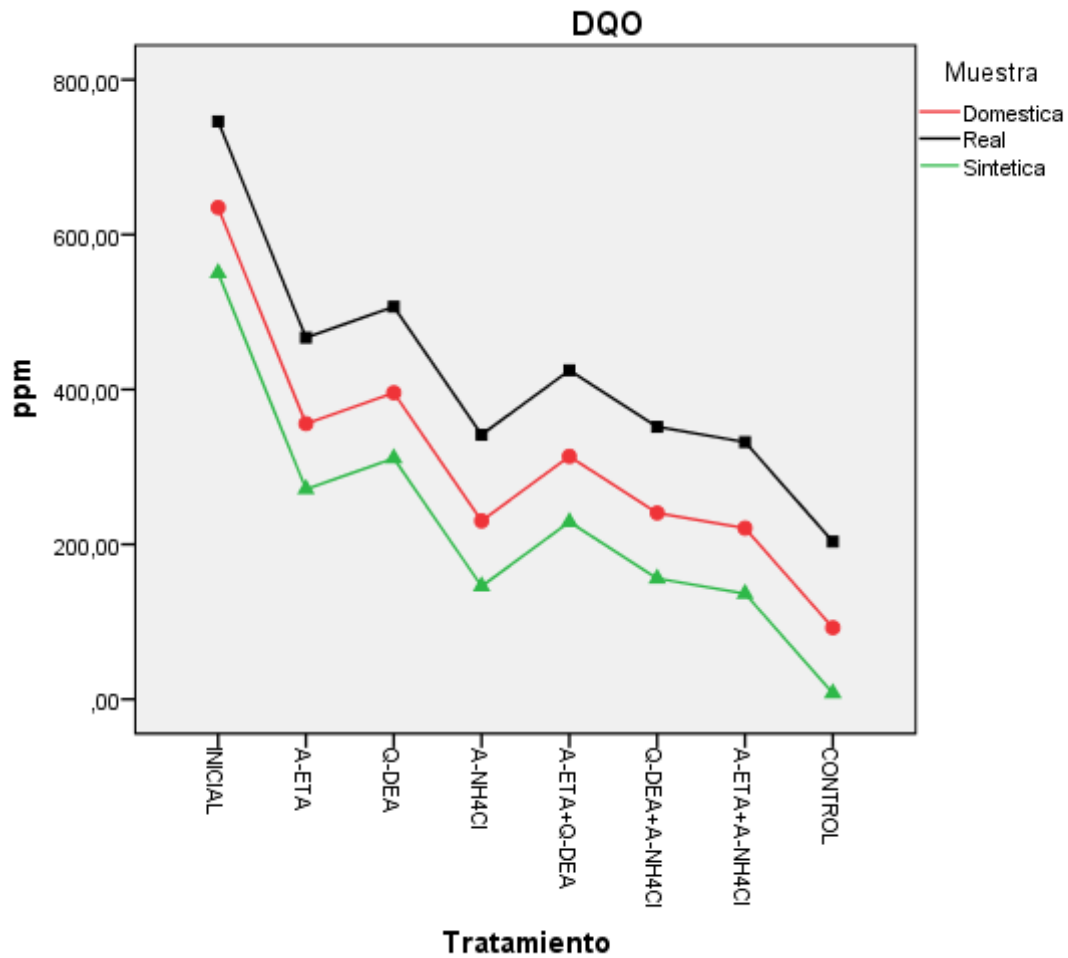


Figura 5. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de la demanda química de oxígeno (DQO) para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

