



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS

GENERACIÓN DE LODOS ACTIVOS A PARTIR DE COAGULANTES
NATURALES Y EFLUENTES PARCIALMENTE DEGRADADOS DE
REACTORES BIOLÓGICOS DE UDLAPARK.

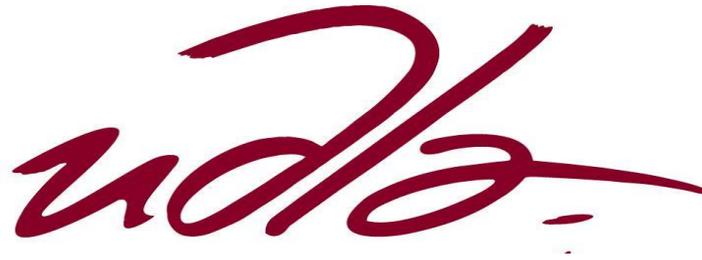


AUTORA

CINTYA DANIELA TELLO TORAL

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

GENERACIÓN DE LODOS ACTIVOS A PARTIR DE COAGULANTES
NATURALES Y EFLUENTES PARCIALMENTE DEGRADADOS DE
REACTORES BIOLÓGICOS DE UDLAPARK.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y
Remediación

Profesor Guía

PhD. Francisco Domínguez

Autora

Cintya Daniela Tello Toral

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Francisco Javier Domínguez Rodríguez

PhD. Ingeniería Química Mención Superficies y Catálisis

C.I.: 1757153737

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Miguel Ángel Gualoto Oñate

Magister en Ciencias Biológicas

C.I.: 1707429351

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

Cintya Daniela Tello Toral

C.I.: 0603254326

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme culminar mis estudios, y darme la fuerza para cumplir con mis metas.

A todos los maestros que me guiaron durante mi formación académica.

A mi tutor de tesis PhD. Francisco Domínguez, por sus enseñanzas, paciencia y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado con mucho amor a mi familia.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación evaluó la acción de tres tipos de coagulantes naturales extraídos de semillas de la *Passiflora ligularis*, *Passiflora tripartita* y *Passiflora edulis* en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Las características de los extractos mencionados se basan principalmente en la presencia de taninos; compuestos polifenólicos capaces de remover la turbidez y carga orgánica entre otros contaminantes presentes en la composición de las aguas servidas. Por lo tanto, se realizó previamente un análisis cualitativo colorimétrico que confirmó la presencia de estos compuestos bioactivos, que fueron extraídos de las semillas a partir de una solución de acetona-salmuera.

Para el desarrollo del proyecto, se planteó un proceso de depuración que consistió de tres operaciones: sistema de lodos activados, coagulación – floculación y sedimentación. El sistema de lodos activos se llevó a cabo en un reactor biológico de aireación prolongada, mismo que trató parcialmente 15 L de agua residual doméstica por 18 semanas. Con la finalidad de optimizar el tratamiento biológico mencionado, el efluente que sale de la primera operación se dirigió al equipo Test de Jarras; en el cual se adicionaron distintos tipos de coagulantes a diferentes dosis 500, 1000 y 1500 μL , en cada vaso de precipitado que contenía 200 ml. Finalmente el agua fue llevada por 1 h al cono de sedimentación, donde se pudo observar agua clarificada en la superficie. Para verificar la eficiencia de los coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica; se tomaron en cuenta diferentes parámetros de control como DBO_5 , DQO, turbidez, conductividad y algunos análisis granulométricos. Obteniéndose que hay un elevado porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos y que hay un incremento de la concentración de lodos lo que permite una rápida sedimentación en el reactor.

Palabras claves: Aguas residuales domésticas, contaminación, coagulantes naturales, taninos, remoción, turbidez.

ABSTRACT

The present investigation evaluated the action of three types of natural coagulants extracted from the species *Passiflora ligularis*, *Passiflora tripartita* and *Passiflora edulis* to treat household wastewater. The characteristics of the extracts are based mainly on the presence of tannins, which are polyphenolic compounds capable of removing turbidity and organic load among other pollutants that are normally present in the wastewater composition. A qualitative colorimetric analysis was performed previously, which confirmed the presence of bioactive compounds in the seeds.

For the development of this project, a process consisting of three operations was proposed; activated sludge system, coagulation - flocculation and sedimentation. The activated sludge system was carried out in a long-lasting aeration biological reactor, which is capable for treating 15 liters of household wastewater for 18 weeks. In order to optimize the aforementioned biological treatment, the effluent was directed to the Jar Test equipment in which different types of coagulants were added at different doses - 500, 1000 and 1500 μL - in each beaker containing 200 ml. Finally, the water was carried for 1 hour to the sedimentation cone where the clarified water was observed on the surface. In order to verify the efficiency of natural coagulants in the treatment of wastewater with high organic load, different control parameters, such as BOD_5 , COD, turbidity, conductivity and some solids analysis, were taken into account resulting in a high percentage of removal of organic pollutants and an increase of the concentration of sludges that allow a fast sedimentation in the reactor.

Key words: Wastewater, pollution, natural coagulants, tannins, removal, turbidity.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Alcance	4
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Agua Residual.....	7
2.2 Características del agua residual doméstica.....	7
2.3 Tratamientos convencionales	8
2.3.1 Tratamientos Físicos	9
2.3.2 Tratamientos Biológicos.....	10
2.3.3 Tratamientos Químicos.....	13
2.4 Coagulantes Naturales	15
2.5 Passiflora	17
2.5.1 Granadilla: <i>Passiflora ligularis</i>	18
2.5.2 Maracuyá: <i>Passiflora edulis</i>	20
2.5.3 Taxo: <i>Passiflora tripartita</i>	21
2.6 Taninos.....	22
3. METODOLOGÍA	24
3.1 Características del sistema.....	24
3.2 Muestreo	26
3.3 Planteamiento del diseño experimental	27
3.4 Parámetros de Control.....	28
3.4.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	28
3.4.2 Demanda Química de Oxígeno	29

3.4.3	Sólidos totales.....	29
3.4.4	Sólidos Fijos y Volátiles	30
3.4.5	Sólidos totales en suspensión.....	31
3.4.6	Sólidos sedimentables	31
3.4.7	Turbidez	32
3.4.8	pH.....	33
3.4.9	Conductividad	33
3.5	Extracción de compuestos bioactivos	34
3.6	Metodología experimental para la determinación cualitativa de taninos.....	36
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1	Análisis Estadísticos: ANOVA y TUKEY.....	40
4.1.1	Conductividad	41
4.1.2	Turbidez	45
4.1.3	Demanda Química de Oxígeno	49
4.1.4	Demanda Biológica de Oxígeno	51
4.1.5	Sólidos Totales	55
4.1.6	Sólidos Disueltos	58
4.1.7	Sólidos Suspendidos.....	61
4.1.8	Sólidos Fijos.....	64
4.1.9	Sólidos Sedimentables	65
4.1.10	Sólidos Volátiles	68
4.2	Lodos	71
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
5.1	Conclusiones.....	73
5.2	Recomendaciones	74
	REFERENCIAS	76
	ANEXOS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Representación del proceso de coagulación - floculación.....	14
<i>Figura 2.</i> Distribución del género <i>Passiflora</i>	18
<i>Figura 3.</i> Fruta de <i>Passiflora ligularis</i>	19
<i>Figura 4.</i> Fruto de <i>Passiflora edulis</i>	20
<i>Figura 5.</i> Fruta de <i>Passiflora tripartita</i>	21
<i>Figura 6.</i> Derivados de la hidrólisis de los taninos hidrolizables.....	23
<i>Figura 7.</i> Flavan 3-ol. Monómero estructural del que derivan los taninos condensados.....	23
<i>Figura 8.</i> Diseño de la PTAR escala laboratorio.....	25
<i>Figura 9.</i> Biorreactor de aireación prolongada	25
<i>Figura 10.</i> Recolección de aguas residuales domésticas.....	26
<i>Figura 11.</i> Extracción de Biocoagulantes	35
<i>Figura 12.</i> Identificación del contenido de Taninos	37
<i>Figura 13.</i> Comportamiento de la conductividad durante el tratamiento	43
<i>Figura 14.</i> Comportamiento de la turbidez durante el tratamiento.....	47
<i>Figura 15.</i> Comportamiento de la DQO durante el tratamiento.	50
<i>Figura 16.</i> Comportamiento de la DBO ₅ durante el tratamiento.	53
<i>Figura 17.</i> Comportamiento de los sólidos totales durante el tratamiento.....	57
<i>Figura 18.</i> Comportamiento de los sólidos disueltos durante el tratamiento. ...	60
<i>Figura 19.</i> Comportamiento de los sólidos suspendidos durante el tratamiento.	63
<i>Figura 20.</i> Comportamiento de los sólidos fijos durante el tratamiento.	65
<i>Figura 21.</i> Comportamiento de los sólidos sedimentables durante el tratamiento	68
<i>Figura 22.</i> Comportamiento de los sólidos volátiles durante el tratamiento	69
<i>Figura 23.</i> Obtención de lodos después del tratamiento de Coagulación – Floculación	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental. Factor 1 (Coagulante) y Factor 2 (Dosis).....	27
Tabla 2. Valoración colorimétrica del contenido de Taninos	37
Tabla 3. Caracterización previa a la adición de coagulantes naturales.....	38
Tabla 4. Resultados correspondientes al tratamiento de aguas residuales domésticas, con coagulantes naturales	39
Tabla 5. Análisis de Conductividad a partir de ANOVA.....	41
Tabla 6. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel)	42
Tabla 7. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel) con (Factor 2 - coagulante)	42
Tabla 8. Análisis de Turbidez a partir de ANOVA.....	45
Tabla 9. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante)...	45
Tabla 10. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 -coagulante) con (Factor 1 - nivel)	46
Tabla 11. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 -coagulante) con (Factor 1 - nivel)	46
Tabla 12. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 -coagulante) con (Factor 1 - nivel)	46
Tabla 13. Análisis de la DQO a partir de ANOVA.....	49
Tabla 14. Análisis de la DBO a partir de ANOVA	51
Tabla 15. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel)	51
Tabla 16. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante) .	52
Tabla 17. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 -coagulante) con (Factor 1 - nivel)	52
Tabla 18. Análisis de Conductividad a partir de ANOVA.....	55
Tabla 19. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel)	55
Tabla 20. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 -coagulante) .	56
Tabla 21. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 – coagulante) con (Factor 1 – nivel).....	56
Tabla 22. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 – coagulante) con (Factor 1 – nivel).....	56

Tabla 23. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 – coagulante) con (Factor 1 – nivel).....	57
Tabla 24. Análisis de Conductividad a partir de ANOVA.....	58
Tabla 25. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel)	58
Tabla 26. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 – nivel) con (Factor 2 – coagulante)	59
Tabla 27. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 – nivel) con (Factor 2 – coagulante)	59
Tabla 28. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 – nivel) con (Factor 2 – coagulante)	59
Tabla 29. Análisis de Conductividad a partir de ANOVA.....	61
Tabla 30. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante) .	61
Tabla 31. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante) con (Factor 1 - nivel)	62
Tabla 32. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante) con (Factor 1 - nivel)	62
Tabla 33. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante) con (Factor 1 - nivel)	62
Tabla 34. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel) con (Factor 2 - coagulante).....	63
Tabla 35. Análisis de sólidos fijos a partir de ANOVA	64
Tabla 36. Análisis de sólidos sedimentables a partir de ANOVA	65
Tabla 37. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel)	66
Tabla 38. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 –coagulante) .	66
Tabla 39. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante) con (Factor 1 - nivel)	66
Tabla 40. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel) con (Factor 2 - coagulante)	67
Tabla 41. Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel) con (Factor 2 - coagulante)	67
Tabla 42. Análisis de sólidos volátiles a partir de ANOVA	68

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La tierra tiene aproximadamente tres cuartas parte de agua, sin embargo, más o menos el 97,5% de esta agua es salada y únicamente el 2.5% es dulce, lo que se traduce a un aproximado de 35 millones de kilómetros cúbicos de agua dulce a nivel mundial; parece ser una cantidad significativa, pero solamente el 0,1% es aprovechable (Universidad de los Andes y BID, 2015). Por consiguiente, se estima que existen 10 millones de kilómetros cúbicos de agua utilizable; aún es una cantidad considerablemente alta tomando en cuenta que el consumo promedio es de 100 litros por persona por día, pero ese valor esconde algunos problemas como el crecimiento demográfico progresivo, la contaminación de los recursos y el mal manejo de los mismos (Universidad de los Andes y BID, 2015). Por lo tanto, es indispensable cuidar y preservar la calidad de este recurso que se ve amenazado diariamente por diferentes actividades humanas.

En América Latina, menos del 10% de las aguas residuales domésticas reciben algún tipo de tratamiento. Asimismo, un número reducido de plantas de tratamiento funcionan correctamente, el resto realiza una depuración ineficiente; principalmente porque los costos de operación y mantenimiento son muy elevados. Por lo tanto, el manejo de este recurso se ve limitado por el desconocimiento de tecnologías alternativas de bajo costo, y tecnologías limpias que eviten la producción de desechos tóxicos (Reynolds, 2002).

Ecuador es uno de los países más ricos de Latinoamérica en cuanto a recursos hídricos, cuenta con aproximadamente 43.500 metros cúbicos por persona al año, es decir duplica el promedio mundial (Mejía, Siebe, y Paillés, 2009). No obstante, es considerado uno de los países más retrasados en cuanto a la cobertura de los servicios básicos, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales (Cabrera et al., 2009). Cabe resaltar que en los últimos años se ha destinado en varias ciudades, el capital necesario para desarrollar plantas de tratamiento. En la ciudad de Quito, en el año 2014 se invirtieron 12,3 millones en la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) con Lodos Activados en Quitumbe; y se espera a futuro la implementación de otras más, con la finalidad de brindar un manejo integral y adecuado a las aguas servidas generadas por la población (EPMAPS, 2015).

El proceso de lodos activados es un tratamiento desarrollado en Inglaterra en 1900, pero que no se volvió popular hasta 1940 en Estados Unidos. En la actualidad es uno de los tratamientos biológicos más utilizados en aguas residuales con alta carga orgánica (NESC, 2003). A pesar que este tratamiento es una solución ambiental efectiva, se puede considerar la posibilidad de acelerar el proceso con ayuda de coagulantes que permitan mejorar la formación de los lodos y consecuentemente obtener mejores resultados en el tanque sedimentador (Almeida y Borja, 2015). Cabe resaltar que esta tecnología al ser de carácter semi - intensiva, realiza los procesos de manera rápida y los resultados son óptimos, no obstante, la adición de coagulantes mejorará aún más el rendimiento permitiendo un tratamiento intensivo en menor tiempo y espacio (Juanicó y Milstein, 2004).

Los coagulantes químicos son de uso habitual en el tratamiento de aguas residuales, sin embargo, es necesario remplazarlos por coagulantes naturales para evitar la contaminación de los lodos con metales pesados que tienen un impacto negativo en el ser humano y en el ecosistema (Pacheco, Jauregui,

Pavon, y Mejia, 2003). La historia de los coagulantes naturales empezó hace más de 200 años en países como África, India y China; donde utilizaban los polímeros extraídos de hojas, semillas o raíces de la zona para tratar el agua (Asrafuzzaman, Fakhruddin, y Hossain, 2011). La producción de los coagulantes naturales en la actualidad depende igualmente de la diversidad del país, especialmente de aquellos en vías de desarrollo, porque de esta manera se reducen los costos que ocasionan las importaciones de sustancias sintéticas.

Por consiguiente, es indispensable encontrar una especie que contenga los principios activos necesarios para llevar a cabo el proceso de coagulación. El género *Passiflora* perteneciente a la familia Passifloraceae, se desarrolla en climas tropicales y subtropicales, por lo que se encuentra distribuido dentro del Ecuador. Las especies pertenecientes a este género se caracterizan principalmente por presentar uno de los compuestos químicos más importantes denominados polifenoles, que además se clasifica en varios subgrupos como ácidos fenólicos, flavonoides y taninos reconocidos por sus propiedades antioxidantes, y coagulantes (Uso Industrial et al., 2005). Por ende, estudios demuestran que específicamente el taxo (*Passiflora tripartita*), presenta un contenido total de fenoles elevado y un porcentaje considerable de taninos (Moreno, Ortiz, y Restrepo, 2014).

1.2 Alcance

El presente trabajo de titulación tiene como alcance la identificación de coagulantes naturales en calidad de ayudantes en la formación de lodos activos compactos durante el tratamiento de aguas residuales domésticas. El sistema de depuración se realizó a escala de laboratorio, y consta de un reactor biológico en el cual los microorganismos aerobios digieren la materia orgánica. El efluente que sale del reactor biológico fue sometido a un proceso de coagulación con sustancias naturales extraídas de las semillas de granadilla (*Passiflora ligularis*), taxo (*Passiflora tripartita*) y maracuyá (*Passiflora edulis*). Las pruebas se realizaron a diferentes concentraciones en el Test de Jarras. Por consiguiente, se espera que mejore la calidad del efluente y las propiedades de lodos; es decir, que sean compactos y estables, facilitando su sedimentación y disminuyendo el tiempo de retención hidráulica al interior del reactor.

1.3 Justificación

En Ecuador, del total de recursos disponibles para las diferentes actividades antrópicas, el uso doméstico ocupa el segundo lugar con aproximadamente el 13%; lo cual está directamente relacionado con la generación de agua residual en el país (CEPAL, 2011). A pesar que la normativa nacional restringe la descarga de efluentes sin un determinado tratamiento; aproximadamente el 80% del agua de consumo es descargada a un sistema de alcantarillado o a los diferentes cauces hídricos como aguas residuales; amenazando de esta manera las 740 unidades hidrográficas existentes en el país (CEPAL, 2011).

Por consiguiente, es imprescindible investigar permanentemente tecnologías capaces de brindar un tratamiento apropiado de las aguas servidas. En los países en vías de desarrollo se recomiendan dos alternativas como son las lagunas de estabilización y los sistema de lodos activados (Noyola, 2003). No obstante, se prefiere la segunda opción debido a que ocupa espacios reducidos y requiere un menor tiempo para la depuración de la carga orgánica de los efluentes, es decir, el caudal proveniente puede ser depurado en pocas horas a diferencia del otro escenario que requiere de varios meses para obtener buenos resultados (McNamee, 1936).

El funcionamiento del sistema de lodos activados se basa en la capacidad que tienen los microorganismos para metabolizar y convertir la materia orgánica de las aguas residuales en tejido celular (McNamee, 1936). Debido a la densidad que tiene este tejido, se puede decantar en un sedimentador secundario, y obtener un efluente clarificado, con concentraciones reducidas de DBO_5 , DQO, sólidos suspendidos, grasas y turbidez (Varilla y Díaz, 2008).

A pesar que uno de los parámetros más importantes dentro de este tipo de tratamientos es la producción de flóculos con características de sedimentación óptimas. Se debe considerar que los flóculos más eficientes en la remoción de sustancias orgánicas son normalmente aquellos cuya estructura y compactación son lo suficientemente fuertes (Poon, Wang, y Wang, 1986).

Normalmente, para lograr la compactación de los flóculos se utilizan coagulantes químicos como las sales de aluminio y de hierro; sin embargo, se opta por remplazarlos por coagulantes naturales con la finalidad de que los lodos de descarga contengan toxicidad baja o nula, al igual que el efluente tratado (Pacheco et al., 2003).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Seleccionar el coagulante natural del género *Passiflora* más adecuado para mejorar el tratamiento de aguas residuales domésticas parcialmente degradadas en un reactor biológico.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer si el uso de coagulantes naturales extraídos de la *Passiflora ligularis*, *Passiflora tripartita* y *Passiflora edulis* optimiza los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales domésticas, mediante la caracterización fisicoquímica de las muestras tratadas.
- Determinar la dosis óptima de coagulante natural necesaria para tratar agua residual doméstica a partir de la aplicación de un diseño experimental.
- Identificar si el tipo de coagulante influye sobre el tratamiento de aguas residuales domésticas y sobre la estabilidad de los flóculos presentes en el sistema de lodos activados.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Agua Residual

El agua residual es aquella cuyas características originales han sido alteradas debido a la exposición de la misma con contaminantes derivados principalmente de actividades antrópicas. La modificación de los diferentes parámetros se debe a que el agua es un solvente polar que permite la disolución de varios compuestos orgánicos e inorgánicos que disminuyen la calidad de este recurso (Martín, López, y Monteagudo, 2009). En el caso del agua residual doméstica también llamada agua residual urbana, los desechos fisiológicos, detergentes, restos de cocina, entre otros son los responsables de la contaminación; por ende es necesario realizar un tratamiento previo antes de reusar o descargar el agua a un cauce natural (OEFA, 2014).