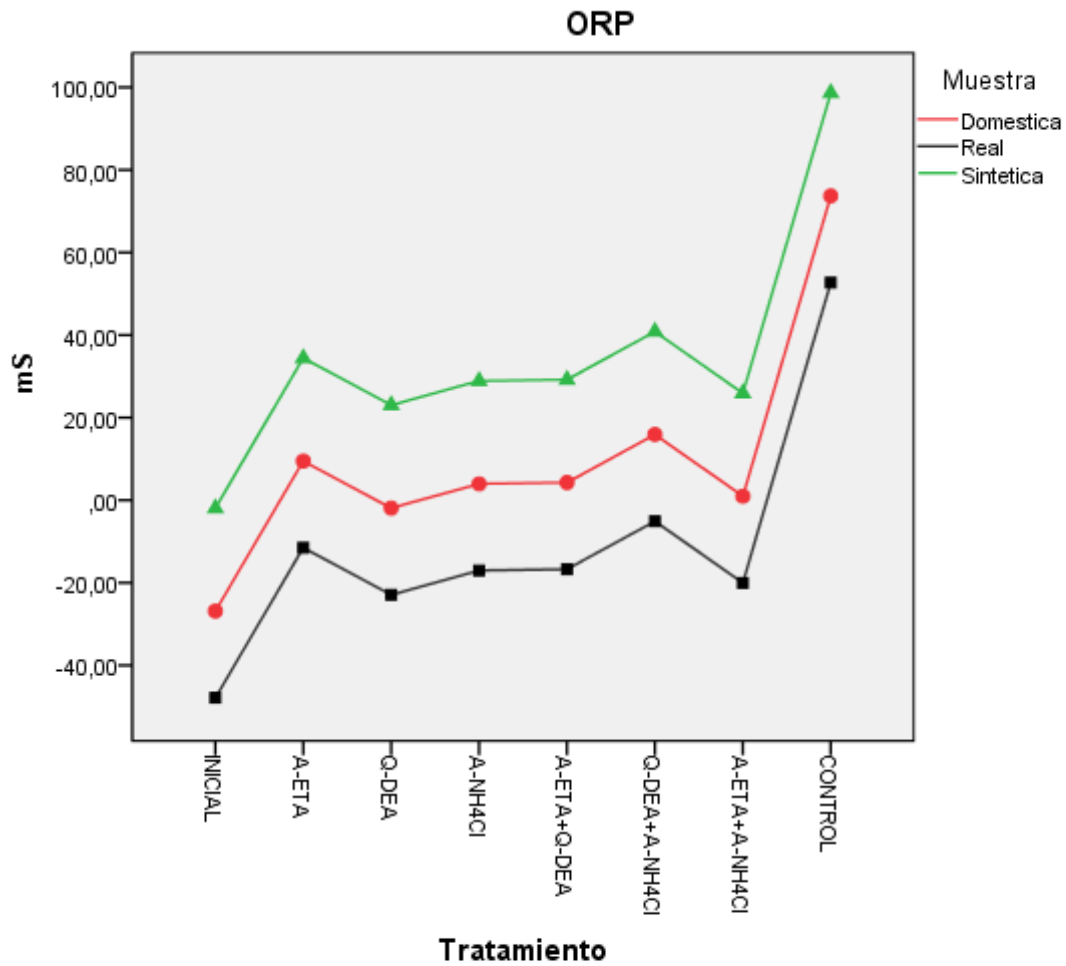


Figura 6. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de ORP para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

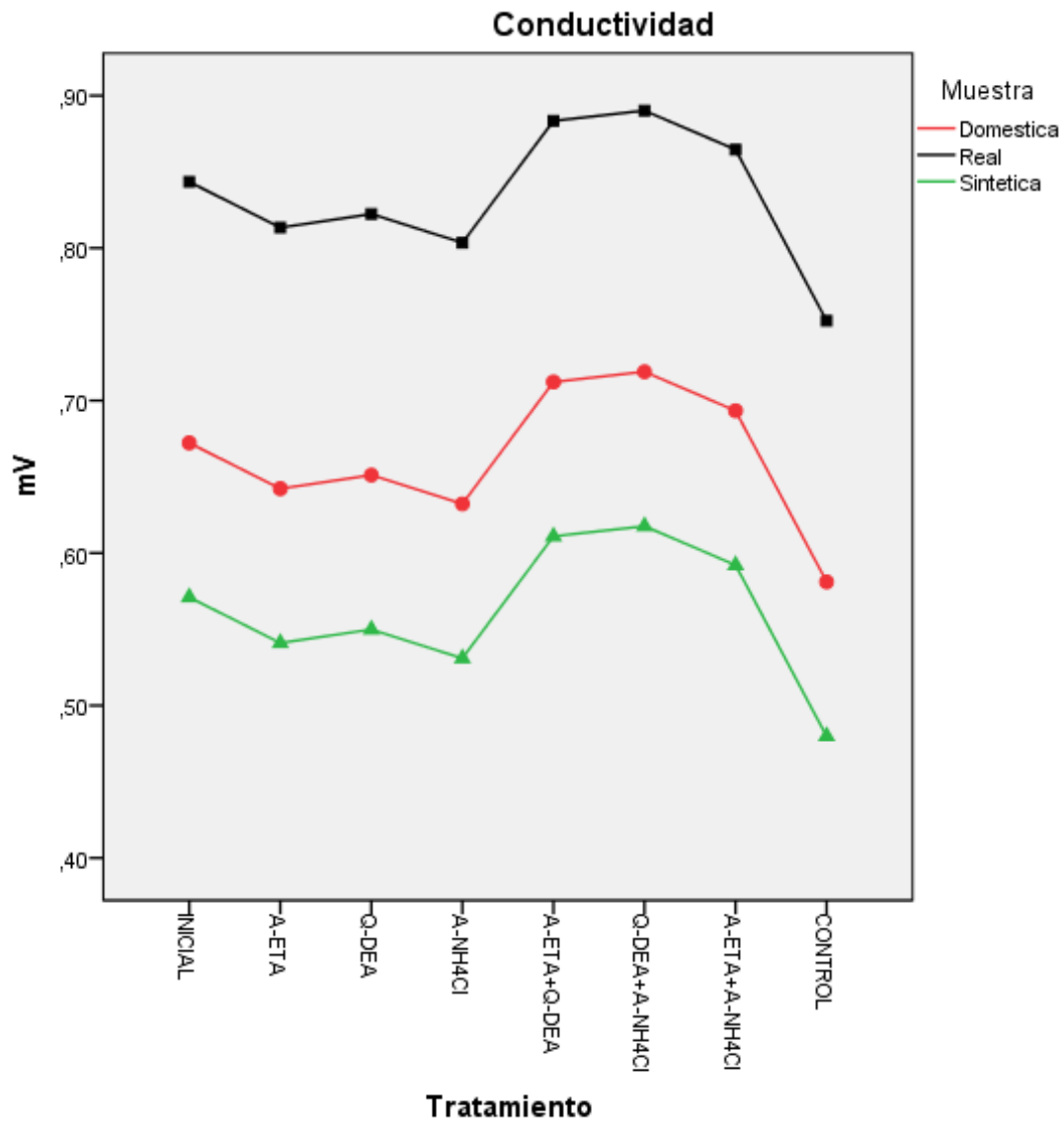


Figura 7. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de la conductividad para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

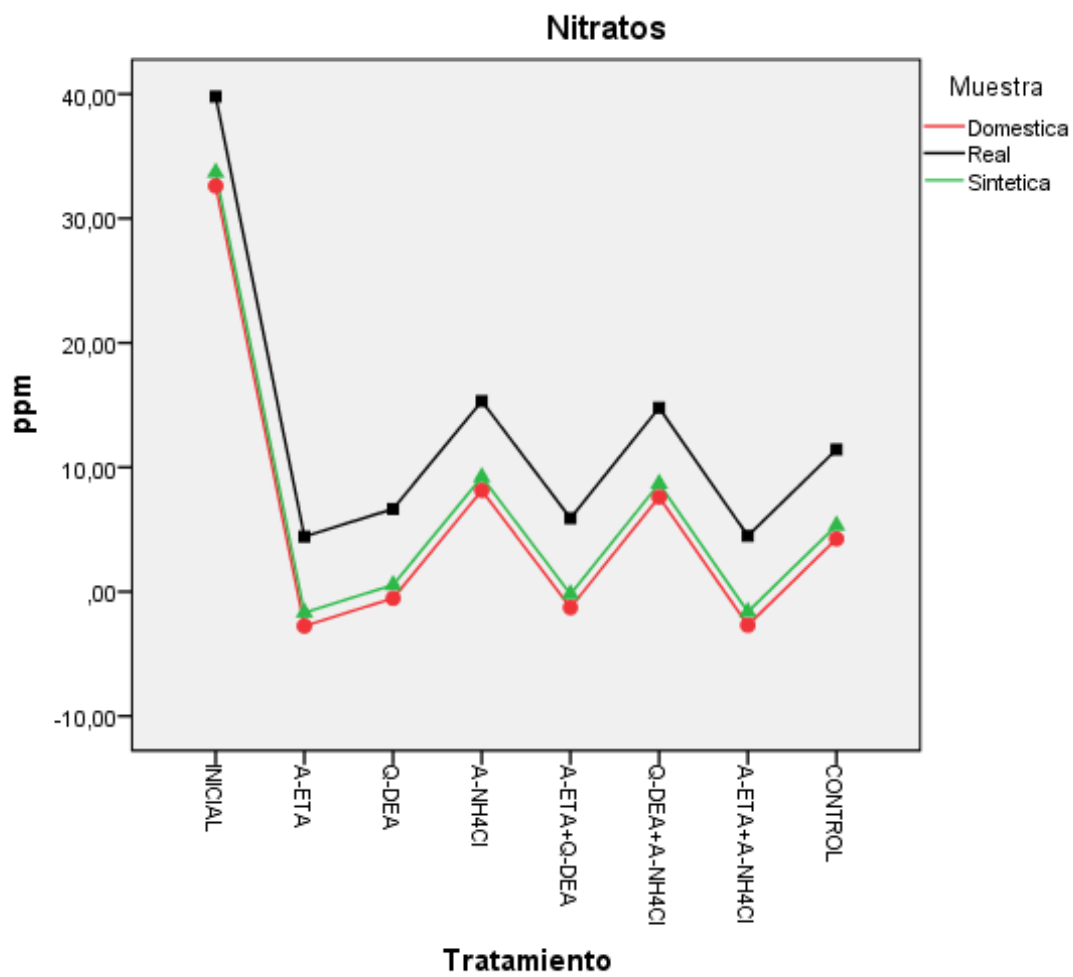


Figura 8. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de nitratos para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