2.2 Características del agua residual doméstica

El agua residual doméstica conocida también como agua servida, es una combinación entre agua y residuos líquidos o sólidos provenientes de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones (W. Martín et al., 2009). La composición del agua residual doméstica varía de acuerdo al clima, estación del año, tipo de establecimientos y naturaleza de la población residente. En general, la composición de las aguas servidas, se caracteriza por ser 99.9% agua y 0,1% materiales orgánicos e inorgánicos que se encuentran de manera suspendida, sedimentada o soluble (Feigin, Ravina, y Shalhevet, 1991). Los materiales orgánicos, como grasas, carbohidratos, proteínas, entre otros; son contaminantes caracterizados por su degradabilidad a través de agentes biológicos, mientras que los compuestos inorgánicos tales como sales, arena, cenizas no pueden ser sinterizados u oxidados por microorganismos por lo que

necesitan de métodos fisicoquímicos para eliminarlos (González, Delgado, Barrenetxea, Serrano, y Blanco, 2004).

En relación a los parámetros indicadores de contaminación, se conoce que el promedio de agua residual doméstica generada varía entre 150-350 l/hab.día, la cantidad de sólidos en suspensión se aproxima a los 90 g/hab.día (Sette, Jiménez, y de Lora, 1990). Asimismo, es importante mencionar, que este tipo de agua además de contener microorganismos benéficos degradadores en altas cantidades, también posee microorganismos patógenos como bacterias, virus y parásitos. Las bacterias coliformes de origen fecal son las más abundantes en el agua con alrededor de 10^7 - 10^9 coliformes en 100 ml (Feigin et al., 1991).

2.3 Tratamientos convencionales

Los tratamientos convencionales que se llevan a cabo para depurar el agua residual se clasifican en tratamientos físicos, químicos y biológicos (Sans, 1999). Dichos tratamientos pueden estar incluidos en cualquier etapa ya sea primaria, secundaria o terciaria; incluso se pueden llegar a combinar dos tratamientos diferentes en una etapa u omitir uno de ellos (Martín, López, y Monteagudo, 2009). Los métodos y tecnologías que se apliquen serán establecidos según el grado de purificación que se requiera, tomando en consideración los límites máximos permisibles de la legislación ambiental local. Asimismo, el método que se escoja dependerá significativamente del tipo de efluente y de las características del mismo (Nova, 2008).

2.3.1 Tratamientos Físicos

Los tratamientos físicos son los métodos más empleados durante el tratamiento de aguas residuales, como su nombre lo indica se basan en procesos físicos en los que predominan la acción de las fuerzas físicas (Nova, 2008). En general, la primera etapa consta de más operaciones unitarias de tipo físico, por ejemplo desbaste, homogenización, trituración, desarenado, desengrasado entre otros. No obstante, pueden estar incluidas otras operaciones como sedimentación, aireación, floculación en otras etapas de tratamiento (Martín et al., 2009).

En este trabajo, se van a utilizar las siguientes operaciones unitarias:

Desbaste: Esta operación consiste en la eliminación de sólidos gruesos y sedimentables a partir de la retención de los mismos en superficies. Normalmente se utilizan rejillas o tamices cuyos diámetros son menores a 6 mm, lo que imposibilita la llegada de contaminantes con diámetros superiores. El desbaste, además de servir como un pre tratamiento del agua, reduce la posibilidad de que las bombas de aire, válvulas u otras unidades de instalación se dañen u obstruyan (Nova, 2008).

Homogenización: La homogenización, es una operación que se utiliza para evitar variaciones en la composición del agua residual; igualmente se aplica con la finalidad de mantener un flujo de caudal constante. Por ende, los tratamientos físicos basados en este tipo de operación tienden a ser ubicados en las primeras etapas en una planta de tratamiento (Nova, 2008). A pesar que la homogenización, se consigue a partir de mezcladores estáticos, también existe la posibilidad de utilizar otros equipos o materiales puesto que solo se necesita que se genere una turbulencia (W. Martín et al., 2009).

Sedimentación: La sedimentación es una operación sencilla basada en la deposición de partículas por acción de la gravedad. Normalmente, son partículas en suspensión cuyo peso específico es menor al del agua; por consiguiente, se considera necesario la adición de una sustancia coagulante de manera que las partículas consigan una trayectoria descendiente. A pesar que la sedimentación se puede producir de manera natural se utilizan coagulantes para acelerar dicha operación (W. Martín et al., 2009).

Floculación: La floculación es parte de un método combinado de tratamiento de aguas, en este proceso se utilizan los microfloculos formados en la coagulación y el objetivo es aglomerarlos hasta formar macro flóculos visibles; que posteriormente podrán ser separados del efluente clarificado (Nova, 2008).

Aireación: La aeración se encarga de mezclar el agua junto con el aire, gracias a la implementación de un suministro de aire. Logrando de esta forma que los microorganismos aerobios y las propiedades intrínsecas del agua se mantengan (Sans, 1999).

2.3.2 Tratamientos Biológicos

El tratamiento biológico es un proceso que se basa en la descomposición de contaminantes orgánicos a partir de la actividad biológica, se aplica principalmente para eliminar sustancias biodegradables presentes tanto en forma coloidal como en disolución (Wang, Shammas, y Hung, 2009). Estas sustancias se convierten en gases que son liberados a la atmósfera, y también en tejido celular, el mismo que logra decantarse en el sedimentador (W. Martín et al., 2009). En este tipo de tratamiento, se puede escoger un sistema aeróbico o anaeróbico, ya que ambos generan resultados óptimos en las aguas residuales; sin embargo, es imprescindible analizar las ventajas y desventajas de cada uno.

Sistema de lodos activados

El sistema de lodos activados es uno de los tratamientos más empleados para depurar agua residual con alta carga orgánica. Su proceso consiste en adicionar oxígeno en un reactor con la finalidad de activar los microorganismos aerobios (Arellano, 2003). Los microorganismos juegan un papel sumamente importante, porque utilizan los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual como fuente de carbón y energía lo que permite su crecimiento y reproducción (Sustarsic, 2009).

Los microorganismos son los bioagentes más efectivos y baratos presentes en el tratamiento biológico de aguas residuales, por ende el rendimiento de este tipo de tratamientos recae sobre la interacción de las diferentes poblaciones de microorganismos. Los organismos más abundantes son las bacterias con aproximadamente 95%, a diferencia de los protozoos que ocupan el menor porcentaje dentro del reactor biológico; no obstante, los protozoos se encargan mayoritariamente del consumo de los componente degradables y los convierten principalmente en dióxido de carbono, nuevas células bacterianas y otros subproductos (Wang et al., 2009). La mezcla de la biomasa microbiana antigua junto con las nuevas células se conduce hasta un tanque de sedimentación, en donde es separado por decantación; obteniendo de esta manera agua tratada (Varilla y Díaz, 2008).

A pesar de que el sistema de lodos activos es un tratamiento de aguas residuales efectivo; se conoce que el proceso convencional, presenta algunos problemas tales como: la excesiva producción de lodos y fenómenos de esponjamiento (Almeida, 2015). Dado que en los tanques de sedimentación se producen grandes volúmenes de lodos y una cantidad significativa de ellos es purgada del sistema; se generan costos sumamente

elevados de tratamiento y disposición final, que podrían sobrepasar los costos iniciales de tratamiento. A nivel mundial, el destino final de estos lodos es principalmente la incineración y el depósito en rellenos sanitarios; sin embargo, tienen un gran potencial para ser aprovechados siempre que estos no presenten contaminantes químicos. Una manera de aprovechar los lodos es utilizarlos en la industria agrícola como complemento de fertilizantes, acondicionadores de suelos entre otros, únicamente necesitan un tratamiento previo sencillo como es la digestión aerobia en un periodo de 20-30 días (Arellano Díaz, 2002).

Fitorremediación

Otro tratamiento biológico eficiente es la fitorremediación; técnica emergente, que aprovecha la capacidad de ciertos organismos vivos como plantas para extraer, degradar, volatilizar y estabilizar los contaminantes presentes en las distintas matrices ambientales. Se ha demostrado que el uso de plantas, especialmente plantas acuáticas son capaces de remover contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en aguas residuales; sin embargo, se debe tomar en cuenta la tasa de crecimiento de las plantas, la habilidad que tienen para adaptarse a diferentes condiciones ambientales, y el período de tolerancia a la exposición de contaminantes (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, y Acevedo, 2011). Con respecto a la presencia de contaminantes orgánicos, se conoce que la fitodegradación es uno de los mecanismos más efectivos para transformar dichos contaminantes en compuestos más sencillos y menos tóxicos; esto se logra a través de microorganismos asociados al sistema radicular, por mineralización de los contaminantes o por la acción combinada de ambos, dado que la planta y los microorganismos mantienen una relación simbiótica (Ashraf, Ozturk, y Ahmad, 2010). Debido que las plantas necesitan únicamente energía solar, hacen de esta tecnología, una opción eficiente y económicamente viable (Delgadillo et al., 2011; Grijalbo, Fernández, Gutiérrez, y José Lucas, 2015). A pesar que la fitorremediación es capaz de tratar aguas

residuales domésticas con alta carga orgánica, normalmente se utiliza esta opción para depurar agua con altas concentraciones de químicos.

2.3.3 Tratamientos Químicos

Los tratamientos químicos, son procesos en donde las transformaciones que se producen para depurar el agua residual se logran a partir de reacciones químicas; es decir, que la eliminación o conversión de los contaminantes dependen de la adición de sustancias o productos químicos hasta conseguir que estos alteren el estado físico de los sólidos en suspensión o disueltos. Entre los tratamientos químicos más comunes se encuentran los métodos de desinfección, donde se utilizan diferentes sustancias como cloro, bromo, yodo o compuestos fenólicos (W. Martín et al., 2009).

Igualmente, con la finalidad de acelerar este proceso se lleva a cabo en combinación con otras operaciones unitarias, especialmente con tratamientos físicos como es el caso de la Coagulación – Floculación (Nova, 2008).

Proceso de coagulación- floculación

Uno de los tratamientos fisicoquímicos más conocidos a nivel mundial son los procesos de coagulación-floculación; estos son empleados en aguas residuales con la finalidad de modificar las propiedades de las sustancias disueltas no biodegradables; como coloides, emulsiones e incluso organismos patógenos que causan la turbidez, coloración y contaminación del agua (Rios, 2011).

El proceso de coagulación es aplicado cuando los materiales en estado finamente disperso no pueden ser eliminados fácilmente; debido que presentan una barrera potencial que impide la cohesión entre partículas y por ende la

separación sólido-líquido por gravedad. Por lo tanto, se puede decir que el tamaño de partícula es inversamente proporcional al tiempo de retención; en el caso del material coloidal cuyo diámetro es de aproximadamente 10^{-4} mm puede tardar incluso 2 años en sedimentarse. Por consiguiente, se necesita adicionar el agente coagulante que desestabilice las cargas de las partículas, anule la barrera potencial/ potencial z y lograr sedimentar los contaminantes en forma de flóculos (Rios, 2011).

Asimismo, para obtener un adecuado tratamiento, se debe incluir el proceso de floculación el cual permite formar flóculos compactos a través de una agitación, la misma que promueve la colisión entre partículas coaguladas y las aglomera. A pesar que el movimiento natural de las moléculas de agua también conocido como movimiento browniano podría aglomerar distintas partículas, esto tomaría mucho tiempo por lo que es necesario la energía adicional de mezclado (Rios, 2011). A continuación se muestra en la Figura 1 el proceso de coagulación y floculación descrito anteriormente.

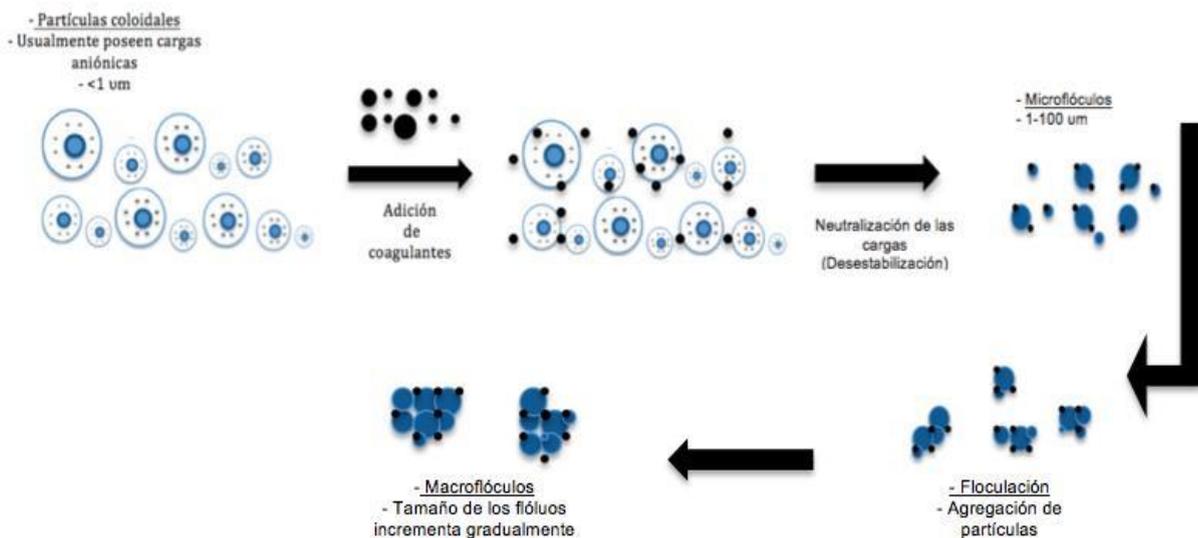


Figura 1. Representación del proceso de coagulación - floculación. Adaptado de (Choy, Prasad, Wu, y Ramanan, 2015).

2.4 Coagulantes Naturales

El uso de coagulantes naturales ha sido tema de investigación en los últimos años, debido al interés de sustituir sustancias sintéticas asociadas con efectos negativos en la salud de las personas y afectaciones en el ambiente (Trejo y Hernández, 2004). Por ejemplo, las sales de aluminio son los coagulantes inorgánicos más utilizados principalmente porque tienen una eficiencia alta en cuanto a la remoción de contaminantes, y además de un costo conveniente. Sin embargo, se ha comprobado que su uso masivo puede provocar daños en la salud humana tales como Alzheimer, cáncer, entre otras enfermedades (Dutta y Bhattacharjee, 2015; Trejo y Hernández, 2004).

Por lo tanto, el uso de coagulante naturales, llamados también biodegradables son seguros para la salud humana y para el medio ambiente, producen entre 20 - 30% menos volumen de lodos, y tiene una alta eficiencia en la depuración de aguas residuales (de Souza et al., 2014). Los costos son favorables dado que este tipo de coagulantes pueden ser cultivados, cosechados y producidos en la localidad, beneficiando especialmente a los países en vías de desarrollo que tienen que importar muchas veces este tipo de sustancias (de Souza et al., 2014). Asimismo, se conoce que en la actualidad las restricciones y prohibiciones de sustancias químicas son cada vez mayores; por ejemplo, las poliacrilamidas, han sido removidas de las plantas de tratamiento en varios países a disposición de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003).

Esta nueva alternativa, requiere de la investigación de diferentes compuestos bioactivos vegetales, de manera que puedan ser extraídos y utilizados para tratar el agua residual. De acuerdo con la bibliografía ciertos carbohidratos y lípidos no realizan ningún aporte al tratamiento y por ello deben ser eliminados (Okuda, Baes, Nishijima, y Okada, 2001). Sin embargo, se conoce que los compuestos de naturaleza fenólica, aminoácidos, mucílagos, almidones, entre

otros tienen potencial a la hora de remover la turbidez, color, surfactantes e incluso metales pesados (Okuda, Baes, Nishijima, y Okada, 2001).

En el presente trabajo, se estudia la capacidad de tres especies pertenecientes al género *Passiflora*, en el proceso de biocoagulación. Dado que los componentes de dichas frutas, además de ser identificados por sus poderes nutricionales y antibacteriales; son considerados como posibles coagulantes. Esto se debe a que las semillas y la cáscara tienen un alto contenido de compuestos polifenólicos y sus derivados como son los taninos, flavonoides, piceantanoles entre otros; relacionados por su capacidad en el tratamiento de aguas.

A pesar que no existen reportes precisos sobre los mecanismos de tratamiento que se producen con la adición de estos extractos; se sabe que los extractos de las distintas semillas de género *Passiflora* tienen la habilidad de captar radicales libres y/o formar quelatos con iones metálicos, lo que permite un aumento en la masa molecular y consecuentemente la sedimentación en forma de flóculos (Martín et al., 2013; Méndez, Murillo, Sabogal, Chávez, y Oliveros, 2016). Asimismo, debido a su estructura son considerados polielectrolitos de carga aniónica que desestabilizan las cargas presentes en los coloides (Jeon et al., 2009; Yin, 2010). Sin embargo, independientemente de los mecanismos de coagulación que puedan darse, es importante realizar una adecuada extracción de los metabolitos secundarios responsables del tratamiento.

Se debe prestar especial atención a los solventes; usualmente se utiliza metanol para evitar pérdidas y mantener el contenido total de fenoles, además de las propiedades antioxidantes y antibacteriales (Devi, Sidik, y Harah, 2014). Cabe señalar que estos extractos ni en sus máximas concentraciones

superarán el 10% de toxicidad en el ser humano (Méndez, Murillo, Sabogal, Chávez, y Oliveros, 2016).

2.5 Passiflora

El género *Passiflora* es el género más abundante de la familia Passifloraceae. Está conformado por más de 530 especies, las cuales están ubicadas mayoritariamente en los trópicos y subtropicos (Yockteng, Coppens, Souza-chies, y Leo, 2011). La región neotropical constituye el centro de diversidad de este género acogiendo al 95% de todas las especies; no obstante, el porcentaje restante está distribuido en diferentes lugares como se puede ver en la Figura 2 (Odeny y Narina, 2011).

Al género *Passiflora* le pertenecen numerosas especies; sin embargo, únicamente 12 de ellas son conocidas a profundidad a causa de su alto valor comercial (Odeny y Narina, 2011). Entre las más populares se encuentran el maracuyá, la granadilla y el taxo; no obstante, es primordial tomar en cuenta a las distintas especies silvestres que conforman a este género. Principalmente, porque se ha demostrado que las mismas presentan una alta resistencia contra patógenos, pueden contener igual o mayor cantidad de compuestos bioactivos como flavonoides y alcanoides; y lo más importante es que su uso puede generar un impacto positivo sobre comunidades locales, incentivando el desarrollo de las mismas a través de la diversificación de cultivos (Pérez, Mazzani, y Pacheco, 2001; Yockteng et al., 2011).

Por consiguiente, se han realizado estudios sobre la diversidad genética de estas plantas; encontrando que la mayoría manifiestan una alta variabilidad en comparación con especies cultivadas. Si bien la mayoría difieren, se ha comprobado que algunas especies como el taxo (*P. tripartita* var. *Mollissima*,

P. tarminiana) y la granadilla (*P. ligularis*) presentan una variación limitada tanto genéticamente como morfológicamente en contraste con una variedad de especies silvestres como *P. mixta* L. f. y *P. tiliifolia* L. respectivamente (Yockteng et al., 2011). En Ecuador se ha encontrado a las especies silvestres *P. cumbalensis* y *P. Manicata* conocidas también como taxo de monte; estas especies deberían ser estudiadas para verificar su capacidad como coagulante, y de acuerdo a su composición brindarles un mejor uso (Segura, Coppens d'Eeckenbrugge, Ocampo, y Ollitrault, 2003).