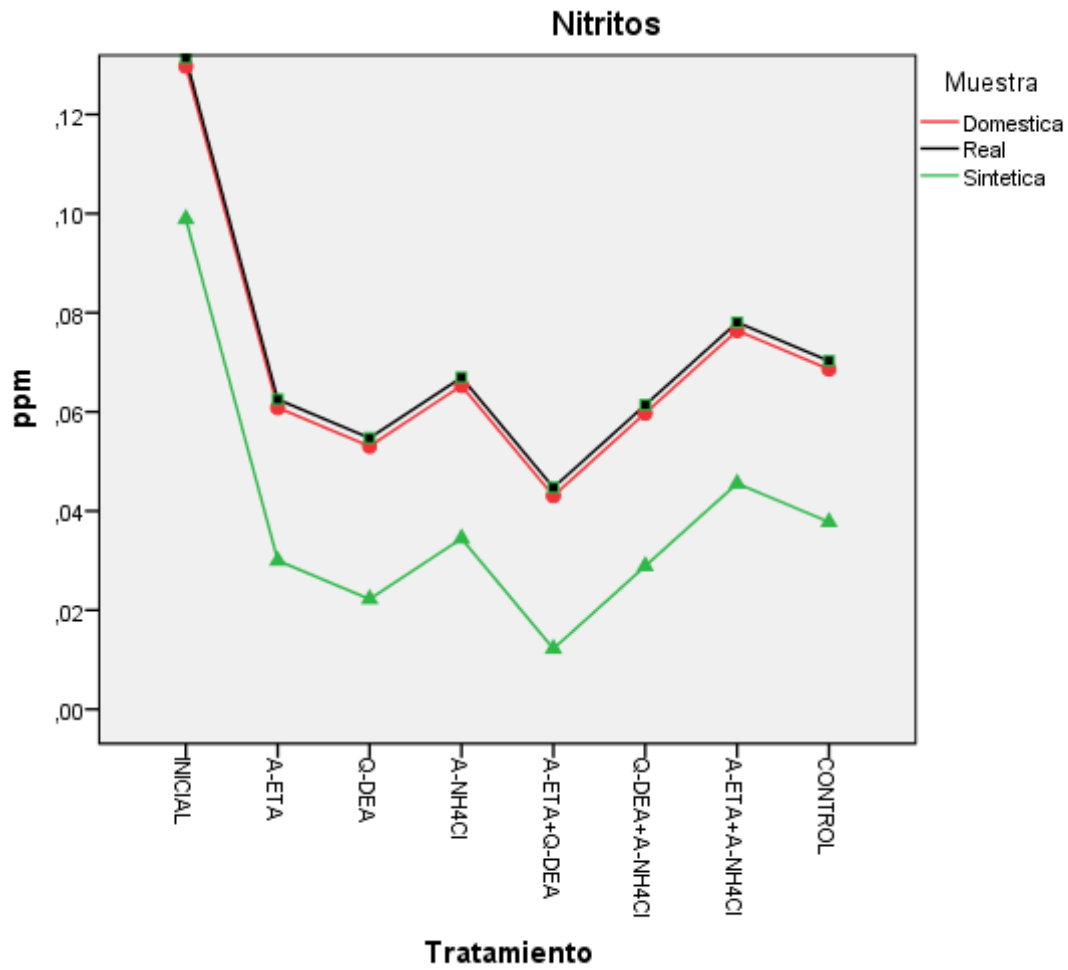


Figura 9. Comportamiento inicial y final del parámetro fisicoquímico de nitritos para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.



Figura 10. Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de Heterótrofos Totales en agar Nutritivo para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

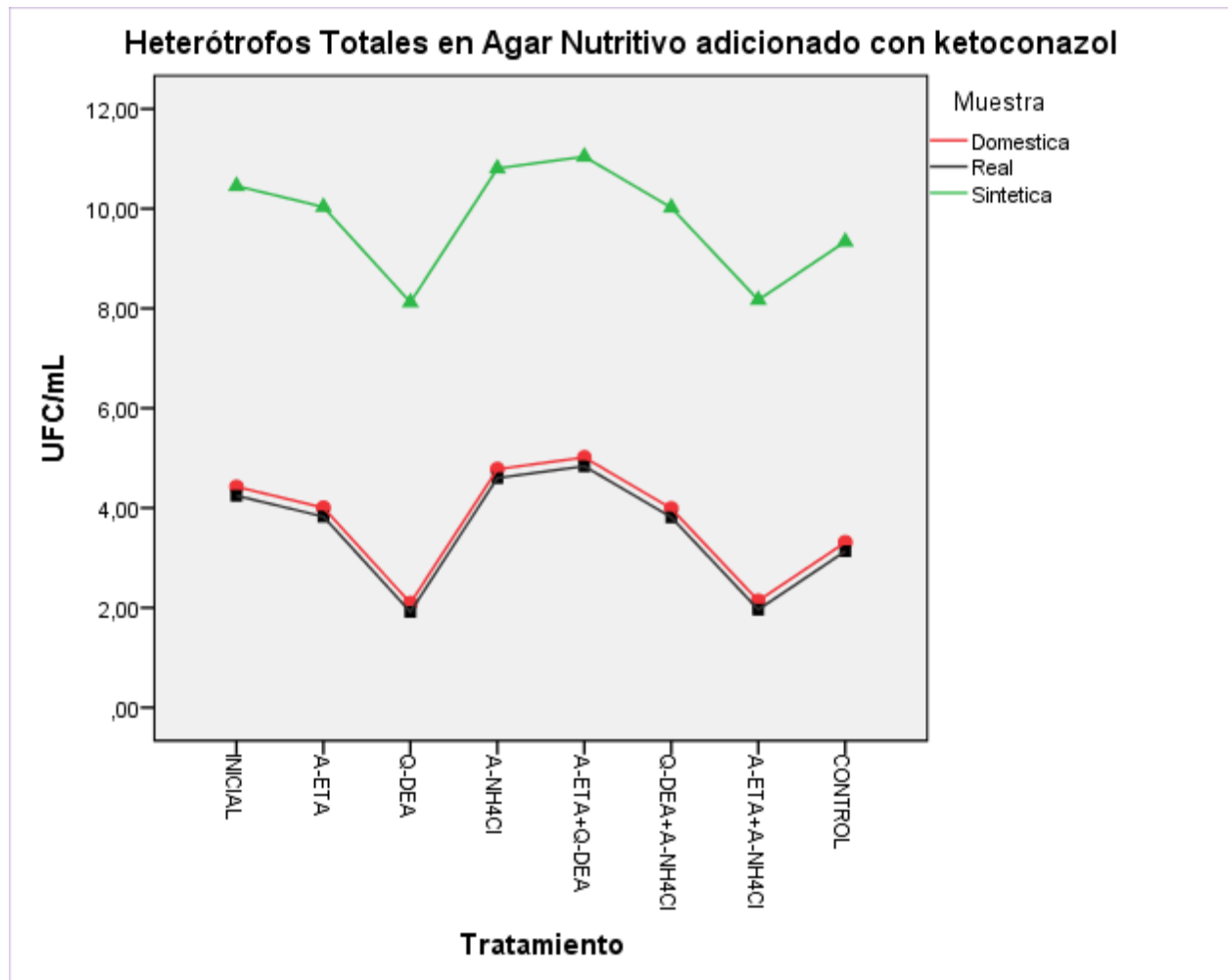


Figura 11. Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de Heterótrofos Totales en agar Nutritivo adicionado con Ketoconazol para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

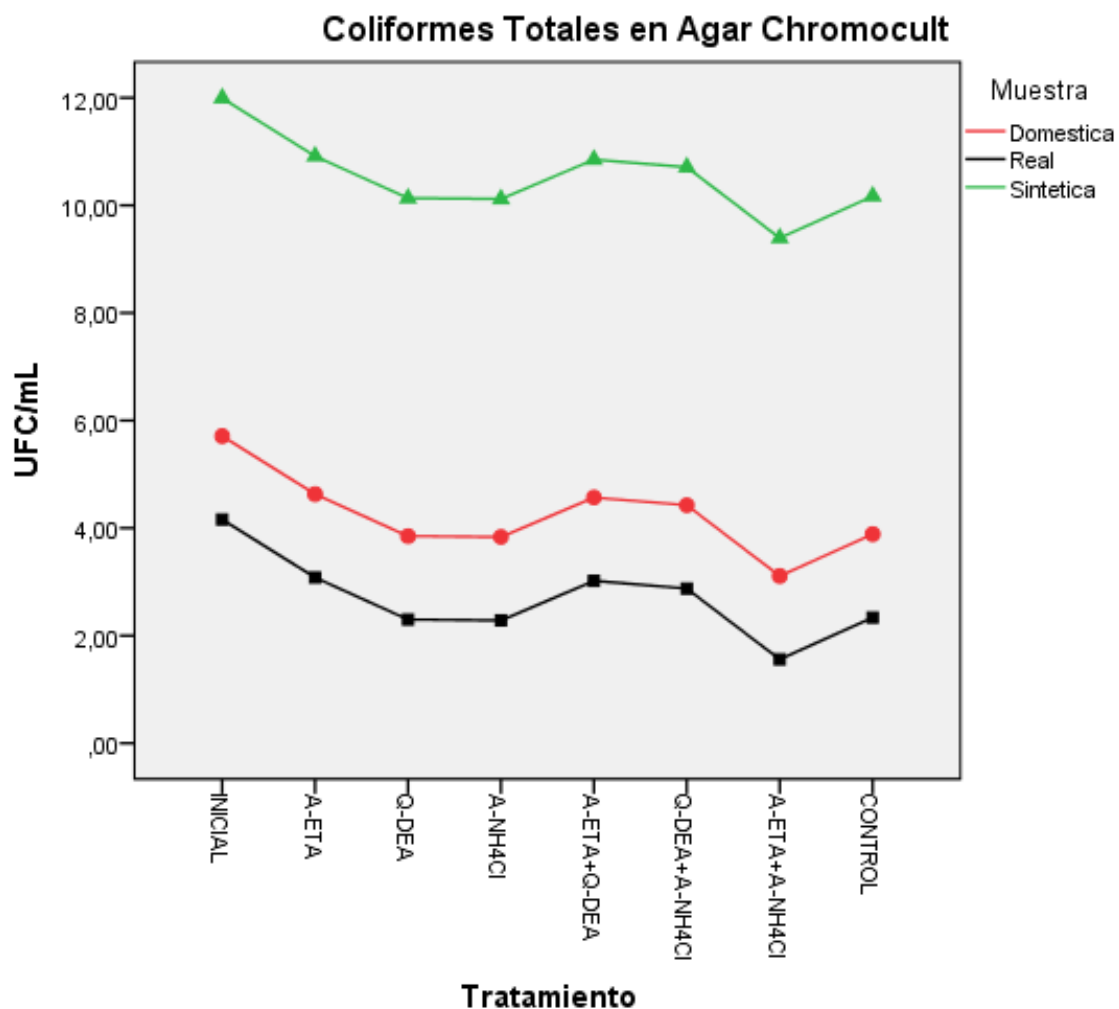


Figura 12. Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de Coliformes Totales en agar Chromocult para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