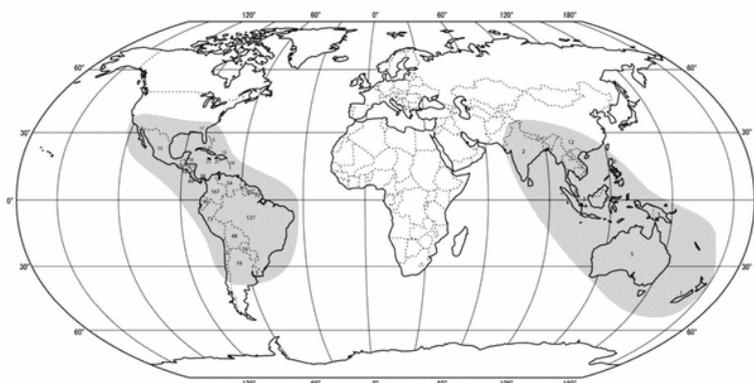


Figura 2. Distribución del género *Passiflora*. Tomado de (Bhattacharjee, Gedil y Dumet, 2011).

2.5.1 Granadilla: *Passiflora ligularis*

La especie *Passiflora ligularis* es una planta nativa de América del Sur específicamente de la zona Andina. También se desarrolla en Florida, Nueva Zelanda, China, Jamaica, Indonesia y Australia; en altitudes que van desde los 900 hasta los 2700 msnm, en un rango de temperatura que varía entre 12 a 20°C. En Ecuador los sitios más representativos donde se cultiva esta planta son: Pimampiro, Ambuquí, Guallabamba, Yaruquí, Patate, Guano, Girón, y Vilcabamba (León, 2000; Lim, 2012).

La planta de granadilla se caracteriza por ser trepadora, su tallo cilíndrico semileñoso de color marrón contiene diferentes zarcillos que permiten que se enrede durante el crecimiento. Las raíces de las plantas son reconocidas por ser fibrosas y cortas, crecen hasta un máximo de 40 cm, por lo que no exigen de suelos profundos pero si de texturas livianas. Las hojas crecen entre los nudos de las ramas, son de forma acorazonada, miden de 8 a 16 cm de largo por 6-15 cm de ancho, y son de color verde oscuro casi azulado (León, 2000). Las flores son colgantes, llamativas, grandes, acampanadas de 8 a 12 cm de diámetro. Los frutos se desarrollan después de 7 meses y son reconocidos por su cubierta dura en forma casi esférica. Como se puede ver en la Figura 3 el diámetro de la baya se encuentra dentro de los 6-8 cm de diámetro, y su color es mayoritariamente amarillo. Dentro de la fruta existe un promedio de 200 - 250 semillas de color negro y de forma plana envueltas en un arilo traslúcido y mucilaginoso (Fundesyram, 2015).

La composición que presenta la pulpa y las semillas es diversa, en una porción de 100 gramos se encontró diferentes componentes, entre los más representativos son; proteína con 0,340 - 0,474 g , grasa con 1,50 a 3,18 g, fibra cruda con 3,2 a 5,6 g, ceniza con 8,87 a 1,36 g, riboflavina con 0,063 - 0,125 mg y ácido sórbico con 10,8 – 28,1 mg. Además, se conoce que tiene un polisacárido con un alto peso molecular mayor a 1×10^6 Dalton, basado en diferentes tipos de residuos de azúcar y otros componentes desconocidos (Lim, 2012).



Figura 3. Fruta de *Passiflora ligularis*

2.5.2 Maracuyá: *Passiflora edulis*

La especie *Passiflora edulis* es originaria de la región amazónica de Brasil; no obstante, se cultiva en todas las áreas tropicales y subtropicales del mundo. En Ecuador, se cultiva principalmente en la región Costa en las provincias de Los Ríos, Manabí y Esmeraldas. Normalmente esta planta se desarrolla en climas cálidos a una temperatura de 21 a 24 °C (INIAP, 2009). La *Passiflora edulis* var. *flavicarpa* se caracteriza por ser la más popular, dado que presenta hojas y ramas con pigmentación amarillenta. Esta planta de maracuyá, al igual que la mayoría de especies pertenecientes al género *Passiflora* son trepadoras, la misma es identificada por tener un tallo leñoso, cilíndrico y ligeramente angular. Las hojas de esta planta miden alrededor de 7 a 20 cm de largo y son de color verde brillante. Sus flores son grandes tienen un diámetro de 5 cm. Como se observar en la Figura 4 el fruto presenta una forma redondeada u ovalada con un diámetro de 4 a 8 cm de ancho y de 6 a 10 cm de largo. La corteza del maracuyá es dura y lisa, y se encarga de proteger el mesocarpio inferior. El endocarpio es blanco y la pulpa amarilla, contiene alrededor de 200 a 300 semillas de color negro y las envuelve una membrana mucilaginosa (Tapia, 2013).

Con respecto a la composición de esta fruta, se evidencia la presencia de componentes polifenólicos en las semillas; no obstante, se hace especial énfasis en la presencia de piceatanol (3',4',3,5-Tetrahidroxi-trans-estilbeno) identificado como un fuerte antioxidante (Matsui et al., 2013).



Figura 4. Fruto de *Passiflora edulis*

2.5.3 Taxo: *Passiflora tripartita*

La especie *Passiflora tripartita* es nativa de la cordillera de los Andes, se desarrolla a una altitud mayor a los 1000 msnm en la selva alta. En el Ecuador la *Passiflora tripartita* var. *mollisima*, se produce en las provincias del Carchi, Imbabura y Tungurahua (Cuaspud, 2015). Se caracteriza por ser una planta pubescente, es decir, que la superficie de las hojas y frutos contiene vellos o pelusilla fina que brinda una textura suave. El tallo de esta planta trepadora es subangular y se enreda en distintos árboles llegando a crecer hasta 6 m de alto. Las hojas son obovadas, aserradas, y miden aproximadamente 10 cm de largo. Las flores son muy llamativas además del color rojo/ violeta, tienen una forma diferente con un hipantio largo y cilíndrico (Campos, 2001). Los frutos son de forma elipsoidal, miden alrededor de 7 a 10 cm de largo y 4 de ancho. En cuanto al color, inicialmente son verde claro pero a medida que maduran son completamente amarillos. El epicarpio del taxo es duro y delgado, mientras que el mesocarpio pulposo y angosto; contiene gran cantidad de semillas negras, cubiertas de arilo anaranjado (León, 2000). En la Figura 5 se puede apreciar al fruto descrito anteriormente.

La composición de la *Passiflora tripartita* ha sido estudiada más a detalle, por lo tanto, se conoce que el contenido total de polifenoles es elevado especialmente en la cáscara y en las semillas, por el contrario, el jugo y la pulpa de la fruta presentaba menos de la mitad de estos compuestos (Simirgiotis, Schmeda-Hirschmann, Bórquez, y Kennelly, 2013).



Figura 5. Fruta de *Passiflora tripartita*

2.6 Taninos

Los compuestos polifenólicos son un grupo diverso de fitoquímicos, que se clasifican en dos grandes grupos denominados flavonoides y no flavonoides. Cada uno de estos grupos origina un tipo específico de tanino (Alma, Alvarez, Lopez, Wall, y de la Rosa, 2012). Por lo tanto, los taninos son los compuestos polifenólicos más abundantes en las plantas después de la celulosa, hemicelulosa y lignina (Lattanzio, 2013). Se encuentran mayoritariamente en las semillas, específicamente en el tegumento seminal o episperma; lo que indica que este compuesto puede estar presente tanto en la capa exterior como en la interior denominadas testa y tegmen respectivamente (Boesewinkel y Bouman, 1984).

Estos compuestos secundarios se caracterizan por tener múltiples grupos hidroxifenólicos, que contribuyen a la formación de diferentes complejos; principalmente con las proteínas y en menor medida con polisacáridos y aminoácidos. Además, son reconocidos por tener un peso molecular elevado, que se encuentra en un rango de 500 - 3000 Da (Bacelo, Santos, y Botelho, 2016; Lattanzio, 2013).

Los taninos se dividen en dos grupos denominados hidrolizables y condensados. Los primeros se caracterizan porque provienen de la esterificación de compuestos polifenólicos no flavonoides, por ejemplo el ácido gálico o elágico, mientras que los taninos condensados o proantocianidinas, provienen de la esterificación de compuestos polifenólicos flavonoides, como las catequinas o flavan-3-oles (Alma et al., 2012). En la Figura 6 y 7 se puede observar la estructura química de ambos taninos. Cabe señalar que el extracto de la planta puede contener ambos tipos de taninos (Makkar, Siddhuraju, y Becker, 2007).

La *Passiflora ligularis*, *Passiflora tripartita* y *Passiflora edulis*, al igual que la mayoría de las especies pertenecientes a este género, son reconocidas por presentar un contenido elevado de taninos condensados. Se considera específicamente a las semillas el mayor receptáculo de este tipo de taninos (Méndez, Murillo, Sabogal, Chávez, y Oliveros, 2016). Esto se debe a que los compuestos son más abundantes en plantas leñosas que en las plantas herbáceas. Lo cual beneficia al proceso de tratamiento de aguas residuales, dado que este tipo de taninos contienen un elevado peso molecular (Lattanzio, 2013).

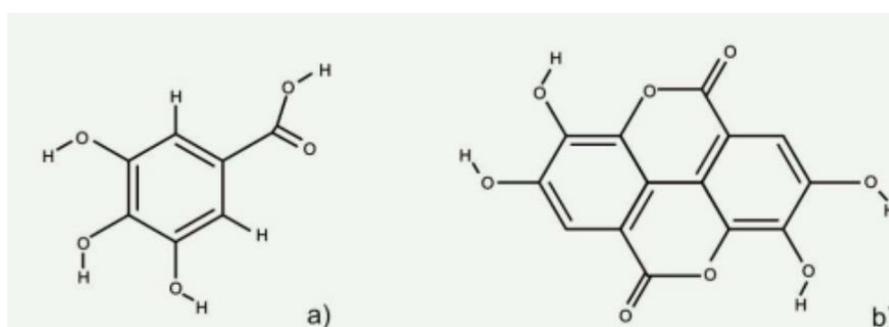


Figura 6. Derivados de la hidrólisis de los taninos hidrolizables a) Ácido gálico y b) Ácido elágico.

Tomado de (Álvarez, 2007).

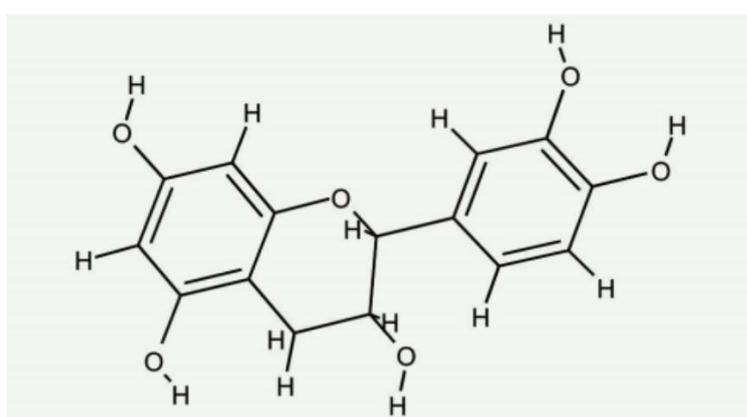


Figura 7. Flavan 3-ol. Monómero estructural del que derivan los taninos condensados.

Tomado de (Álvarez, 2007).

3. METODOLOGÍA

3.1 Características del sistema

El proyecto se basó en la implementación de un reactor biológico encargado de degradar y generar pequeños flóculos durante una fase inicial del proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas. Dado que el funcionamiento del mismo depende de la presencia de microorganismos para oxidar la materia orgánica, se instaló un sistema de aireación prolongado que aseguró una concentración de oxígeno apropiada para el desarrollo de las bacterias, hongos, protozoos, entre otros (Poon et al., 1986). Asimismo, la presencia de los difusores de aire en el sistema garantizó una oportuna homogenización del licor; ayudando a una correcta distribución del oxígeno en el medio (Poon et al., 1986).

A pesar que la biomasa se decanta por sí sola, se desea optimizar dicho proceso mediante la utilización de tecnologías complementarias en el tratamiento semi - intensivo. Por consiguiente, se adicionaron coagulantes naturales que contribuyen a la formación de buenos flóculos capaces de sedimentarse a través de las paredes y depositarse al fondo del sedimentador (Juanicó y Milstein, 2004).

Como se puede apreciar en la Figura 8, el proceso de remediación consistió de 3 operaciones: sistema de lodos activos, coagulación – floculación y sedimentación; en donde 15 L de agua residual doméstica ingresaron al sistema de lodos activos (Figura 9) durante 3 días (una vez que se formó la biomasa). Posteriormente, el agua parcialmente tratada fue llevada al equipo test de jarras; utilizando 200 ml de agua en cada vaso de precipitación. Se adicionaron coagulantes naturales extraídos de tres especies del género *Passiflora*. La coagulación se llevó a cabo durante 10 min y la floculación en 5

min; mientras que, la sedimentación se demoró aproximadamente 40 min y se logró observar la formación de lodos en el fondo.

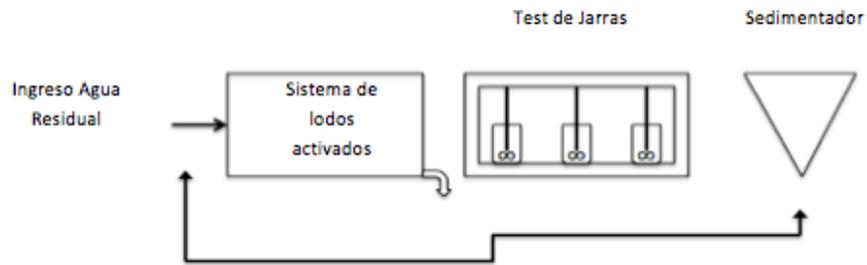


Figura 8. Diseño de la PTAR escala laboratorio



Figura 9. Biorreactor de aireación prolongada

3.2 Muestreo

El punto de muestreo donde se obtuvo el agua residual doméstica está ubicado en el sector de Nayón, específicamente en una cisterna de recolección de aguas servidas que tiene la Universidad de las Américas. Como se puede apreciar en la Figura 10, la muestra se recogió mediante equipos de monitoreo tales como el kemmerer y un recipiente plástico de 5 gal de capacidad. De igual manera, se incluye el equipo de protección personal con el que estuvo el operario.

El agua obtenida fue sometida a análisis fisicoquímicos iniciales, detallados en la sección *Parámetros de Control*. Posteriormente se expuso a aireación prolongada y se añadieron nutrientes en dosis mínimas; con la finalidad de conseguir una rápida adaptación de los microorganismos degradadores al interior del biorreactor.



Figura 10. Recolección de aguas residuales domésticas

3.3 Planteamiento del diseño experimental

El diseño experimental aplicado en este trabajo, permite examinar la influencia que tienen los factores considerados dentro de los distintos tratamientos. Se propuso como factores prioritarios el tipo y el nivel de coagulante. Con respecto al tipo de coagulante, se aplicaron los extractos de la *Passiflora ligularis*,

Passiflora tripartita y *Passiflora edulis*; en tres concentraciones diferentes con valores que van desde los 500, 1000, hasta 1500 μ L. Cabe señalar que se mantuvo la velocidad y el tiempo de agitación tanto en el proceso de coagulación como en el de floculación, es decir, 10 min a 120 rpm y 5 min a 60 rpm respectivamente.

Para corroborar cuál de los tratamientos es el idóneo, se realizaron las respectivas repeticiones para cada uno y se identificaron aquellos que redujeron en mayor medida la carga contaminante del efluente tratado, a partir de los análisis fisicoquímicos. La Tabla 1 indica el diseño propuesto y las variables a considerar.

Tabla 1.
Diseño experimental. Factor 1 (Coagulante) y Factor 2 (Dosis)

Pruebas	Concentración de Coagulante	Repeticiones		
		R1	R2	R3
P1. Extracto de semilla <i>Passiflora ligularis</i> .	C1	C1.1	C1.2	C1.3
	C2	C2.1	C2.2	C2.3
	C3	C3.1	C3.2	C3.3
P2. Extracto de semilla <i>Passiflora tripartita</i> .	C1	C1.1	C1.2	C1.3
	C2	C2.1	C2.2	C2.3
	C3	C3.1	C3.2	C3.3
P3. Extracto de semilla <i>Passiflora edulis</i> .	C1	C1.1	C1.2	C1.3
	C2	C2.1	C2.2	C2.3
	C3	C3.1	C3.2	C3.3

3.4 Parámetros de Control

Para determinar la calidad del agua residual doméstica antes y después de realizar los respectivos tratamientos, se consideraron dentro de los parámetros de control más importantes a la DBO_5 , DQO, sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos fijos, sólidos volátiles y sólidos en suspensión, además de la turbidez, conductividad y pH.

3.4.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), se define como la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos no fotosintéticos, para desarrollar sus procesos metabólicos; que consisten en la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual. Asimismo, permite identificar la calidad del agua puesto que a mayor carga de materia orgánica más oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla (Adekunle et al., 2013).

Para determinar la DBO_5 en el agua residual doméstica, se utilizó el método respirométrico con envases OxiTop. Por lo que, se midieron 432 mL de muestra y se ingresaron en la botella Winkler junto con un magneto. Después, se agregaron dos gránulos de hidróxido de sodio (NaOH) en el capuchón y se procedió a cerrar el frasco. Por último, se colocó el envase de OxiTop con la muestra sobre un agitador magnético, dentro de la incubadora; la misma que permaneció a una temperatura de 20°C. Los resultados fueron obtenidos en un periodo de 5 días, dado que en ese tiempo se alcanza la oxidación de alrededor del 80% del material carbonáceo (Adekunle et al., 2013; Eaton et al., 2012).

3.4.2 Demanda Química de Oxígeno

La DQO es un parámetro que indica la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica que posee una muestra en dióxido de carbono y agua; a partir de un agente oxidante fuerte. Esta oxidación se produce por dicromato de potasio en medio ácido, utilizando como catalizador sulfato de plata y mercurio. Cabe resaltar que no toda la materia orgánica presente en el agua es degradable químicamente (Londoño y Marín, 2009; Contreras, 2001).

Para la determinación de la DQO se utilizó el método espectrofotométrico, en donde se aplicó el Kit *NanoColo* 0-27. Primero, se tomaron 2 mL de muestra y se la introdujo dentro del Kit de DQO. Después se agitó la muestra durante unos minutos y se ingresó al digestor previamente precalentado a una temperatura de 148 °C durante 2 h. Luego del tiempo preestablecido, se limpió el envase de la muestra, para efectuar la medición en el espectrofotómetro (Londoño y Marín, 2009 y Contreras, 2001).

3.4.3 Sólidos totales

La determinación de sólidos totales (ST) permite estimar los contenidos de materias disueltas, sedimentables y suspendidas presentes en el agua; a través del peso del material residuo que queda en la cápsula después de la evaporación de la muestra a una temperatura constante.

El procedimiento para identificar la presencia de sólidos totales en la muestra, consistió en tarar una cápsula de porcelana previamente calentada en el horno durante 1 h a 103 o 105 °C, con el fin de eliminar cualquier humedad que pudo haber guardado el material. Después se adicionaron 25 ml de la muestra, y se ingresó nuevamente al horno a la temperatura preestablecida hasta que la

muestra se evaporó totalmente. Finalmente se pesó la cápsula junto con la muestra seca en la balanza analítica y se procedió a realizar el siguiente cálculo (*Ecuación 1*).

$$\text{mg sólidos totales} = (A-B) \times 1000 / \text{volumen mL}$$

A: peso residuo seco + peso cápsula

B: peso cápsula

Ecuación 1

3.4.4 Sólidos Fijos y Volátiles

Los componentes fijos y volátiles de los sólidos totales pueden ser determinados a partir de la ignición de la muestra, en donde se obtiene una aproximación de la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el agua.

Para identificar los sólidos fijos y volátiles, se llevaron 25 ml de la muestra homogenizada a un crisol previamente tarado; se dejó en la mufla durante 1 h a 550 °C. Posteriormente, se pesó y se reportó como sólidos volátiles al peso perdido, y como sólidos fijos al material presente en la cápsula, como se puede observar en las *Ecuaciones 2 y 3* (Severiche, Castillo, y Acevedo, 2013).

$$\text{mg sólidos fijos} = (A-B) \times 1000 / \text{volumen mL}$$

A: peso residuo + peso cápsula, después de ignición

B: peso cápsula vacía

Ecuación 2

$$\text{mg sólidos volátiles} = (A-B) \times 1000 / \text{volumen mL}$$

Ecuación 3

A: peso del residuo + peso filtro, después de la ignición

B: peso del filtro

3.4.5 Sólidos totales en suspensión

La determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) se basa en el incremento de peso que experimenta un filtro, tras la filtración de una muestra al vacío.