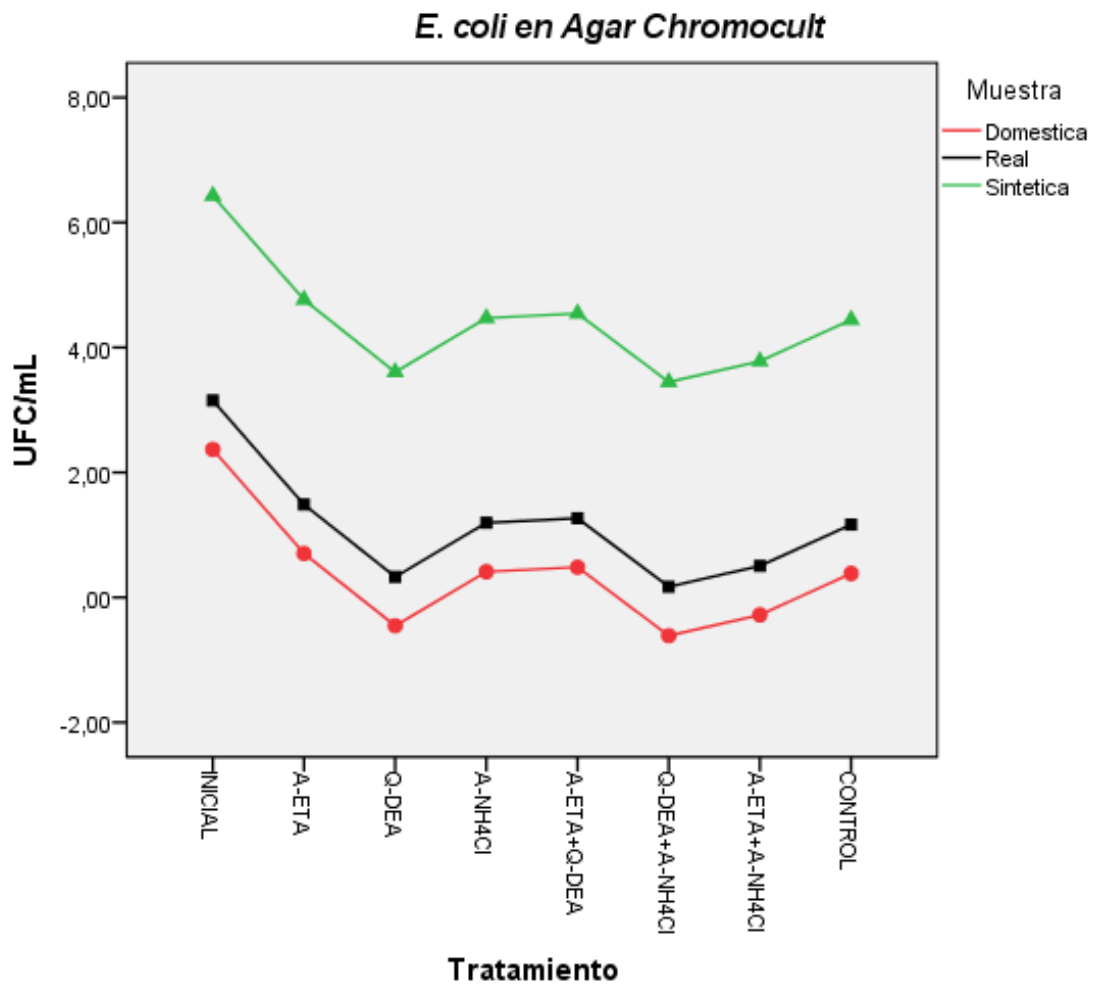


Figura 13. Comportamiento inicial y final del parámetro biológico de *E. coli* en agar Chromocult para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (control)) en tres tipos de agua residual.

Inhibición de la germinación

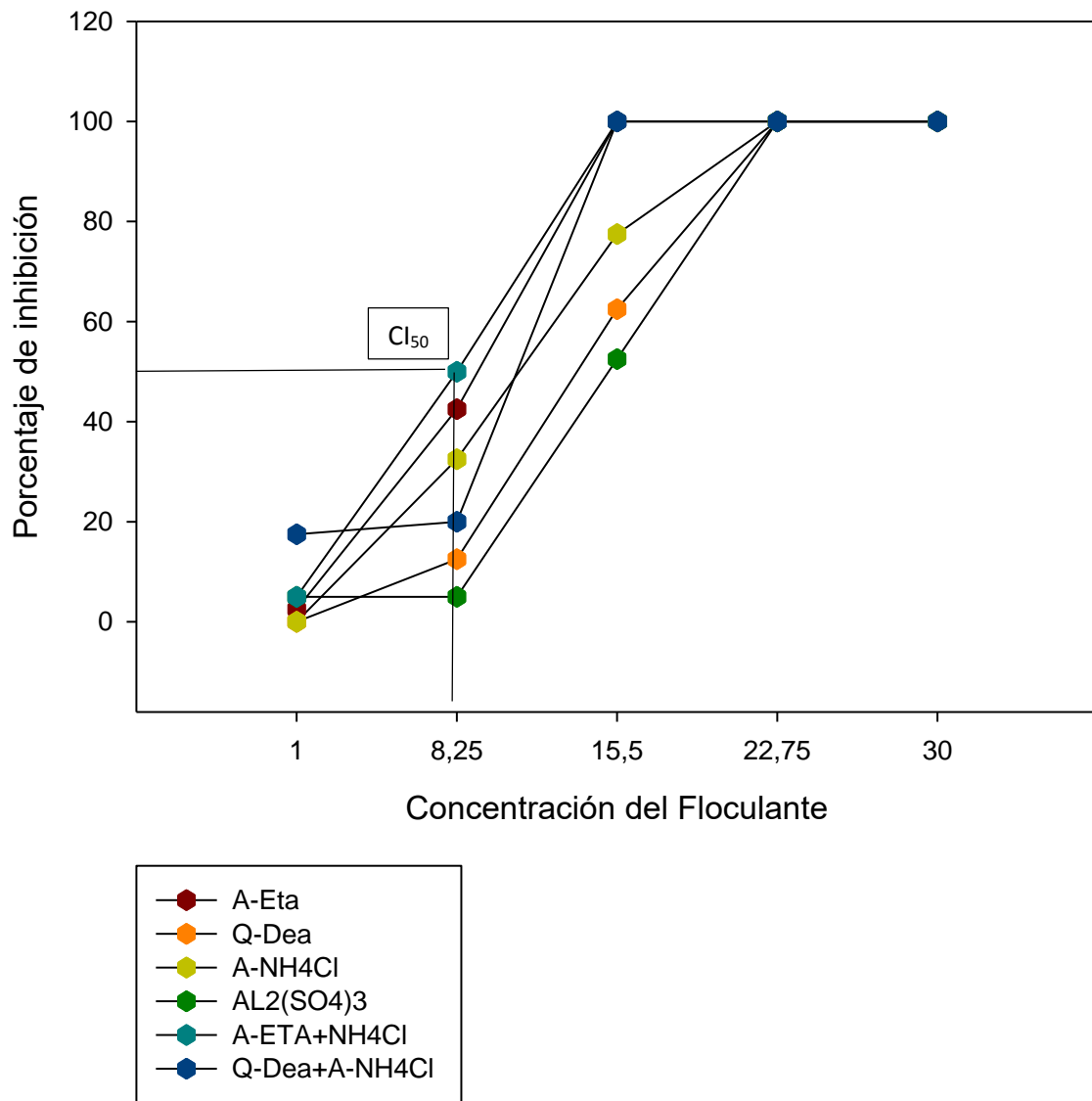


Figura 14. Porcentaje de inhibición de la germinación de la semilla de *Lactuca sativa L.* para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (AL₂(SO₄))₃).