Para la medición de los sólidos suspendidos, primero se calentó en el horno un crisol junto con el papel filtro a una temperatura entre 103°C y 105 °C, y se taró a ambos. Luego se filtraron 25 ml de la muestra en el papel filtro; y el residuo que permaneció en el mismo es llevado nuevamente al horno hasta que se secó en su totalidad. Posteriormente se calculó el peso de los sólidos suspendidos totales utilizando la *Ecuación 4*.

$$\text{mg sólidos totales en suspensión} = (A-B) \times 1000 / \text{volumen mL}$$

A: peso residuo seco + peso filtro

B: peso filtro

Ecuación 4

3.4.6 Sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables son materiales que sedimentan de una muestra de agua por acción de la gravedad en un periodo de tiempo definido (Vives, 2003).

Para determinar los sólidos sedimentables se puede utilizar tanto el método volumétrico como el gravimétrico. En el presente trabajo se escogió el método

gravimétrico debido a que el mismo expresa los resultados en función de la masa (mg/L). El procedimiento consistió en verter una muestra de agua bien mezclada en una probeta, hasta dar una profundidad de 20 cm. Se dejó reposar durante 1 h; y luego se sifoneó 250 ml desde el centro del recipiente a un punto medio entre la superficie del material sedimentado y la superficie líquida. Finalmente se calculó la cantidad de sólidos sedimentables a partir de la Ecuación 5; cabe resaltar que aplicar dicha ecuación se obtuvieron previamente los resultados de sólidos en suspensión (Eaton et al., 2012; Vives, 2003).

$$\text{mg sólidos sedimentables} = SS \text{ (mg/mL)} - SNS \text{ (mg/mL)}$$

SS= Sólidos en suspensión

Ecuación 5

SNS= Sólidos no sedimentables

3.4.7 Turbidez

La turbidez es una medida de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan a través de la muestra sin alteración alguna. Esto se debe principalmente a la presencia de material suspendido y coloidal que genera turbidez en las aguas; por lo tanto cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será el grado de turbidez en el agua. No obstante, este no es un indicativo de la cantidad de partículas presentes en la muestra dado que la medición también depende del tamaño y forma (Eaton et al., 2012; Severiche et al., 2013).

Para identificar la turbidez de la muestra, se utilizó el método nefelométrico. Para ello, se dispuso la muestra en un tubo de ensayo limpio, y se lo llevó al turbidímetro para obtener una lectura directa. Cabe resaltar, que la muestra no

debe presentar burbujas de aire dado que puede alterar los resultados (Severiche et al., 2013).

3.4.8 pH

El potencial de hidrógeno (pH) es un parámetro que mide la concentración de los iones hidronio presentes en el agua. El pHmetro logra determinar la intensidad de las características ácidas y básicas del agua por medio de un electrodo de vidrio que genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de protones de la solución. El valor del pH depende de la temperatura, no obstante, se encuentra libre de interferencias por turbidez, color, material coloidal lo que demuestra que es un método aplicable a todo tipo de aguas (Adekunle et al., 2013)

El pHmetro utilizado fue de marca *HANNA instruments*, y previo al análisis de la muestra se verificó que el equipo este calibrado. Asimismo, antes de usarlo y entre medidas se lavó con agua destilada para evitar la presencia de cualquier impureza.

3.4.9 Conductividad

La conductividad es una medida indirecta de la cantidad de iones presentes en una solución acuosa; las cuales tienen la capacidad de llevar una corriente eléctrica (Eaton et al., 2012). Cabe resaltar que, para efectuar una medición adecuada, se sugiere que las temperaturas del agua sean referidas de 20 °C.

El método consiste en realizar la medición directamente utilizando una celda de conductividad; con lo cual se utilizó nuevamente el equipo marca *HANNA*

instruments pero un electrodo diferente al del pH, destinado a la determinación de conductividad.

3.5 Extracción de compuestos bioactivos

La metodología que se siguió para obtener los coagulantes naturales, se encuentra detallada a continuación:

Primero se realizó la extracción de semillas, las cuales fueron sometidas a un proceso de secado, en donde se utilizó un horno a una temperatura de 50 °C con la finalidad de preservar su estado natural; debido a que la exposición de las mismas a temperaturas mayores podrían inactivar la presencia de estos compuestos (Makkar, 2003). Asimismo, se molieron las semillas con la finalidad de obtener harina vegetal (Anexo 1). Como se puede observar en la Figura 11, se pesaron 80 g de la harina vegetal, y se adicionaron 80 ml de acetona comercial en un vaso de precipitación; se agitó con ayuda de un agitador magnético por 30 min. Además, se colocaron 15 ml de metanol al 95% y se sometieron nuevamente a agitación por 10 min. Las harinas vegetales junto con los solventes fueron sometidas a centrifugación en donde se formó una fase acuosa y otra sólida. La fase acuosa fue denominada mezcla M1 mientras que la otra fase es desechada para evitar la presencia de sólidos inactivos durante el tratamiento (Paredes, 2015).

Asimismo, se adicionaron 20 ml de una solución saturada al 3% de cloruro de sodio (NaCl) junto con la mezcla M1; e inmediatamente fueron llevadas a un embudo de separación. El embudo de separación deberá estar expuesto por 20 min a refrigerantes externos con la finalidad de mantener las temperaturas bajas; y poder obtener una fase blanquecina denominada mezcla M2, la cual es removida y colocada en una caja petri para dejar secar al ambiente durante 48h

(Anexo 2). Una vez obtenido el sólido seco, se diluye en 10 ml de sulfito de sodio Na_2SO_3 al 8% para obtener coagulante natural de forma líquida (Paredes, 2015).

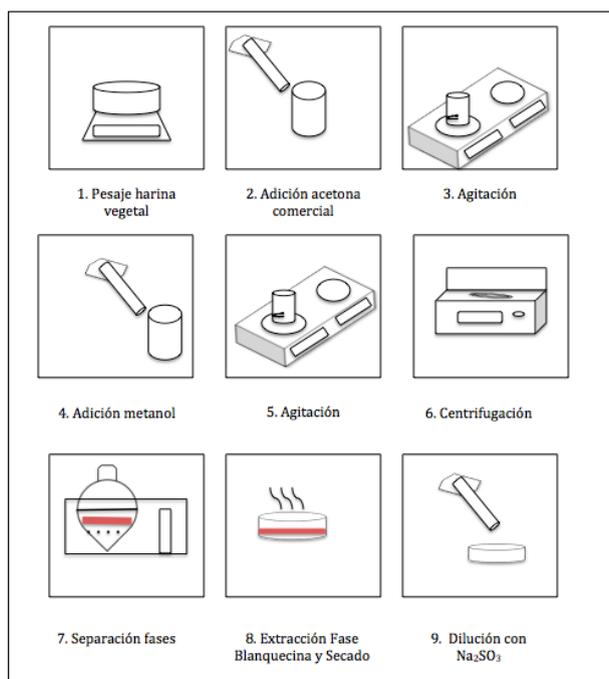


Figura 11. Extracción de Biocoagulantes

La metodología utilizada es corroborada por varios autores que indican, que el sulfito de sodio es un solvente específico a la hora de extraer taninos condensados; y que la adición de solventes orgánicos como metanol y acetona mejora aún más la eficiencia en la obtención de compuestos bioactivos (Bacelo et al., 2016; Makkar, 2003).

3.6 Metodología experimental para la determinación cualitativa de taninos

Para determinar la presencia de taninos en las semillas, se utilizó el método cualitativo propuesto por Price y Butler; que se basa en una valoración colorimétrica. Para la ejecución de este método, se prepararon las siguientes soluciones:

Solución A: Solución de Cloruro Férrico 0,008 M en ácido clorhídrico 0,008 N

Solución B: Solución de Ferricianuro de Potasio 0,003 M

Primero se tomó 1 ml del extracto de cada semilla y se colocó en diferentes tubos de ensayo. Posteriormente, se adicionó 1 ml de la Solución A, y se dejó reposar por 2 min; después se adicionó 1 ml de Solución B y se procedió a agitar y esperar 5 min más (Ramos, Muñoz, Alvarado, y Yáñez, 2010). En la Figura 12, se puede apreciar la coloración que tomaron las muestras después de realizar la experimentación; mientras que la Tabla 2 indica la respectiva valoración cualitativa. La primera muestra (*Passiflora ligularis*) posee un contenido de taninos moderadamente alto, la segunda muestra (*Passiflora tripartita*) al presentar un color azul, está asociada a un contenido alto de taninos que supera a los demás extractos analizados, finalmente la muestra tres (*Passiflora edulis*) presenta un contenido de taninos que varía desde intermedio hasta moderadamente alto. A pesar que se puede visualizar el contenido de taninos; convendría realizar un análisis cuantitativo para ser más exactos. Sin embargo, tomando como referencia otras metodologías realizadas, se ha comprobado que el contenido total de compuestos fenólicos está presente en mayor nivel en el taxo y en menor medida en la granadilla y el maracuyá (Vasco, Ruales, y Kamal-Eldin, 2008).

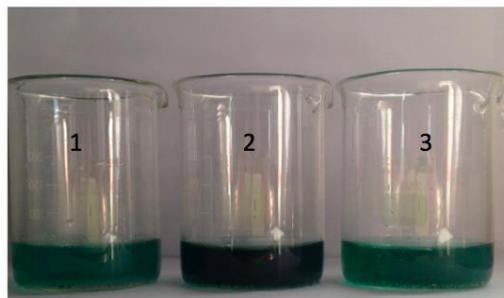


Figura 12. Identificación del contenido de Taninos

- a) 1 Granadilla (G)
- b) 2 Taxo (T)
- c) 3 Maracuyá (M)

Tabla 2.

Valoración colorimétrica del contenido de Tanino

Color	Contenido de Taninos
Azul	Alto
Verde oscuro	Moderadamente Alto
Verde claro	Intermedio Bajo

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se analizó la eficiencia de remoción de la turbidez, DBO, DQO y algunos sólidos como variables respuesta de un diseño factorial de dos factores (tipo de coagulante y dosis de coagulante). Las categorías consideradas para cada uno de los factores son (*granadilla, taxo, maracuyá*) y (*bajo, medio, alto*) respectivamente.

En la Tabla 3, se pueden apreciar los resultados de la caracterización inicial y del primer tratamiento (sistema de lodos activados). Dado que se desea realizar una comparación de cómo evoluciona el tratamiento durante todas sus etapas, se consideraron en todos los casos los mismos parámetros de control.

Tabla 3.
Caracterización previa a la adición de coagulantes naturales.

	Conductividad	Turbidez	DQO	DBO ₅	Sólidos					
					Totales	Disueltos	Suspendidos	Fijos	Sedimentables	Volátiles
C. Inicial	1,42	1,42	177	56	39	7,19	1,16	1,03	4,75	5
Sistema de Lodos Activados	2,31	226,09	39	37	5,29	1,3	1,22	2,85	2,77	2,45

En la Tabla 4 se pueden observar los resultados obtenidos después del tratamiento de aguas residuales domésticas con coagulantes naturales reflejados en los Anexos 5 y 6; estos valores están basados en los análisis de los *Parámetros de Control*. Asimismo, es necesario mencionar que los datos mostrados en la tabla provienen del diseño factorial expresado en la sección *Planteamiento del diseño experimental*; que indica la combinación entre ambos factores (tipo de coagulante) y (nivel de coagulante) hasta obtener un efecto significativo sobre los tratamientos.

Tabla 4.
Resultados correspondientes al tratamiento de aguas residuales domésticas con coagulantes naturales

Nivel	Tipo	Conductividad	Turbidez	DQO	DBO ₅	S. Totales	S. Disueltos	S. Suspendidos	S. Fijos	S. Sedimentables	S. Volátiles
		mS	NTU	mgO ₂ /L	mgO ₂ /L	mg/ml	mg/ml	mg/ml	mg/ml	mg/ml	mg/ml
bajo	G	2,67	5,25	36	35	1,88	1,16	0,68	0,68	0,04	1,20
bajo	G	2,50	16,20	37	35	2,23	1,22	0,70	0,55	0,31	1,68
bajo	G	2,78	18,40	37	35	2,55	1,38	0,88	2,38	0,29	0,18
bajo	T	2,45	23,50	35	35	2,40	1,28	1,03	1,75	0,09	0,65
bajo	T	2,52	22,90	37	34	2,43	1,28	0,98	2,10	0,17	0,33
bajo	T	2,70	20,50	38	34	3,23	1,42	0,98	3,18	0,83	0,05
bajo	M	2,58	15,30	37	35	2,78	1,32	0,93	0,25	0,53	2,53
bajo	M	3,10	14,70	37	34	2,60	1,31	0,98	0,25	0,31	2,36
bajo	M	3,01	8,40	37	34	3,48	1,49	0,96	3,35	1,02	0,13
medio	G	3,10	11,80	37	35	2,73	1,60	0,85	0,25	0,28	2,48
medio	G	2,94	9,40	37	36	2,75	1,40	0,88	0,23	0,48	2,52
medio	G	3,62	13,05	37	36	4,58	1,83	0,86	4,55	1,88	0,03
medio	T	2,91	36,20	37	36	3,53	1,49	0,98	0,75	1,06	2,78
medio	T	2,89	24,50	37	35	3,68	1,38	1,03	0,98	1,27	2,70
medio	T	3,45	21,80	40	35	4,90	1,71	0,99	4,40	2,20	0,50
medio	M	3,15	6,80	37	35	3,68	1,63	0,95	0,80	1,10	2,88
medio	M	3,30	8,80	38	35	3,73	1,79	0,95	0,98	0,99	2,75
medio	M	3,71	8,25	39	35	4,88	1,87	0,90	2,63	2,11	2,25
alto	G	3,68	19,30	37	36	3,78	1,97	1,20	0,48	0,61	3,30
alto	G	2,87	14,10	37	36	2,90	1,65	1,18	0,38	0,08	2,53
alto	G	3,53	12,00	38	36	4,18	1,77	1,24	4,15	1,17	0,03
alto	T	3,152	29,4	36	36	4,625	1,85	0,975	0,075	1,8	4,55
alto	T	3,21	30,3	38	34	4,65	1,682	1,00	0,6	1,968	4,05
alto	T	3,92	31,35	40	35	6,85	1,98	0,9625	6,825	3,9075	0,025
alto	M	3,8	15,2	37	35	5,125	1,95	0,75	2	2,425	3,125
alto	M	2,845	12,3	37	34	5,05	1,83	0,55	1,9	2,67	3,15
alto	M	4,19	8,45	37	34	5,725	2,1	0,7	5,675	2,925	0,05

Tipos de coagulantes:

- a) G (granadilla)
- b) T (taxo)
- c) M (maracuyá)

4.1 Análisis Estadísticos: ANOVA y TUKEY

La información cuantitativa presentada en las Tablas 3 y 4, es sumamente importante para entender la dinámica de los coagulantes en relación con los parámetros estudiados. Sin embargo, se puede facilitar su interpretación a través de la aplicación de métodos estadísticos. El programa StatPlus, contiene la herramienta de análisis de varianza (ANOVA), que se encarga de reducir y transformar los datos iniciales y masivos, en resultados relevantes para el investigador; es decir, esta técnica es apropiada a la hora de explorar datos provenientes de situaciones experimentales (Talaya y Molina, 2014).

En este trabajo en específico, se realizó un análisis de varianza de dos vías, también conocido como ANOVA de dos factores; en el cual participan el nivel de coagulante y el tipo de coagulante. El primero se mide en microlitros y se divide en tres categorías (bajo=500, medio=1000, alto=1500), mientras que el segundo es el tipo de coagulante y se divide en (granadilla, taxo y maracuyá).

Esta herramienta estadística busca evaluar la hipótesis nula; la cual establece que las medias de los factores nivel, tipo de coagulante y sus diferentes combinaciones son iguales a cero. Sin embargo, existe la posibilidad de que exista una hipótesis alternativa que establece que por lo menos uno de los grupos (combinación de las distintas categorías) presenta diferencias estadísticamente significativas. En este sentido, observando los resultados del análisis se concluye que, a un grado de certeza del 95%, la probabilidad de rechazar la hipótesis nula es dependiente del valor p . En otras palabras, si el valor p es menor al valor crítico del 5%, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa.

El Test de Tukey o la prueba de la Diferencia Significativa Honesta (DSH), es una técnica utilizada después de haber encontrado alguna varianza significativa dentro del análisis ANOVA. Se encarga de evaluar múltiples comparaciones entre los factores y sus respectivas categorías, hasta encontrar resultados significativos (Talaya y Molina, 2014).

En el presente trabajo, se pueden observar las tablas de ANOVA para cada parámetro; sin embargo, para el análisis de Tukey se colocaron únicamente las tablas que poseen valores significativos; caso contrario se excluyeron.

4.1.1 Conductividad

Con respecto a la conductividad, se puede observar en la Tabla 5 que el nivel de coagulante (Factor 1) es significativo dentro de la experimentación; debido a que su valor p (0,00133), resultó ser menor al valor crítico del 5%; a diferencia del tipo de coagulante por sí solo (Factor 2) o en conjunto con el nivel (Factor 1 + Factor 2), que presentan medias no significativas.

Tabla 5.
Análisis de Conductividad a partir de ANOVA

ANOVA						
Origen de Variación	SS	d.f.	MS	F	valor p	valor crítico F
Factor #1 (Nivel)	2,76877	2	1,38439	9,78803	0,00133	3,55456
Factor #2 (Coagulante)	0,38623	2	0,19312	1,36539	0,28049	3,55456
Factor #1 + #2 (Nivel x Coagulante)	0,04102	4	0,01026	0,07251	0,9896	2,92774
Variabilidad intra grupos	2,54586	18	0,14144			
Total	5,74188	26	0,22084			

Con la finalidad de determinar específicamente que categoría es significativa, se realizó el análisis TUKEY. En la Tabla 6, se compararon entre sí los niveles de coagulante (Factor 1), indicando que la relación de (alto vs bajo) y (bajo vs medio) son relevantes.

Tabla 6.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel)

TUKEY				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
alto vs bajo	0,76611	6,11128	0,00116	Yes
alto vs medio	0,23722	1,89233	0,39326	No
bajo vs medio	-0,52889	4,21895	0,02078	Yes

Posteriormente se compararon ambos factores (1 y 2), como se puede notar en la Tabla 7, observando que el nivel (alto vs bajo) en relación con el coagulante taxo es el que más varía dentro de este análisis.