Inhibición de la elongación de la Radícula

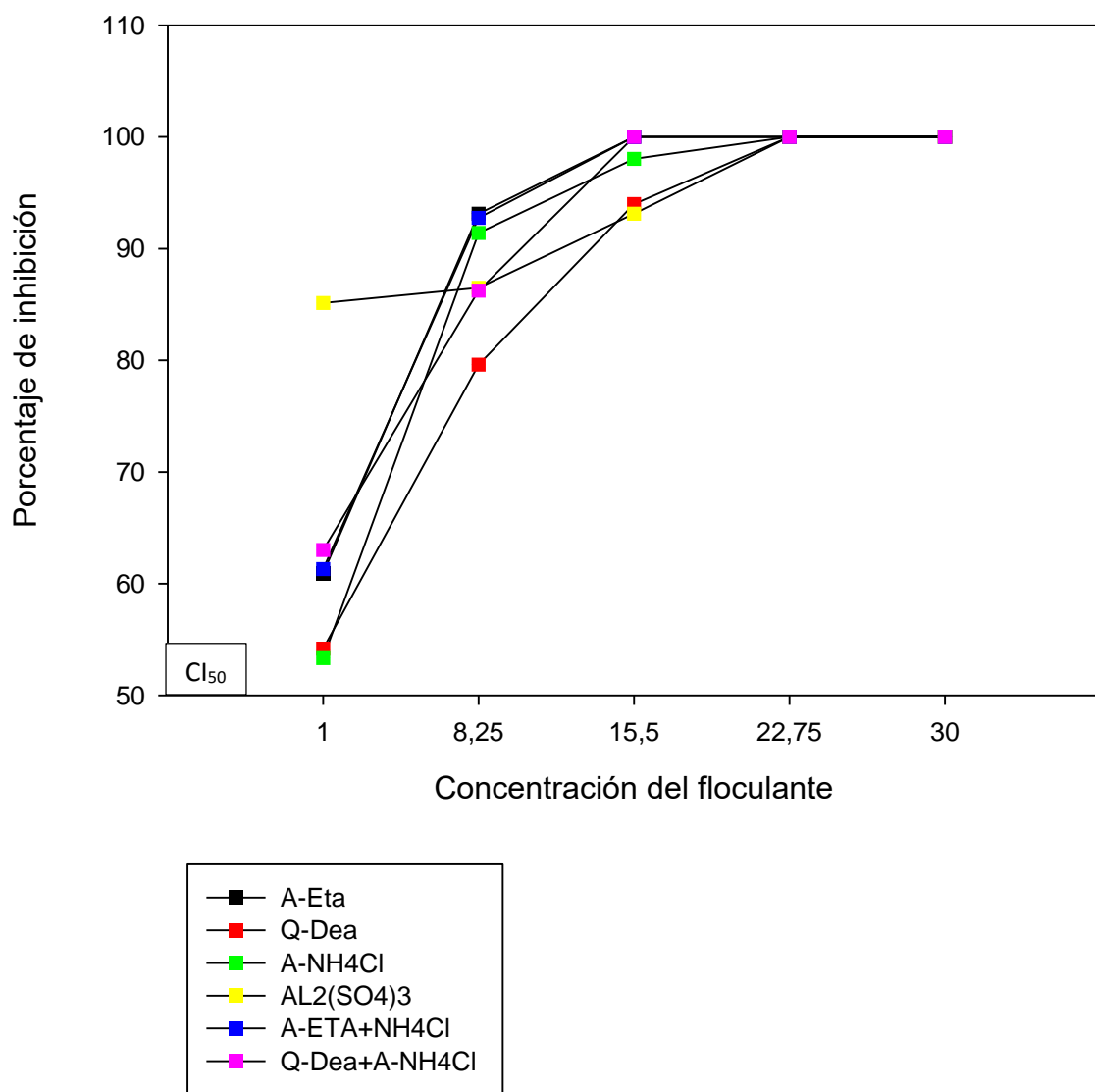


Figura 15. Porcentaje de inhibición de la elongación de la radícula de la semilla de *Lactuca sativa* L. para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (AL₂(SO₄))₃).

Inhibición en la elongación del Hipocótilo

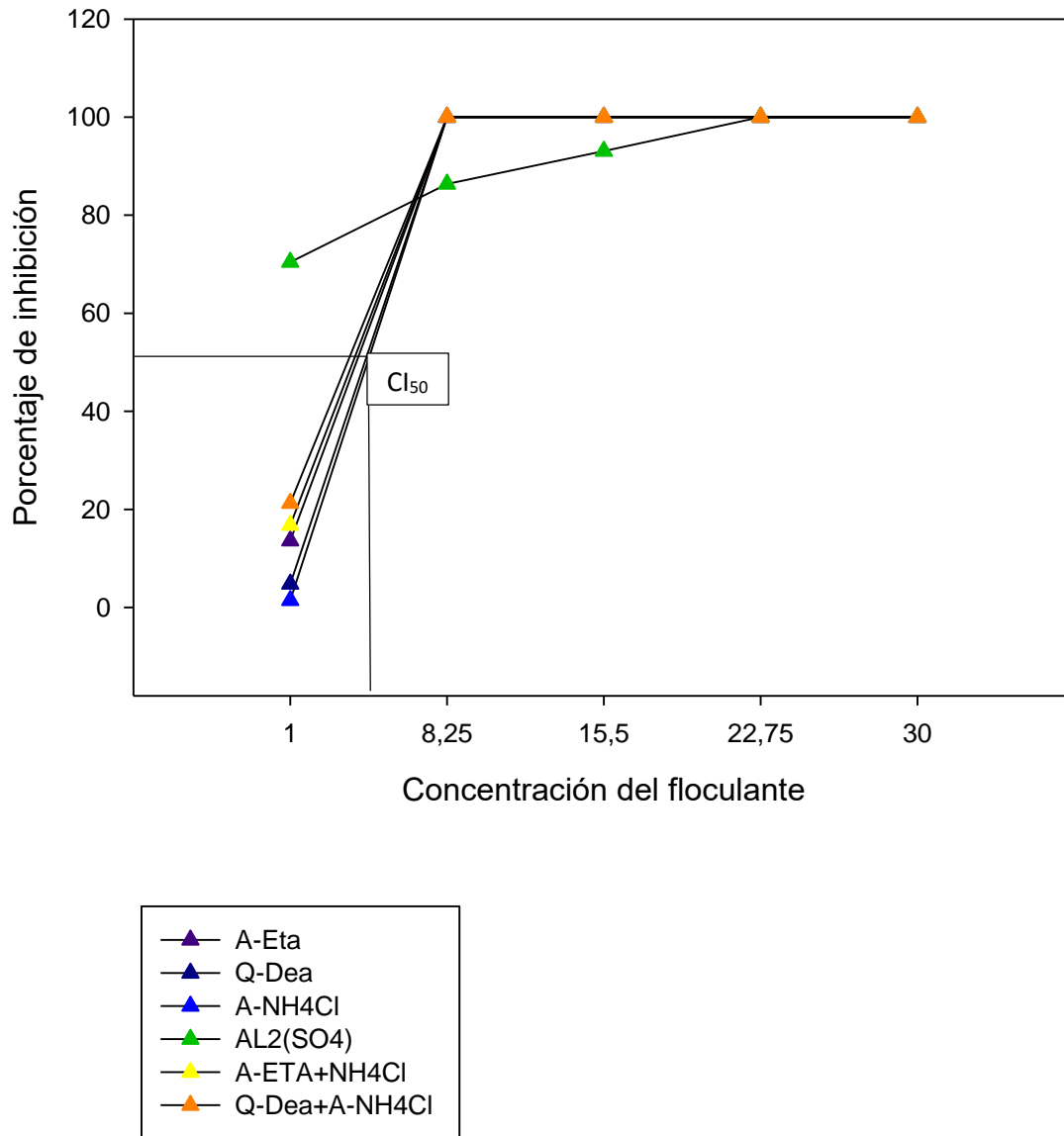


Figura 16. Porcentaje de inhibición de la elongación del hipocótilo de la semilla de *Lactuca sativa* L. para cada uno de los tratamientos (3 floculantes naturales, 3 mezclas y 1 floculante químico (AL₂(SO₄))₃).