Tabla 7.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel) con (Factor 2 - coagulante)

TUKEY: Coagulante TAXO				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
alto vs bajo	0,87033	4,00835	0,02814	Yes
alto vs medio	0,346	1,59351	0,51054	No
bajo vs medio	-0,52433	2,41483	0,22959	No

En la Figura 13 se puede observar cómo se comporta el parámetro conductividad durante el tratamiento. Según el gráfico, este parámetro varía de manera ascendente, es decir, el agua residual inicial tiene un valor de 1,42 mS; incrementa tanto en el proceso de lodos activados, como en el tratamiento de coagulación - floculación. Cabe resaltar que los coagulantes en concentraciones bajas generan una conductividad menor que aquellos que

utilizan altas dosis. El valor de conductividad más alto le pertenece al maracuyá en dosis altas (1500 μL) y la menor conductividad está presente en la granadilla en dosis bajas (500 μL)

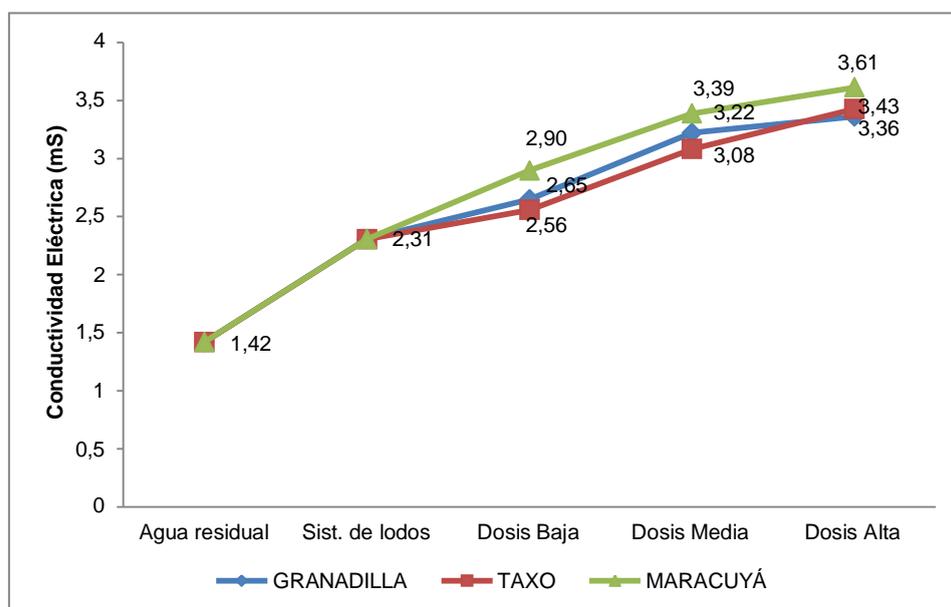


Figura 13. Comportamiento de la conductividad durante el tratamiento

El agua es una sustancia polar, que se caracteriza por ser mala conductora de electricidad, siempre y cuando se encuentre en estado puro. Si la misma contiene minerales o impurezas entre otras sustancias polares disueltas, la corriente eléctrica aumentará; como es el caso de las aguas residuales analizadas (W. Martín, López, y Monteagudo, 2009). A pesar que se justifica que el agua residual doméstica se encuentra dentro de un rango de (1.000 – 2.000 μS), se puede observar que hay un aumento exponencial de este parámetro en el presente trabajo a causa de los coagulantes (Martinez, 1993). Se considera normal este comportamiento, si partimos de la idea que los metabolitos secundarios de las plantas, específicamente los compuestos polifenólicos son solubles en agua, y no todos sus derivados van a participar en el proceso de coagulación. Por lo tanto, algunos compuestos cambiarán únicamente la composición del agua, aumentando la concentración de los iones y consecuentemente la conductividad; corroborando de esta manera los

resultados obtenidos con la bibliografía de distintos autores tales como Levine, Mercurio y Carman (1996). Otro factor que influye sobre el aumento de este parámetro, es el pH debido que los compuestos polifenólicos y la mayoría de sus derivados son ionizables a un pH 8, asemejándose a los resultados de pH obtenidos del agua residual sin tratamiento (Levine et al., 1996).

Los taninos, son los derivados polifenólicos más importantes en el proceso de coagulación; son considerados como polielectrolitos de carga aniónica que actúan sobre la desestabilización de los coloides, lo que tiende a reducir en cierto modo la contaminación (Jeon et al., 2009; Yin, 2010). Sin embargo, como se mencionó en el párrafo anterior, no todos los compuestos participan dentro de la coagulación; las antocianinas, flavonoles e incluso ciertos taninos influyen sobre el aumento de este parámetro (Moreno et al., 2014). Aclarando el papel de los taninos, se conoce que tanto los condensados como los hidrolizables participan en la desestabilización coloidal; sin embargo, el segundo a diferencia de los condensados se caracterizan por su polaridad, lo que implica que los compuestos hidrolizables persistan de manera disuelta (Levine et al., 1996).

La Tabla 7, indica que el taxo es significativamente diferente en el nivel (alto vs bajo). Dicho resultado, se relaciona con el hecho que las semillas de este fruto contienen una elevada cantidad de taninos, verificados dentro del presente trabajo a través del método colorimétrico propuesto por Price y Butler. Asimismo, Vasco et al (2008) indican que el taxo contiene una mayor concentración de compuestos fenólicos solubles, a diferencia de otras semillas de este género. Sin embargo, la adición en exceso de agentes bioactivos puede ocasionar una nueva estabilización de las partículas coloidales provocando un aumento en el parámetro de conductividad (Choy, Prasad, Wu, y Ramanan, 2015).

4.1.2 Turbidez

En relación a la turbidez, se puede observar en la Tabla 8 que la hipótesis nula se rechaza; debido a que el valor p es menor al valor crítico del 5%, con $(3,71 \times 10^{-7})$. Dicha afirmación se debe a que existen diferencias en las medias, específicamente para el Tipo de Coagulante (Factor 2).

Tabla 8.
Análisis de Turbidez a partir de ANOVA

ANOVA						
Origen de Variación	SS	d.f.	MS	F	valor p	valor crítico F
Factor #1 (Nivel)	65,72241	2	32,8612	1,89122	0,17968	3,55456
Factor #2 (Coagulante)	1.308,06	2	654,03065	37,64065	3,71E-07	3,55456
Factor #1 + #2 (Nivel x Coagulante)	95,42037	4	23,85509	1,3729	0,28258	2,92774
Variabilidad intra grupos	312,76167	18	17,37565			
Total	1.781,97	26	68,53714			

Para poder identificar cuál de los 3 tipos de coagulantes es estadísticamente significativo, se realizó la comparación de Tukey; donde se puede constatar en la Tabla 9 que la (granadilla vs taxo) y el (maracuyá vs taxo) son los más representativos.

Tabla 9.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante)

TUKEY				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
granadilla vs maracuyá	2,36667	1,70329	0,46585	No
granadilla vs taxo	-13,43889	9,67195	0,00005	Yes
maracuyá vs taxo	-15,80556	11,37524	0,00005	Yes

En las Tablas 10, 11 y 12, que comparan los Factores 1 y 2 se observa que tanto en el nivel alto, medio y bajo hay valores significativos para (granadilla vs taxo) y (maracuyá vs taxo). A diferencia del grupo de (granadilla vs maracuyá) que no es representativo dentro de la presente experimentación.

Tabla 10.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 -coagulante) con (Factor 1 - nivel)

TUKEY. Nivel ALTO

Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
granadilla vs maracuyá	3,15	1,30888	0,63165	No
granadilla vs taxo	-15,21667	6,3228	0,00083	Yes
maracuyá vs taxo	-18,36667	7,63169	0,00014	Yes

Tabla 11.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 -coagulante) con (Factor 1 - nivel)

TUKEY: Nivel BAJO

Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
granadilla vs maracuyá	0,48333	0,20083	0,98904	No
granadilla vs taxo	-9,01667	3,74659	0,0412	Yes
maracuyá vs taxo	-9,5	3,94742	0,03077	Yes

Tabla 12.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 -coagulante) con (Factor 1 - nivel)

TUKEY. Nivel MEDIO

Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
granadilla vs maracuyá	3,46667	1,44046	0,57504	No
granadilla vs taxo	-16,08333	6,68292	0,00049	Yes
maracuyá vs taxo	-19,55	8,12338	0,00009	Yes

En la Figura 14 se puede observar la reducción de turbidez que se logró a partir de la adición de coagulantes naturales. Antes de empezar el tratamiento, se realizó la caracterización inicial del agua residual doméstica revelando un valor sumamente alto de 177,69 NTU. No obstante, se pudo observar después de la adición de compuestos bioactivos un alto porcentaje de remoción que supera al 80 %. El valor de turbidez más bajo fue de 7,95 NTU, con maracuyá (nivel medio), lo que implica un porcentaje de remoción del 96 %. Mientras que el peor escenario se registró para el taxo (nivel alto) con 30,35 NTU logrando de un porcentaje de remoción del 83 %.

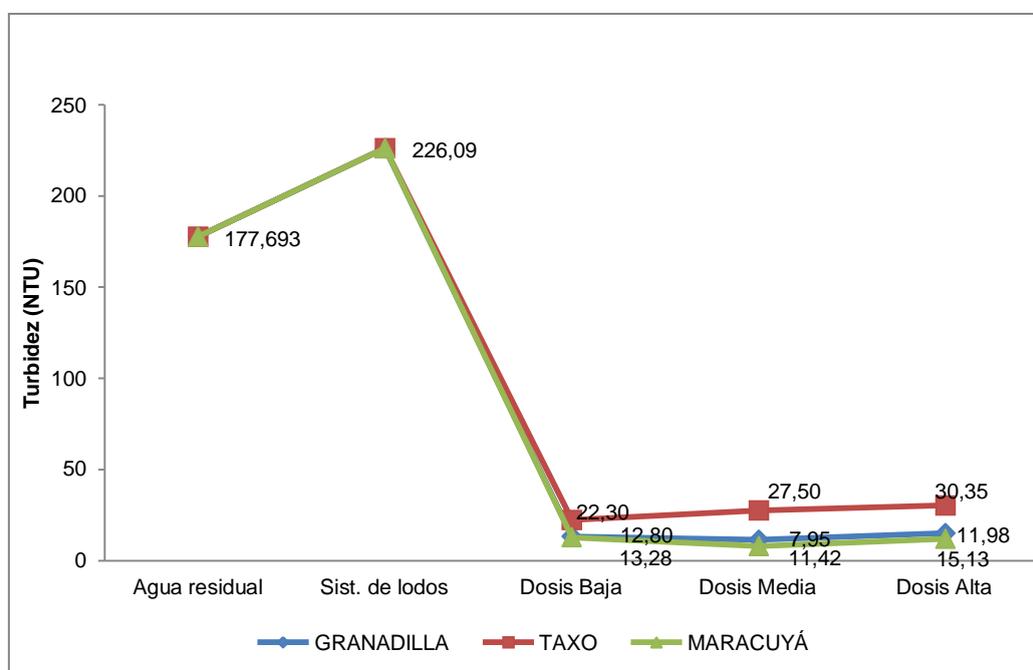


Figura 14. Comportamiento de la turbidez durante el tratamiento.

La turbidez es un parámetro que indica la presencia de materiales dispersos o suspendidos en el agua. El agua residual doméstica contiene cantidades elevadas de dichos materiales, lo que le confiere color y turbidez (Rios, 2011). A pesar que las aguas servidas en este trabajo son dirigidas inicialmente a un tratamiento de lodos activos; no se observa disminución en la turbidez, al contrario, este parámetro aumenta debido que el tratamiento que recibe es interrumpido. No obstante, el efluente parcialmente tratado, fue llevado a un

proceso de coagulación - floculación; donde además de remover en un porcentaje mayor algunos parámetros, se aceleraron y mejoraron los procesos de sedimentación.

Los coagulantes naturales han sido usados por más de 200 años para remover la turbidez de las aguas residuales. Se ha comprobado que los polielectrolitos a diferencia de polímeros no iónicos, tienen efectos positivos en la remoción de dicho parámetro. Como Choy et al (2015) menciona en trabajos previos, la adición de taninos contribuye significativamente en el tratamiento de aguas; porque estos compuestos se encargan de desestabilizar las cargas presentes en los coloides y por ende forman flóculos que sedimentaran. La sedimentación de los lodos interviene sobre la medida de la turbidez, debido a que en la superficie permanece el agua clarificada, que se acerca incluso a la transparencia; y de esta se realizan las respectivas mediciones (Sette, Jiménez, y de Lora, 1990). Asimismo, se considera que el pH dentro de este sistema influye de manera indirecta en la turbidez, dado que los compuestos polifenólicos se desarrollan mejor dentro del pH 8; por lo que el rendimiento del coagulante en el tratamiento recayó sobre la remoción de este parámetro (Choy et al., 2015).

A pesar que los resultados comprueban el poder que el coagulante posee en los tres tipos de semillas, se puede observar dentro del análisis estadístico que lo que más influyó sobre la turbidez es el tipo de coagulante. La *Passiflora tripartita* (taxo), tiene los resultados más altos de turbidez. Se asocia este hecho con la alta cantidad de colorantes y aceites naturales que presentan la semillas, la falta de filtración previo al uso del extracto, y finalmente por la formación de lodos no estables en su totalidad, donde persisten los sólidos suspendidos o disueltos en el agua (Ndabigengesere, Narasiah, y Talbot, 1995).

4.1.3 Demanda Química de Oxígeno

Con respecto a la DQO, se puede observar en la Tabla 13 que ninguno de los factores es estadísticamente significativo dentro de la experimentación; es decir, que la hipótesis nula se acepta. Por consiguiente, no fue necesario utilizar el análisis de Tukey que permite a través de comparaciones múltiples identificar que categorías son representativas.

Tabla 13.
Análisis de la DQO a partir de ANOVA

Origen de Variación	SS	d.f.	MS	F	valor p	valor crítico F
Factor #1 (Nivel)	3,85185	2	1,92593	1,57576	0,23409	3,55456
Factor #2 (Coagulante)	1,40741	2	0,7037	0,57576	0,5723	3,55456
Factor #1 + #2 (Nivel x Coagulante)	2,37037	4	0,59259	0,48485	0,74668	2,92774
Variabilidad intra grupos		22	1,22222			
Total	29,62963	26	1,1396			

En la Figura 15 mostrada a continuación, se puede evidenciar claramente que hubo una disminución en la DQO; comparando el agua residual inicial con el agua tratada. A pesar que hubo resultados positivos con la adición de coagulantes; se puede observar que no influye el tipo de coagulante ni la dosis aplicada durante el tratamiento. Confirmando de esta manera los resultados obtenidos a partir del análisis de varianza.

Asimismo, se pudo observar que los porcentajes de remoción obtenidos no varían significativamente, se encuentran entre un rango de 32 - 36 %. No obstante, a través de estos valores se puede comprobar que hay una desestabilización coloidal y sedimentación durante el tratamiento; dado que los extractos aplicados contienen alta orgánica lo que implicaría un aumento en

este parámetro, si no existirían compuestos biocoagulantes. (Area, Ojeda, Barboza, y Felissia, 2010; Lee, Tay, Hung, y He, 2005)

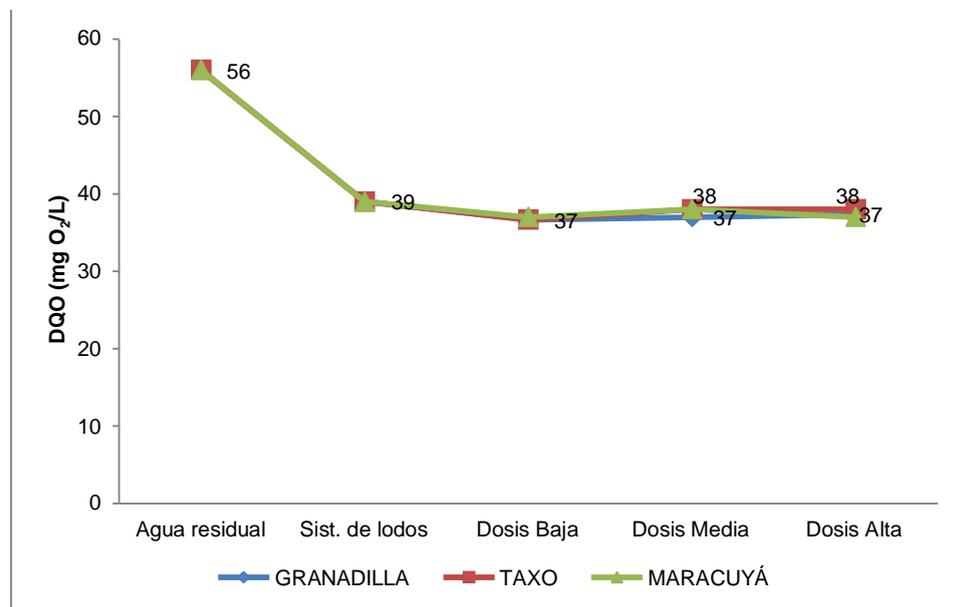


Figura 15. Comportamiento de la DQO durante el tratamiento.

4.1.4 Demanda Biológica de Oxígeno

El análisis estadístico de la DBO₅ se puede observar en la Tabla 14, la cual indica que tanto el nivel de coagulante (Factor 1) como el tipo de coagulante (Factor 2), son significativos, es decir, rechaza la hipótesis nula. Esto se debe a que el Factor 1, tiene un valor p de 0,02033, y el Factor 2 de 0,00349; confirmando que existe una diferencia de medias.

Tabla 14.
Análisis de la DBO5 a partir de ANOVA

Origen de Variación	SS	d.f.	MS	F	valor p	valor crítico F
Factor #1 (Nivel)	2,88889	2	1,44444	4,875	0,02033	3,55456
Factor #2 (Coagulante)	4,66667	2	2,33333	7,875	0,00349	3,55456
Factor #1 + #2 (Nivel x Coagulante)	1,11111	4	0,27778	0,9375	0,46468	2,92774
Variabilidad intra grupos	5,33333	18	0,2963			
Total		14	26	0,53846		

Con la finalidad de determinar específicamente qué categorías influyen sobre el tratamiento, se realizó el análisis TUKEY; donde se compararon (Tabla 15), los grupos relacionados al nivel de coagulante (Factor 1), resultando que las concentraciones (bajo vs medio) son significativas.

Tabla 15.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel)

Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
alto vs bajo		0,55556	3,06186	0,10486 No
alto vs medio		-0,22222	1,22474	0,66791 No
bajo vs medio		-0,77778	4,28661	0,0188 Yes

De igual forma, se puede observar en la Tabla 16 que para el tipo de coagulante (Factor 2), los grupos (granadilla vs maracuyá) y (granadilla vs taxo) son estadísticamente representativos. Cabe mencionar que en la Tabla 17, se muestra de manera más puntualizada, una comparación entre el Factor 2 y el Factor 1; y se concluye que en un nivel alto (dosis 1500 μL) el grupo (granadilla vs maracuyá) es significativo.

Tabla 16.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante)

TUKEY					
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo	
granadilla vs maracuyá		1	5,51135	0,00291	Yes
granadilla vs taxo	0,66667	3,67423	0,04566	Yes	
maracuyá vs taxo	-0,33333	1,83712	0,41381	No	

Tabla 17.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 -coagulante) con (Factor 1 - nivel)

TUKEY: Nivel ALTO					
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo	
granadilla vs maracuyá	1,66667	5,3033	0,00402	Yes	
granadilla vs taxo		1	3,18198	0,08962	No
maracuyá vs taxo	-0,66667	2,12132	0,31435	No	

En la Figura 16 se puede apreciar cómo se comporta la DBO_5 durante la experimentación. Se observa, que hay una disminución de este parámetro tanto en el proceso de lodos activados, como en el tratamiento de coagulación y floculación. A pesar que los valores no difieren significativamente, si se puede identificar una disminución de este parámetro. El agua residual inicial tiene una DBO_5 de 39 mg/L, cuando se dirige al sistema de lodos activados baja a 37 mg/L; y una vez que se adicionan los coagulantes naturales disminuye incluso hasta 34 mg/L.

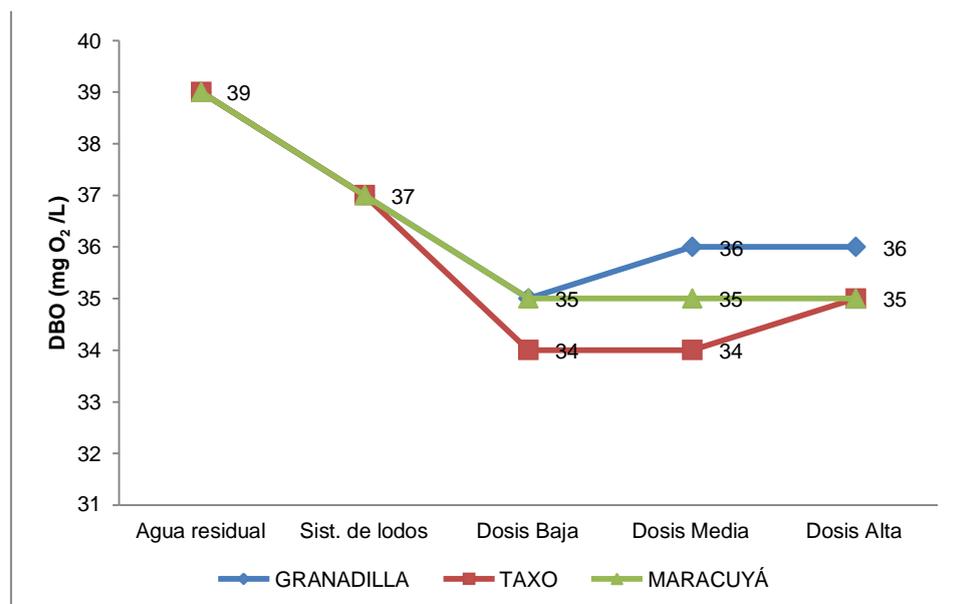


Figura 16. Comportamiento de la DBO₅ durante el tratamiento.

La determinación del oxígeno disuelto (OD) en el agua, es una manera adecuada para determinar la presencia de contaminantes orgánicos, dado que ambas son directamente proporcionales (Singh, Kumar, y Garg, 2016). El agua residual doméstica se caracteriza por tener una cantidad elevada de materia orgánica; por lo que se realizaron métodos analíticos como la determinación de la DBO₅ y DQO para comprobar dicha afirmación. Asimismo, se relacionaron ambos parámetros con la finalidad de observar, si estos compuestos son o no biodegradables. Con respecto al agua de estudio se demostró que la relación DBO₅/DQO tiene un valor de 0.7, es decir, dicha relación es mayor a 0,2, lo que las hace biodegradables (Area, Ojeda, Barboza, y Felissia, 2010).

De acuerdo a lo discutido anteriormente, es una opción factible utilizar el proceso de lodos activos para tratar este tipo de aguas. A través de distintas investigaciones se ha corroborado que este tratamiento es una forma segura de remover los compuestos orgánicos solubles; lo que está ligado a la disminución de la DQO y DBO₅ (Drewnowski y Makinia, 2014; Ramavandi y Farjadfard, 2013). A pesar de la efectividad de este tratamiento aerobio, se considera que los procesos anóxicos tienen un mayor potencial de remover la

DQO; no obstante, se prefieren los procesos aeróbicos porque permiten la opción de adicionar cualquier tipo de coagulante que permita formar un flóculo grande a partir de las partículas que normalmente permanecen estables en el sistema de lodos (Lee, Tay, Hung, y He, 2005).

Se considera una opción sencilla la coagulación posterior al tratamiento biológico; debido que este tratamiento permite un elevado proceso de sedimentación, en una velocidad mayor, lo que permite la reducción en gran medida los sólidos totales suspendidos asociados con los resultados de DBO₅ y DQO (Area et al., 2010; Singh et al., 2016). En otras palabras, la eficiencia de los coagulantes en la presente investigación se mide a través de la disminución de los parámetros tales como; turbidez, sólidos totales, DBO₅ y DQO (Singh et al., 2016).

En los resultados presentados dentro de este trabajo, se observa el potencial que tienen los coagulantes naturales con respecto a la remoción de los valores de algunos parámetros; sin embargo, en el caso de la DQO y DBO₅ la remoción no supera el 30%. Esto se debe a que los extractos de las semillas presentan elevadas cantidades de componentes orgánicos inactivos; lo que imposibilita en cierta manera, tratar el agua en su totalidad. (Lee, Tay, Hung, y He, 2005). Además de los coagulantes utilizados en la presente investigación, se ha observado en otros trabajos que la *Moringa oleífera* (moringa), el quitosano entre otros, presentan resultados parecidos a los obtenidos dentro de esta experimentación (Shan, Matar, Makky, y Ali, 2016).

4.1.5 Sólidos Totales

Con respecto a los sólidos totales, se puede determinar en la Tabla 18 que el valor p del nivel (Factor 1) y coagulante (Factor 2) son significativos; es decir, se rechaza la hipótesis nula que indica que no existen diferencias de las medias.

Tabla 18.
Análisis de Conductividad a partir de ANOVA

ANOVA						
Origen de Variación	SS	d.f.	MS	F	valor p	valor crítico F
Factor #1 (Nivel)	20,83407	2	10,41704	19,14795	0,00003	3,55456
Factor #2 (Coagulante)	6,15185	2	3,07593	5,65398	0,01243	3,55456
Factor #1 + #2 (Nivel x Coagulante)	1,61823	4	0,40456	0,74363	0,57473	2,92774
Variabilidad intra grupos	9,79252	18	0,54403			
Total	38,39667	26	1,47679			

Por lo tanto, se llevó a cabo el método de Tukey, donde se puede confirmar en la Tabla 19, que el Factor 1 es significativo en los 3 casos (alto vs bajo), (alto vs medio) y (bajo vs medio).

Tabla 19.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel)

TUKEY				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
alto vs bajo	2,14611		8,72896	0,00006 Yes
alto vs medio	0,93889		3,81878	0,03715 Yes
bajo vs medio	-1,20722		4,91018	0,00733 Yes

Con respecto al coagulante (Factor 2) se puede identificar en la Tabla 20, que todos los valores son significativos excepto (maracuyá vs taxo). Sin embargo, la comparación entre el coagulante (Factor 2) y nivel (Factor 1) se encuentra expresado en las Tablas 22 y 23; que indica que los factores maracuyá y taxo poseen medias diferentes en la categoría alto vs bajo.

Tabla 20.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 -coagulante)

TUKEY				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
granadilla vs maracuyá	-1,05167	4,27748	0,01905	Yes
granadilla vs taxo	-0,96833	3,93854	0,03117	Yes
maracuyá vs taxo	0,08333	0,33894	0,96897	No

Tabla 21.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 – coagulante) con (Factor 1 – nivel)

TUKEY: Nivel ALTO				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
granadilla vs maracuyá	-1,68333	3,95294	0,03052	Yes
granadilla vs taxo	-1,75833	4,12906	0,02372	Yes
maracuyá vs taxo	-0,075	0,17612	0,99157	No

Tabla 22.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 – coagulante) con (Factor 1 – nivel)

TUKEY: Coagulante MARACUYÁ				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
alto vs bajo	2,35	5,51846	0,00288	Yes
alto vs medio	1,20833	2,8375	0,13938	No
bajo vs medio	-1,14167	2,68095	0,16856	No

Tabla 23.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 – coagulante) con (Factor 1 – nivel)

TUKEY: Coagulante TAXO

Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
alto vs bajo	2,69167	6,32078	0,00084	Yes
alto vs medio	1,34167	3,15061	0,0934	No
bajo vs medio	-1,35	3,17018	0,09102	No

En la Figura 17 se puede observar como es el comportamiento de los sólidos totales durante el tratamiento de agua residual doméstica. A pesar que en el proceso de lodos activos no hay una reducción significativa de los sólidos; los resultados mejoran a partir de la adición de coagulantes naturales. En donde se puede constatar que la eficiencia de los coagulantes aumenta a medida que las concentraciones disminuyen. Por consiguiente, se puede notar en el gráfico los valores de 2,22, 2,68 y 2,95 mg/ml para la granadilla, taxo y maracuyá; cuando se aplican concentraciones bajas (500 μ L) de coagulante, logrando los siguientes porcentajes de remoción del 69 %, 63 % y 59 % respectivamente. Cabe señalar que el valor inicial de este parámetro fue de 7,19 mg/ml.

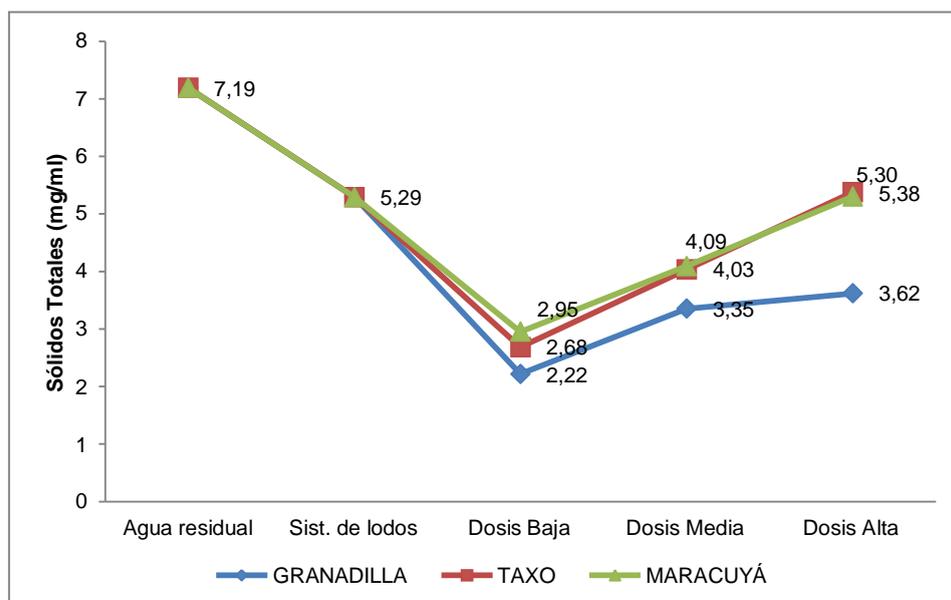


Figura 17. Comportamiento de los sólidos totales durante el tratamiento.

4.1.6 Sólidos Disueltos

En relación a los sólidos disueltos, se puede identificar en la Tabla 24 que el único valor estadísticamente significativo le corresponde al nivel de coagulante (Factor 1), el cual presenta un valor p de 0,00000101.

Tabla 24.
Análisis de Conductividad a partir de ANOVA

ANOVA						
Origen de Variación	SS	d.f.	MS	F	valor p	valor crítico F
Factor #1 (Nivel)	1,35442	2	0,67721	32,71807	1,01E-06	3,55456
Factor #2 (Coagulante)	0,11995	2	0,05998	2,89759	0,08111	3,55456
Factor #1 + #2 (Nivel x Coagulante)	0,03354	4	0,00839	0,40515	0,80248	2,92774
Variabilidad intra grupos	0,37257	18	0,0207			
Total	1,88049	26	0,07233			

Para definir de mejor manera las categorías, se implementó el análisis de Tukey, el cual expone dentro de la Tabla 25 que todos los grupos (alto vs bajo), (alto vs medio) y (bajo vs medio) son significativos.

Tabla 25.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel)

TUKEY				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
alto vs bajo	0,54656	11,39692	0,00005	Yes
alto vs medio	0,23211	4,84004	0,00816	Yes
bajo vs medio	-0,31444	6,55688	0,00059	Yes

En las Tablas 26, 27 y 28 se comparan ambos factores y se concluye que las medias que más difieren son: granadilla (alto vs bajo) y (bajo vs medio), maracuyá (alto vs bajo) y (bajo vs medio) y taxo (alto vs bajo) (alto vs medio). Indicando que en la presente experimentación influyen las dosis aplicadas,

principalmente el nivel bajo (500 μ L) presenta los mejores resultados asociados con los porcentajes de remoción más altos.

Tabla 26.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 – nivel) con (Factor 2 – coagulante)

TUKEY: Coagulante GRANADILLA

Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
alto vs bajo	0,543	6,53721	0,00061	Yes
alto vs medio	0,18667	2,24729	0,27568	No
bajo vs medio	-0,35633	4,28992	0,0187	Yes

Tabla 27.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 – nivel) con (Factor 2 – coagulante)

TUKEY: Coagulante MARACUYÁ

Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
alto vs bajo	0,58567	7,05088	0,00029	Yes
alto vs medio	0,19667	2,36768	0,24194	No
bajo vs medio	-0,389	4,68319	0,01038	Yes

Tabla 28.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 – nivel) con (Factor 2 – coagulante)

TUKEY: Coagulante TAXO

Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
alto vs bajo	0,511	6,15196	0,00108	Yes
alto vs medio	0,313	3,76823	0,03995	Yes
bajo vs medio	-0,198	2,38373	0,23768	No

En la Figura 18 se puede observar que los sólidos disueltos se redujeron en el proceso de coagulación - floculación. A pesar que los valores no difieren significativamente, se pudo constatar que la adición de coagulantes naturales reduce la cantidad de sólidos disueltos. Los porcentajes de remoción más altos fueron 59 %, 56 % y 55 % para granadilla, taxo y maracuyá en dosis bajas. No obstante, los porcentajes de remoción con dichos extractos, pero a diferentes dosis (medias y altas) se mantuvieron en un rango de 40 – 50 %; mostrando la eficiencia que posee los coagulantes naturales sobre el tratamiento de aguas residuales.

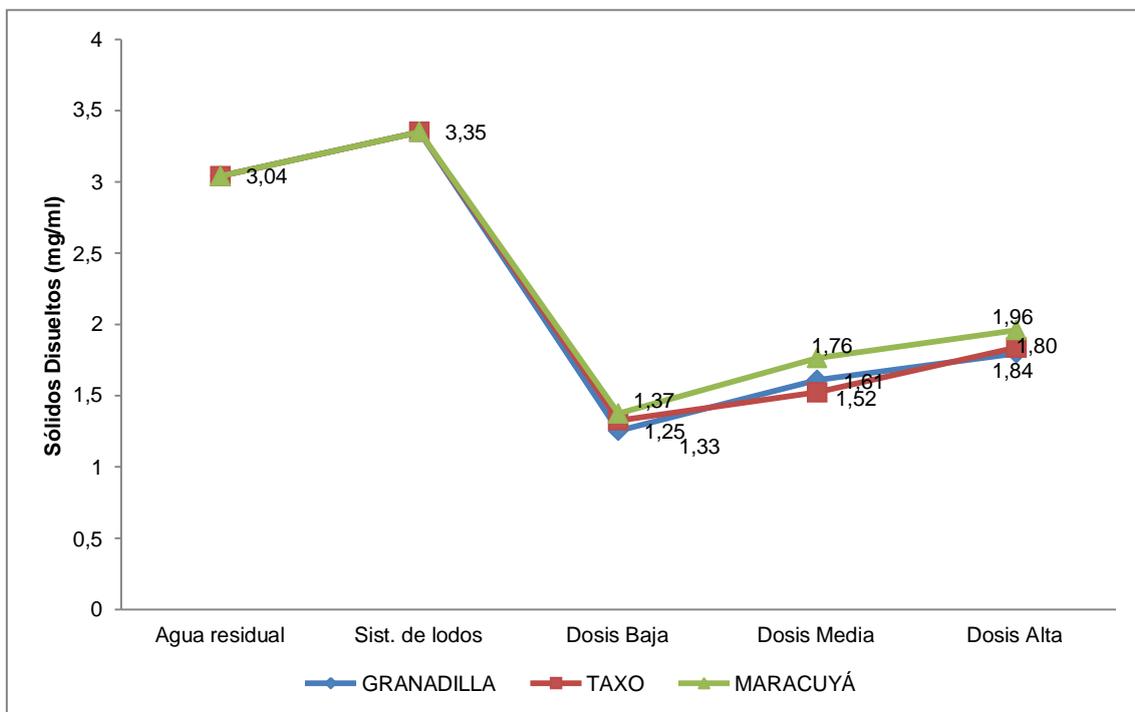


Figura 18. Comportamiento de los sólidos disueltos durante el tratamiento.

4.1.7 Sólidos Suspendidos

En la Tabla 29 se puede observar que existen diferencias significativas con respecto al parámetro de sólidos suspendidos. La variación está presente en el Factor 2 (Coagulante) y entre la combinación del Factor 1 (Nivel) + Factor 2 con un valor p de 0,00018 y 0,000000011 respectivamente.

Tabla 29.
Análisis de Conductividad a partir de ANOVA

ANOVA						
Origen de Variación	SS	d.f.	MS	F	valor p	valor crítico F
Factor #1 (Nivel)	0,01212	2	0,00606	2,00191	0,16405	3,55456
Factor #2 (Coagulante)	0,08719	2	0,04359	14,40344	0,00018	3,55456
Factor #1 + #2 (Nivel x Coagulante)	0,47819	4	0,11955	39,49904	1,11E-08	2,92774
Variabilidad intra grupos	0,05448	18	0,00303			
Total	0,63198	26	0,02431			

En el análisis de Tukey se puede identificar que el tipo de coagulante (Factor 2), es representativo para los grupos (granadilla vs maracuyá) y (maracuyá vs taxo).

Tabla 30.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante)

TUKEY					
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo	
granadilla vs maracuyá	0,0875	4,77145	0,00907	Yes	
granadilla vs taxo	-0,05	2,72654	0,15953	No	
maracuyá vs taxo	-0,1375	7,49799	0,00017	Yes	

Refiriéndose a la comparación entre factores, se puede determinar en la Tabla 31 que para el nivel alto todos los grupos son representativos; a diferencia del nivel bajo (Tabla 32) donde únicamente los grupos (granadilla vs maracuyá) y (granadilla vs taxo) poseen una media diferente. Finalmente, el nivel medio expuesto en la Tabla 33 tiene al grupo (granadilla vs taxo) como significativos.

Tabla 31.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante) con (Factor 1 - nivel)

TUKEY: Nivel ALTO				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
granadilla vs maracuyá	0,5375	16,92233	0,00005	Yes
granadilla vs taxo	0,225	7,08377	0,00028	Yes
maracuyá vs taxo	-0,3125	9,83856	0,00005	Yes

Tabla 32.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante) con (Factor 1 - nivel)

TUKEY: Nivel BAJO				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
granadilla vs maracuyá	-0,20417	6,42786	0,00071	Yes
granadilla vs taxo	-0,24167	7,60849	0,00015	Yes
maracuyá vs taxo	-0,0375	1,18063	0,68682	No

Tabla 33.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante) con (Factor 1 - nivel)

TUKEY: Nivel MEDIO				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
granadilla vs maracuyá	-0,07083	2,23007	0,28076	No
granadilla vs taxo	-0,13333	4,19779	0,02144	Yes
maracuyá vs taxo	-0,0625	1,96771	0,36612	No

Asimismo, es importante hacer la comparación entre el Factor 1 y Factor 2, como se muestra en la Tabla 34, donde se observa que la granadilla es el tipo de coagulante más representativo en los grupos (alto vs bajo) y (alto vs medio).

Tabla 34.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel) con (Factor 2 - coagulante)

TUKEY: Coagulante GRANADILLA				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor p	Significativo
alto vs bajo	0,45417	14,29871	0,00005	Yes
alto vs medio	0,34167	10,75683	0,00005	Yes
bajo vs medio	-0,1125	3,54188	0,05498	No

En la Figura 19 se puede observar la cantidad de sólidos suspendidos presentes al inicio y final del tratamiento. Los valores disminuyeron a medida que avanzó el tratamiento. Por consiguiente, se pudo identificar que los porcentajes de remoción de este tipo de sólidos son considerablemente buenos, la mayoría superan el 75 %; corroborando el efecto que tiene los coagulantes sobre la formación de macroflóculos que tienden a sedimentarse.

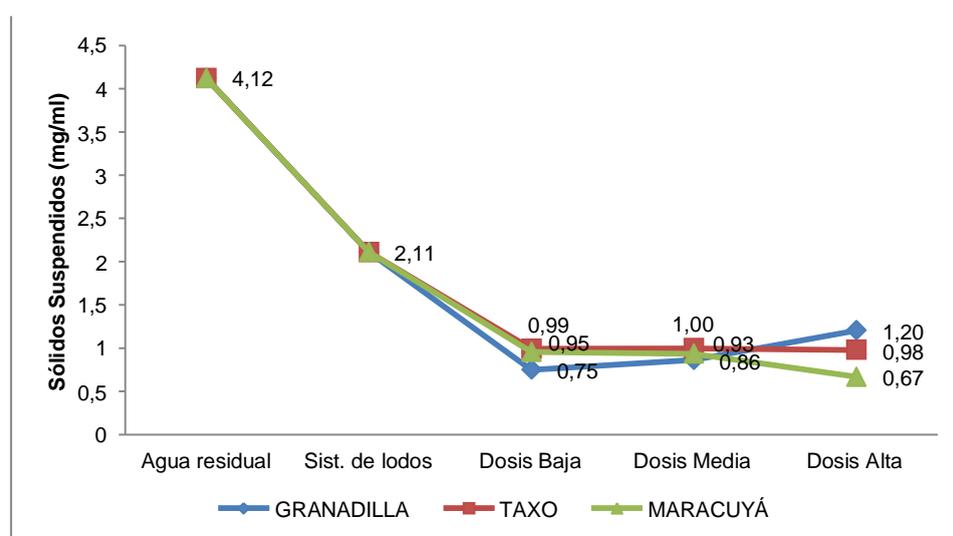


Figura 19. Comportamiento de los sólidos suspendidos durante el tratamiento.

4.1.8 Sólidos Fijos

Con respecto a los sólidos fijos se puede observar en la Tabla 35, que ninguno de los factores son significativos dentro de la experimentación, es decir, que la hipótesis nula se acepta. Por este motivo, no fue necesario utilizar el método Tukey.

Tabla 35.
Análisis de sólidos fijos a partir de ANOVA

Origen de Variación	SS	d.f.	MS	F	valor p	valor crítico F
Factor #1 (Nivel)	3,75913	2	1,87956	0,42783	0,65838	3,55456
Factor #2 (Coagulante)	2,76998	2	1,38499	0,31525	0,73355	3,55456
Factor #1 + #2 (Nivel x Coagulante)	3,66986	4	0,91747	0,20883	0,93015	2,92774
Variabilidad intra grupos	79,07864	18	4,39326			
Total	89,2776	26	3,43375			

A pesar que no hay valores estadísticamente significativos, se puede ver en la Figura 20 que hay una disminución considerable de los sólidos fijos en comparación con el agua inicial. De igual manera este parámetro siguió reduciendo cuando se adicionaron coagulantes naturales; mayoritariamente cuando se expusieron a dosis bajas. No obstante, el taxo fue la excepción y se asocia dicho comportamiento con la presencia de compuestos inactivos (en mayor proporción a diferencia de la granadilla y maracuyá) que tienden a persistir en el agua.

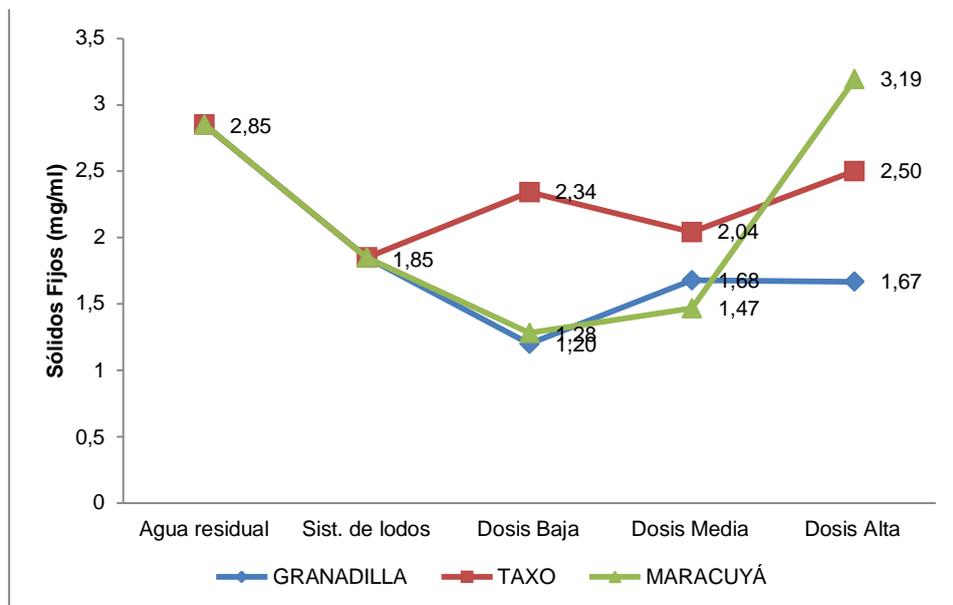


Figura 20. Comportamiento de los sólidos fijos durante el tratamiento.

4.1.9 Sólidos Sedimentables

En la Tabla 36, mostrada a continuación se puede observar que existen medias diferentes con respecto a los valores de sólidos sedimentables. Este parámetro se ve afectado por el nivel de coagulante (Factor 1) y el tipo de coagulante (Factor 2); dado que el valor p es menor al valor crítico del 5%.

Tabla 36.
Análisis de sólidos sedimentables a partir de ANOVA

ANOVA						
Origen de Variación	SS	d.f.	MS	F	valor p	valor crítico F
Factor #1 (Nivel)	10,84691	2	5,42346	13,67318	0,00024	3,55456
Factor #2 (Coagulante)	5,47391	2	2,73696	6,9002	0,00596	3,55456
Factor #1 + #2 (Nivel x Coagulante)	3,48808	4	0,87202	2,19846	0,11019	2,92774
Variabilidad intra grupos	7,13968	18	0,39665			
Total	26,94858	26	1,03648			

Con respecto al análisis de Tukey se puede observar para el Factor 1 en la Tabla 37, que los niveles más representativos son (alto vs bajo) y (bajo vs medio); mientras que para Factor 2 los grupos significativos son (granadilla vs maracuyá) y (granadilla vs taxo).

Tabla 37.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel)

TUKEY				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
alto vs bajo		1,54928	7,37985	0,00019 Yes
alto vs medio		0,68733	3,27405	0,07928 No
bajo vs medio		-0,86194	4,1058	0,02455 Yes

Tabla 38.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 –coagulante)

TUKEY				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
granadilla vs maracuyá	-0,9945	4,73721	0,00955	Yes
granadilla vs taxo	-0,91022	4,33576	0,01747	Yes
maracuyá vs taxo	0,08428	0,40145	0,95676	No

Tabla 39.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 2 - coagulante) con (Factor 1 - nivel)

TUKEY: Nivel ALTO				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
granadilla vs maracuyá	-2,0575	5,65845	0,00232	Yes
granadilla vs taxo	-1,94267	5,34264	0,00378	Yes
maracuyá vs taxo	0,11483	0,31581	0,973	No

De acuerdo con la Tabla 40, la comparación entre grupos (alto vs bajo) es significativa; una vez considerado este factor se puede observar (Tabla 41) que el coagulante taxo en dicho rango es el más representativo.

Tabla 40.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel) con (Factor 2 - coagulante)

Tukey HSD				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
alto vs bajo	2,05183	5,64286	0,00237	Yes
alto vs medio	1,27833	3,51562	0,05702	No
bajo vs medio	-0,7735	2,12725	0,31246	No

Tabla 41.
Análisis Tukey. Comparación entre grupos (Factor 1 - nivel) con (Factor 2 - coagulante)

Factor 2 (Coagulante) = taxo				
Grupos	Diferencia	Test Estadístico	valor <i>p</i>	Significativo
alto vs bajo	2,19317	6,03155	0,00131	Yes
alto vs medio	1,04533	2,87483	0,13305	No
bajo vs medio	-1,14783	3,15672	0,09265	No

En la Figura 21 se puede observar como los sólidos sedimentables disminuyen de manera significativa durante el tratamiento. De 3,23 mg/ml que posee el agua residual doméstica se reduce a 1,77 mg/ml, después del tratamiento de lodos activos. Disminuye aún más cuando el agua parcialmente tratada se dirige al proceso de coagulación - floculación; a dosis de coagulantes (bajas y medias) generando de esta manera un mayor porcentaje de remoción. Los porcentajes de remoción más altos son 93 %, 89 %, 81 % para granadilla, taxo y maracuyá en dosis bajas, lo cual indica que el uso de coagulantes naturales influye sobre el volumen de lodos. Sin embargo, la adición de dichos coagulantes en dosis altas, no mejora la calidad de los mismos dado que no participan todos los biocompuestos sobre la estabilidad de los lodos y por ende tienden a aumentar.

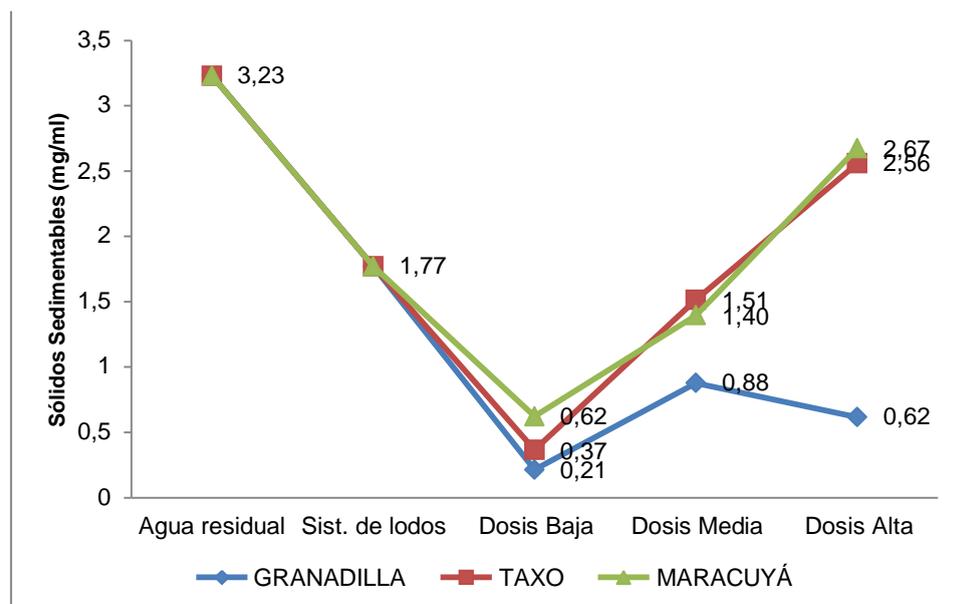


Figura 21. Comportamiento de los sólidos sedimentables durante el tratamiento

4.1.10 Sólidos Volátiles

Analizando el parámetro de sólidos volátiles, se puede observar en la Tabla 42 que dentro de la experimentación se acepta la hipótesis nula, es decir no hay diferencias en las medias de los factores. Por consiguiente, no fue necesario implementar el método de Tukey

Tabla 42.
Análisis de sólidos volátiles a partir de ANOVA

ANOVA						
Origen de Variación	SS	d.f.	MS	F	valor p	valor crítico F
Factor #1 (Nivel)	8,77363	2	4,38682	2,12852	0,14799	3,55456
Factor #2 (Coagulante)	1,61813	2	0,80907	0,39257	0,68096	3,55456
Factor #1 + #2 (Nivel x Coagulante)	3,90091	4	0,97523	0,47319	0,75484	2,92774
Variabilidad intra grupos	37,09747	18	2,06097			
Total	51,39015	26	1,97654			

En la Figura 22, se puede observar cómo los sólidos volátiles se comportan durante el tratamiento. Los resultados de la caracterización inicial del agua, en

comparación con los datos obtenidos después del tratamiento de lodos activos; no presenta una variación significativa. Sin embargo, igual que en la mayoría de los casos los coagulantes en dosis bajas generan un mejor tratamiento. Con respecto a la adición de coagulantes naturales en dosis medias y altas se puede evidenciar un aumento en los resultados, debido a que la determinación de sólidos volátiles indica la cantidad de materia orgánica; y como se ha mencionado a mayor concentración de coagulante, mayor cantidad de compuestos orgánicos en la muestra (Sandoval, Urreola, Laine, Canepa, y Lerninde, 2011)

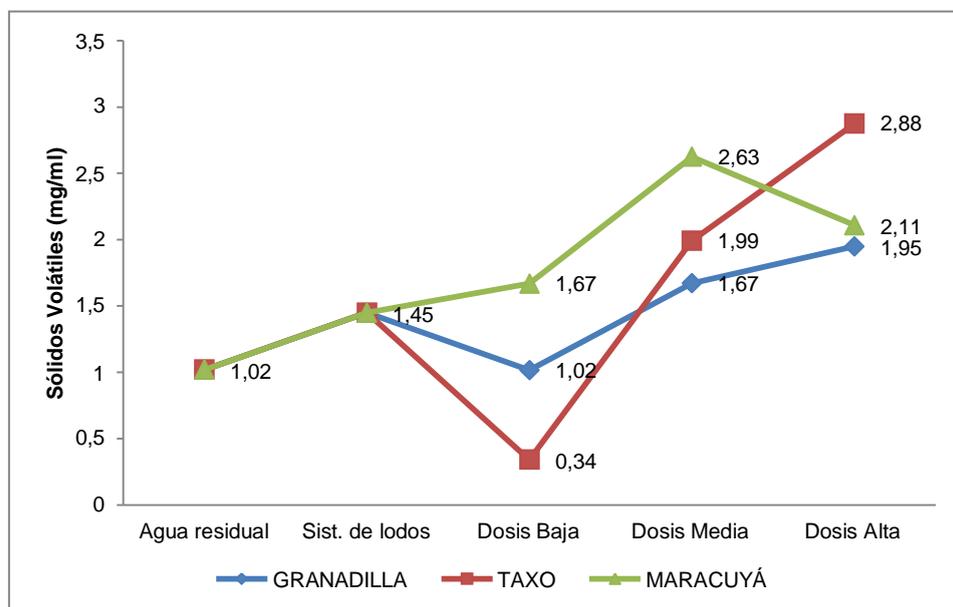


Figura 22. Comportamiento de los sólidos volátiles durante el tratamiento

El agua residual doméstica se caracteriza por tener una carga elevada de contaminantes que incluyen diferentes tipos de sólidos; la determinación de los mismos es una manera efectiva para conocer la calidad de este recurso. Por consiguiente, en el presente trabajo se analizó el comportamiento de los sólidos durante todo el tratamiento con la finalidad de conocer el porcentaje de remoción que se alcanzó en los distintos procesos (lodos activados y coagulación - floculación) (Rügner, Schwientek, Beckingham, Kuch, y Grathwohl, 2013). Con respecto a la caracterización inicial, se pudo observar

que los resultados correspondientes a los sólidos totales son elevados; no obstante, estos van disminuyendo a medida que el tratamiento avanza. Se ha comprobado que los sistemas aerobios, como es el proceso de lodos activos influyen principalmente sobre la remoción de los sólidos suspendidos. Esto se debe a que la mayoría de ellos son de naturaleza orgánica y en menor porción inorgánica, permitiendo de esta manera una oxidación de la materia orgánica por parte de los microorganismos (Shammas y Wang, 2010).

Sin embargo, es importante aclarar que el agua residual también muestra una concentración significativa de sólidos disueltos, incluso mayor que los sólidos suspendidos. Por lo tanto, se implementó dentro de este proyecto la coagulación - floculación. Este proceso es adecuado para desestabilizar ambos tipos de sólidos de manera más eficiente; sus resultados son iguales o mejores con la adición de coagulantes naturales o polielectrolitos que con la adición de coagulantes químicos (Rai, Upadhyay, Ojha, y Singh, 2012). Por lo tanto, el presente trabajo coincide con los planteamientos realizados por Arias y Méndez (2014), afirmando de esta manera que la adición de biopolímeros logra remover en un alto porcentaje los sólidos suspendidos, disueltos, volátiles; en general de los sólidos totales.

Cabe resaltar que independientemente del tipo y dosis del coagulante, no se podrán remover todos los sólidos disueltos. Se conoce que estos se dividen en sólidos coloidales y disueltos; los segundos son mayoritariamente iones o sales que permanecen como disolución verdadera en el agua y por lo tanto persisten. Por consiguiente, este planteamiento confirma por qué la turbidez se reduce en gran medida durante el tratamiento; mientras que la conductividad eléctrica relacionada a los iones y sales aumenta con la adición de coagulantes (Jiménez, 2001).

Con respecto a los sólidos fijos, volátiles y sedimentables; se conoce que estos son otra manera de determinar la concentración de sólidos totales. No obstante, su determinación no es exacta porque tanto la materia orgánica como la inorgánica se volatilizan y descomponen en el proceso de ignición. Independientemente, relacionando todos los parámetros se puede observar que hay remoción de sólidos; sin embargo, aún se evidencia materia orgánica natural especialmente en las muestras que utilizan el nivel de coagulante alto (1500 μL) (Devesa-Rey, Bustos, Cruz, y Moldes, 2012).

4.2 Lodos

Con respecto a los resultados mostrados anteriormente, se puede comprobar que hay una remoción de los contaminantes presentes en el agua residual doméstica, especialmente en el proceso de coagulación – floculación. Sin embargo, en este trabajo además de mejorar la calidad del efluente se logró disminuir el tiempo de retención hidráulico en el reactor biológico; como consecuencia de la sedimentación de flóculos más compactos y densos que tienden a descender a velocidades mayores (Aguilar, 2002). En la Figura 23 se puede observar el comportamiento de los lodos según el tipo y nivel de coagulante; y se puede notar que la *Passiflora edulis* (maracuyá) en dosis bajas (500 μL) en comparación con los otros experimentos, presenta lodos de mejor calidad que resisten al movimiento; es decir, el macroflóculo no se deshizo con facilidad cuando se realizó una agitación.

Por consiguiente, los resultados obtenidos se asemejan a los de la autora Almeida (2015), indicando que la adición de coagulantes pueden mejorar la eficiencia de un sistema de lodos activados. El uso de biocoagulantes a diferencia de las sustancias sintéticas, es una opción factible, dado que se consiguen lodos biodegradables que pueden ser reciclados (Ramavandi y Farjadfard, 2013).

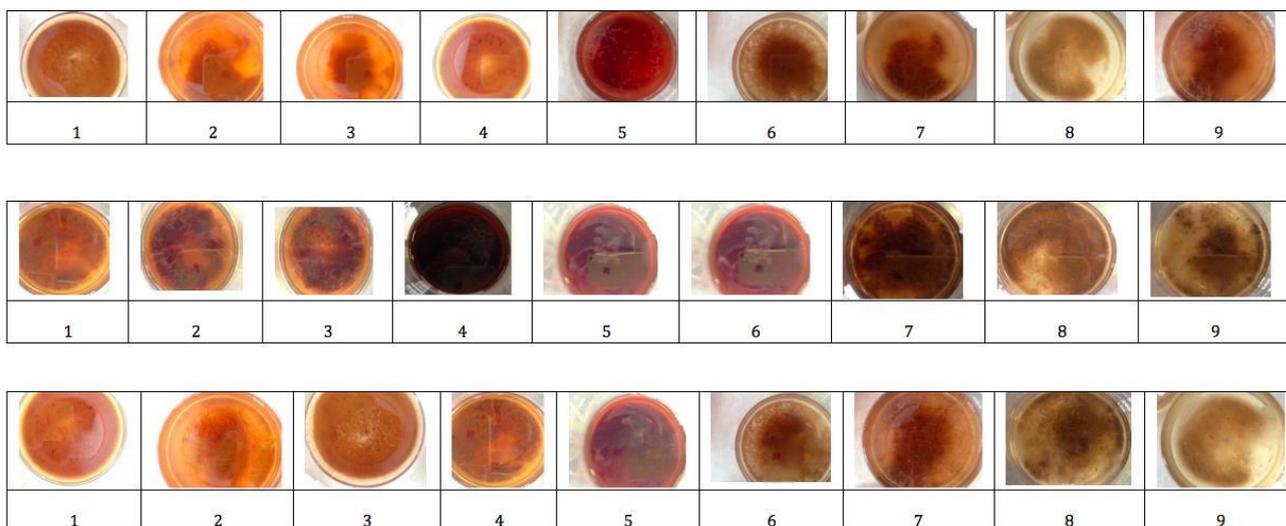


Figura 23. Obtención de lodos después del tratamiento de Coagulación – Flocculación

- a) 1.G (500 μ L)
- b) 2.G (1000 μ L)
- c) 3.G (1500 μ L)
- d) 4.T (500 μ L)
- e) 5.T (1000 μ L)
- f) 6.T (1500 μ L)
- g) 7.M (500 μ L)
- h) 8.M (1000 μ L)
- i) 9.M (1500 μ L)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En la presente investigación, se evaluaron tres tipos de semillas pertenecientes al género *Passiflora*; como posibles coagulantes. Este podría ser el primer reporte que evalúa la eficiencia de la *Passiflora ligularis*, *Passiflora tripartita* y *Passiflora edulis* en el tratamiento de aguas residuales. Se le atribuye la actividad coagulante a la presencia de ciertos compuestos polifenólicos; especialmente de taninos, los cuales poseen un alto peso molecular y cargas aniónicas que permiten desestabilizar a los coloides presentes en el agua residual, de tal manera que disminuyen significativamente los parámetros de turbidez, DQO, sólidos disueltos y sólidos suspendidos.

Para verificar el progreso del tratamiento, se realizó la caracterización inicial del agua residual doméstica a partir de métodos estándar, lo cual reveló parámetros de contaminación elevados. Sin embargo, los análisis realizados a los efluentes obtenidos posteriores al sistema de lodos activos y el proceso de coagulación – floculación, muestran los siguientes porcentajes de remoción; turbidez >80 %, DQO >30 %, ST >40%, SST >70%. Demostrando que la adición de coagulantes naturales tiene un efecto positivo sobre la experimentación.

Si bien la remoción de los parámetros no se considera significativamente diferente entre las especies *Passiflora ligularis*, *Passiflora tripartita* y *Passiflora edulis*; se pudo observar que mientras más bajo sea el nivel de coagulante menos materia orgánica estará presente, debido a que los extractos obtenidos también contienen compuestos inertes (compuestos polifenólicos no coagulantes) o impurezas (remanentes del proceso de molienda) que influyen

negativamente sobre el tratamiento. Por consiguiente, el nivel bajo (500 μL) generó los mejores resultados sobre la calidad del agua.

Con respecto a la eficiencia del sistema de lodos activados, se puede observar que la coagulación con biocompuestos es efectiva. Además de generar un menor volumen de lodos biodegradables, se disminuye la retención hidráulica dentro del biorreactor. Tomando en cuenta estos factores, se concluye que si influyó el tipo de coagulante. Por lo tanto, se considera como la mejor opción a la *Passiflora edulis* (maracuyá) en dosis bajas porque genera lodos que tienden a permanecer estables y con velocidades de sedimentación mayores.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda añadir un ayudante de coagulación de preferencia natural en el tratamiento de aguas residuales; con la finalidad de mejorar la calidad de los lodos. Las tres especies *Passiflora ligularis*, *Passiflora tripartita* y *Passiflora edulis* generaron buenos resultados con respecto a los parámetros analizados; por consiguiente se podría complementar con este tipo de sustancias.

A pesar de que se realizó una determinación cualitativa de taninos, a quienes se le atribuye el tratamiento generado, se recomienda realizar análisis cuantitativos para conocer precisamente la cantidad de estos compuestos bioactivos e incluso poder diferenciar entre la presencia de taninos condensados e hidrolizables.

Convendría experimentar con concentraciones menores de biocoagulante, dado que en algunos análisis se demuestra que la adición de la dosis más baja resultó ser la mejor.

Se recomienda para futuras investigaciones experimentar con efluentes que tengan contaminantes inorgánicos, de manera que se pueda evaluar su comportamiento y eficacia con respecto a la remoción dichos contaminantes.

Se deberían experimentar con especies silvestres del género *Passiflora*, puesto que se ha demostrado que pueden contener igual o mayor cantidad de compuestos bioactivos necesarios en la coagulación. Por lo tanto, se podría sacar potencial de estas plantas que son consideradas más resistentes, y que permitiría el desarrollo de algunas comunidades a través de la diversificación de cultivos.

Se recomienda implementar alguna metodología que cuantifique el volumen de los lodos generados en el tratamiento; considerando el tiempo de sedimentación, la dispersión de los flóculos y la compactación de los mismos. Con la finalidad de comparar la estabilidad de lodos obtenidos después del tratamiento con los coagulantes naturales, y sin la adición de dichos bioextractos.

REFERENCIAS

- Adekunle, A. S., Eniola, I. T. K., Al-janabi, Z. Z., Altansukh, O., Carr, G. M., Rickwood, . J., ... Irvine, K. N. (2013). Impact Of Industrial Effluents On Quality Of Segment Of Asa River Within An Industrial Estate In Ilorin, Nigeria. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 1(3). Recuperado el 27 de julio del 2016 de <http://doi.org/10.1007/s10661-005-9092-6>
- Aguilar, M. I. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*. Universidad de Murcia. Recuperado el 20 de octubre del 2016 de <https://books.google.com.ec/books?id=8vIQBXPvhAUC>
- Alma, V., Alvarez, E., Lopez, J., Wall, A., y de la Rosa, L. (2012). Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnociencia*, 6(2). Recuperado el 11 de mayo del 2016 de <http://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7699>
- Almeida, C. (2015). *Evaluación del uso de polímeros en la concentración de biomasa en un reactor de lodos activados*. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 22 de julio del 2016 de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11126>
- Álvarez, J. (2007). Tanino: La revolución enológica mito o realidad. *Revista Enología*. Recuperado el 13 de septiembre del 2016 de http://aebiberica.es/temas/taninos/info_taninos_jmalvarez.pdf
- Area, M. C., Ojeda, S. A., Barboza, O. M., y Felissia, D. I. B. F. E. (2010). Tratamientos aplicables para la reducción de la DQO recalcitrantede efluentes de pulpados quimimecánicos y semiquímicos. *Revista de Ciencia y Tecnología*. Recuperado el 29 de julio del 2016 de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872010000100001

- Arellano, J. (2003). *Introducción a la ingeniería ambiental*. Alfaomega. Recuperado el 11 de agosto del 2016 de <http://site.ebrary.com/lib/udlasp/docDetail.action?docID=10345134>
- Arias, M. D., y Méndez, E. (2014). Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 5(3). Recuperado el 21 de agosto del 2016 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222014000300008&script=sci_arttext
- Ashraf, M., Ozturk, M., y Ahmad, M. S. . (2010). *Plant Adaptation and Phytoremediation*. Springer Netherlands. Recuperado el 16 de septiembre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/978-90-481-9370-7>
- Asrafuzzaman, M., Fakhruddin, A. N. M., y Hossain, M. A. (2011). Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. *International Scholarly Research Network Microbiology*. Recuperado el 15 de agosto del 2016 de <http://doi.org/10.5402/2011/632189>
- Bacelo, H. A. M., Santos, S. C. R., y Botelho, C. M. S. (2016). Tannin-based biosorbents for environmental applications - A review. *Chemical Engineering Journal*, 303. Recuperado el 20 de agosto del 2016 de <http://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.044>
- Boesewinkel, F. D., y Bouman, F. (1984). Embryology of Angiosperms. In *The Seed: Structure* (pp. 567–610). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado el 10 de septiembre del 2016 de http://doi.org/10.1007/978-3-642-69302-1_12
- Cabrera, H., Garcés, M., y Paredes, P. (2009). Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura. *UNW-AIS*, 13. Recuperado el 12 de octubre del 2016 de http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/E_CUADOR_producci?n_de_aguas_servidas_tratamiento_y_uso.pdf
- Campos, T. de J. E. (2001). *La Curuba Su Cultivo*. IICA. Recuperado el 10 de

noviembre del 2016 de
https://books.google.com.co/books/about/La_Curuba_Su_Cultivo.html?id=Z_EqAAAAYAAJ

CEPAL. (2011). *Anexos :Diagnóstico de las Estadísticas del Agua en Ecuador*. Recuperado el 23 de mayo del 2016 de [http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico de las Estadísticas del Agua Producto IIIc 2012-2.pdf](http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf)

Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., y Ramanan, R. N. (2015). A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(1). Recuperado el 19 de junio del 2016 de <http://doi.org/10.1007/s13762-013-0446-2>

Cuaspud, Y. M. (2015). *Elaboración De Bebidas Naturales A Partir De Taxo (Passiflora Tripartita Var. Mollissima) Y Piña (Ananas Comosus) Enriquecidas Con Lactosuero*. Universidad Central del Ecuador. Recuperado el 16 de octubre del 2016 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4771/1/T-UCE-0017-129.pdf>

de Souza, M. T.F., Ambrosio, E., de Almeida, C. A., de Souza Freitas, T. K. F., Santos, L. B., de Cinque Almeida, V., y Garcia, J. C. (2014). The use of a natural coagulant (*Opuntia ficus-indica*) in the removal for organic materials of textile effluents. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(8). Recuperado el 04 de septiembre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/s10661-014-3775-9>

Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2). Recuperado el 10 de mayo del 2016 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&nrm=iso

- Devesa-Rey, R., Bustos, G., Cruz, J. M., y Moldes, A. B. (2012). Evaluation of Non-Conventional Coagulants to Remove Turbidity from Water. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(2). Recuperado el 18 de septiembre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/s11270-011-0884-8>
- Devi, S., Sidik, J., y Harah, M. (2014). *Assessment of Total Phenolic, Antioxidant, and Antibacterial Activities of Passiflora Species*. Recuperado el 03 de noviembre del 2016 de <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/167309/>
- Drewnowski, J., y Makinia, J. (2014). The role of biodegradable particulate and colloidal organic compounds in biological nutrient removal activated sludge systems. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(7). Recuperado el 27 de agosto del 2016 de <http://doi.org/10.1007/s13762-013-0402-1>
- Dutta, T., y Bhattacharjee, S. (2015). Arsenic Removal Through Combined Method Using Synthetic Versus Natural Coagulant. In *Advancements of Medical Electronics*. Springer India. Recuperado el 09 de agosto del 2016 de http://doi.org/10.1007/978-81-322-2256-9_30
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., Franson, M. A. H., Association, A. P. H., Association, A. W. W., y Federation, W. E. (2012). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association.
- EPMAPS. (2015). 12,3 millones se invierten en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales Quitumbe. Recuperado el 10 de octubre del 2016 de http://prensa.quito.gob.ec/Noticias/news_user_view/123_millones_se_invierten_en_la_construccion_de_la_planta_de_tratamiento_de_aguas_residuales_quitumbe--15533
- Feigin, A., Ravina, I., y Shalhevet, J. (1991). *Irrigation with Treated Sewage Effluent*. Springer Berlin Heidelberg. Recuperado el 08 de diciembre del

2016 de <http://doi.org/10.1007/978-3-642-74480-8>

Fundesyram. (2015). Cultivo de Granadilla (*Passiflora ligularis*). Recuperado el 10 de octubre del 2016 de <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=2655>

González, M., Delgado, C., Barrenetxea, A., Serrano, J., y Blanco, F. (2004). *Contaminación ambiental: una visión desde la química*. Recuperado el 25 de noviembre del 2016 de https://books.google.com.ec/books/about/Contaminación_ambiental.html?id=coOZAAAACAAJ&redir_esc=y

Grijalbo, L., Fernández, M., Gutiérrez, F., y José Lucas. (2015). Management of Environmental Contaminants. In *Phytoremediation* (2) Springer International Publishing. Recuperado el 19 de noviembre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/978-3-319-10969-5>

INIAP. (2009). Manejo del cultivo de maracuya (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg) en el Litoral Ecuatoriano. Recuperado el 06 de diciembre del 2016 de [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Manejo del cultivo de maracuya \(Passiflora edulis f. flavicarpa Deg\) en el Litoral Ecuatoriano..pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Manejo del cultivo de maracuya (Passiflora edulis f. flavicarpa Deg) en el Litoral Ecuatoriano..pdf)

Jeon, J. R., Kim, E. J., Kim, Y. M., Murugesan, K., Kim, J. H., y Chang, Y. S. (2009). Use of grape seed and its natural polyphenol extracts as a natural organic coagulant for removal of cationic dyes. *Chemosphere*, 77(8). Recuperado el 19 de noviembre del 2016 de <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.036>

Jiménez, B. E. (2001). *La Contaminación Ambiental en México*. Editorial Limusa.

Juanicó, y Milstein. (2004). Semi-intensive treatment plants for wastewater reuse in irrigation. *Water Science Technology*. Recuperado el 01 de diciembre del 2016 de <http://www.juanico.co.il/Main frame - Spanish/Issues/Tecnologias de tratamiento.htm>

- Lattanzio, V. (2013). Phenolic Compounds: Introduction. In *Natural Products*. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6>
- Lee, D.-J., Tay, J.-H., Hung, Y.-T., y He, P. J. (2005). Introduction to Sludge Treatment. In L. K. Wang, Y.-T. Hung, y N. K. Shamas (Eds.), *Physicochemical Treatment Processes*. Recuperado el 04 de noviembre del 2016 de Humana Press. <http://doi.org/10.1385/1-59259-820-x:677>
- León, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales*. Agroamerica. Recuperado el 19 de noviembre del 2016 de https://books.google.com.ec/books?id=NBtu79LJ4h4C&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Levine, A., Mercurio, L., y Carman, J. (1996). Coagulation of Natural Organic Matter from Surface Water Using Cationic Polymer. In *Chemical Water and Wastewater Treatment IV* (Vol. 1, pp. 1–30). Springer. Recuperado el 18 de octubre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/978-3-642-61196-4>
- Lim, T. K. (2012). *Passiflora ligularis*. In *Edible Medicinal and Non Medicinal Plants*. Springer Netherlands. Recuperado el 08 de diciembre del 2016 de http://doi.org/10.1007/978-94-007-4053-2_23
- Makkar, H. P. S. (2003). Treatment of Plant Material, Extraction of Tannins, and an Overview of Tannin Assays Presented in the Manual. In *Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage*. Recuperado el 12 de septiembre del 2016 de http://doi.org/10.1007/978-94-017-0273-7_2
- Makkar, H. P. S., Siddhuraju, P., y Becker, K. Tannins, 393 Plant Secondary Metabolites 67 (2007). Totowa, NJ: Humana Press. Recuperado el 22 de noviembre del 2016 de http://doi.org/10.1007/978-1-59745-425-4_13
- Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E., y Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de Moringa oleifera. Una revisión crítica. *Pastos Y Forrajes*, 36(2). Recuperado el 12 de octubre del 2016 de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000200001&nrm=iso

- Martín, W., López, E., y Monteagudo, J. P. (2009). *Gestión y uso racional del agua*. Editorial Félix Varela. Recuperado el 07 de noviembre del 2016 de <http://site.ebrary.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/detail.action?doiID=10431053>
- Martinez, S. (1993). Aguas residuales. *Boletín IIE*, 17(2). Recuperado el 15 de noviembre del 2016 de <http://biblat.unam.mx/es/revista/boletin-ii/articulo/aguas-residuales>
- Matsui, Y., Sugiyama, K., Kamei, M., Takahashi, T., Suzuki, T., Katagata, Y., y Ito, T. (2013). Seeking a New Anti-Skin-Aging Material: Piceatannol and Its Derivatives from Passion Fruit (*Passiflora edulis*) Seed. In *Tropical and Subtropical Fruits: Flavors, Color, and Health Benefits*. ACS Symposium Series. Recuperado el 07 de noviembre del 2016 de <http://doi.org/10.1021/bk-2013-1129.ch012>
- McNamee, P. . (1936). *Oxidation of Sewage by Activated Sludge* (Vol. 51). Association of Schools of Public Health Stable. Recuperado el 12 de octubre del 2016 de <http://www.jstor.org/stable/4581908>
- Méndez, J. J., Murillo, E., Sabogal, A., Chávez, J., y Oliveros, D. (2016). Funcionalidades biológicas de *Passiflora maliformis* del Sur Macizo Colombiano. *Bioagro*, 28(1).
- Moreno, E., Ortiz, B., y Restrepo, L. (2014). Contenido total de fenoles y actividad antioxidante de pulpa de seis frutas tropicales Total phenolic content and antioxidant activity of pulp extracts of six tropical fruits Conteúdo total de fenóis e atividade antioxidante em alguns trechos da polpa de. *Revista Colombiana Química*, 43(3). Recuperado el 07 de diciembre del 2016 de <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v43n3.53615>
- Ndabigengesere, A., Narasah, K. S., & Talbot, B. G. (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research*, 29(2). Recuperado el 09 de septiembre del 2016 de

[http://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00161-Y](http://doi.org/10.1016/0043-1354(94)00161-Y)

- NESC. (2003). Explaining the Activated Sludge Process. *Spring*, 14(2). Recuperado el 23 de noviembre del 2016 de http://www.nesc.wvu.edu/pdf/www/publications/pipline/pl_sp03.pdf
- Nova, L. (2008). *Manual para la formación en medio ambiente*. Recuperado el 14 de septiembre del 2016 de https://books.google.com.ec/books?id=J7rMDpW49ZQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=snippet&q=purificacion&f=false
- Noyola, A. (2003). Tendencias En El Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas En Latinoamerica. *Seminario Internacional Sobre Métodos Naturales Para El Tratamiento de Aguas Residuales*, 9.
- Odeny, D., y Narina, S. (2011). Passiflora. In *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources* (p. 282). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado el 03 de diciembre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/978-3-642-20450-0>
- OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental. Recuperado el 21 de noviembre del 2016 de http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., y Okada, M. (2001). Isolation and characterization of coagulant extracted from moringa oleifera seed by salt solution. *Water Research*, 35(2). Recuperado el 13 de octubre del 2016 de [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00290-6](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00290-6)
- Pacheco, V., Jauregui, B., Pavon, T., y Mejia, G. (2003). Control Del Crecimiento De Microorganismos Filamentosos En Una Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Industriales. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 19(1). Recuperado el 16 de noviembre del 2016 de http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/TLAXCALA_2009/REVISTA/contaminacion/acervo/vol_19_1/5.pdf
- Paredes, L. (2015). *Biocoagulación: Tratamiento de aguas residuales de la*

industria de la curtiembre. Universidad de las Américas. Recuperado el 03 de diciembre del 2016 de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2504>

- Pérez, D., Mazzani, E., y Pacheco, W. (2001). Colecta de pasidloras silvestres y cultivadas en zonas altas de los estados Aragua y Miranda. Región centro-norte de Venezuela. In *Plant Genetic Resources Newsletter* (pp. 9–15). Bioversity International. Recuperado el 20 de noviembre del 2016 de <https://books.google.com.ec/books?id=o6XssgenZIsC>
- Poon, C. P. C., Wang, L. K., y Wang, M. H. S. (1986). Activated Sludge Processes. In L. K. Wang y N. C. Pereira (Eds.), *Biological Treatment Processes* (pp. 229–303). Totowa, NJ: Humana Press. Recuperado el 23 de septiembre del 2016 de http://doi.org/10.1007/978-1-4612-4820-0_6
- Rai, R. K., Upadhyay, A., Ojha, C. S. P., y Singh, V. P. (2012). Water Pollution. In *The Yamuna River Basin: Water Resources and Environment*. Recuperado el 09 de noviembre del 2016 de Springer Netherlands. http://doi.org/10.1007/978-94-007-2001-5_9
- Ramavandi, B., y Farjadfard, S. (2013). Removal of chemical oxygen demand from textile wastewater using a natural coagulant. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(1). Recuperado el 13 de octubre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/s11814-013-0197-2>
- Ramos, F., Muñoz, A. M., Alvarado, C., y Yáñez, J. A. (2010). ANTOCIANINAS, POLIFENOLES, ACTIVIDAD ANTI-OXIDANTE DE SACHAPAPA MORADA (*Dioscorea trifida* L.) Y EVALUACIÓN DE LIPOPEROXIDACIÓN EN SUERO HUMANO. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 76(1). Recuperado el 24 de noviembre del 2016 de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000100007
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema. *De La Llave*, 4. Recuperado el 17 de octubre del 2016 de

<http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/DeLaLaveSepOct02.pdf>

Rios, J. C. (2011). *Tratamientos Físico-Químicos. Coagulación-Floculación*. Universidad de Catilla- La Mancha.

Rügner, H., Schwientek, M., Beckingham, B., Kuch, B., y Grathwohl, P. (2013). Turbidity as a proxy for total suspended solids (TSS) and particle facilitated pollutant transport in catchments. *Environmental Earth Sciences*, 69(2), Recuperado el 09 de octubre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/s12665-013-2307-1>

Sandoval Arreola, M., Laines Canepa, J., y L erninde, J. 2011). Molecular Characterization of Crude Seed Extracts from Moringa Oleifera. *Redalyc*, 41(8), 548–551. Recuperado el 02 de diciembre del 2016 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33946993006>

Sans, R. (1999). *INGENIERÍA AMBIENTAL Contaminación y tratamientos*. MARCOMBO, S.A. Recuperado el 18 de noviembre del 2016 de http://www.marcombo.com/Ingenieria-ambiental_isbn8426707424.html

egura, . D., oppen d'Eeckenbrugge, G., Ocampo, . ., & Ollitrault, P. (2003). Isozyme variation in Passiflora subgenera Tacsonia and Manicata. Relationships between cultivated and wild species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50(4). Recuperado el 12 de noviembre del 2016 de <http://doi.org/10.1023/A:1023987818803>

Sette, R. R., Jiménez, D. B., & de Lora, F. (1990). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté. Recuperado el 06 de diciembre del 2016 de <https://books.google.com.ec/books?id=30etGjzPXyWC>

Severiche, C., Castillo, M., y Acevedo, R. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas*. Recuperado el 02 de diciembre del 2016 de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>

Shammas, N. K., & Wang, L. K. (2010). Aerobic and Anoxic Suspended-Growth

- Biotechnologies. In L. K. Wang, V. Ivanov, y J.-H. Tay (Eds.), *Environmental Biotechnology*. Totowa, NJ: Humana Press. Recuperado el 15 de noviembre del 2016 de http://doi.org/10.1007/978-1-60327-140-0_13
- Shan, T. C., Matar, M. Al, Makky, E. A., y Ali, E. N. (2016). The use of Moringa oleifera seed as a natural coagulant for wastewater treatment and heavy metals removal. *Applied Water Science*. Recuperado el 11 de octubre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/s13201-016-0499-8>
- Simirgiotis, M. J., Schmeda-Hirschmann, G., Bórquez, J., y Kennelly, E. J. (2013). The Passiflora tripartita (banana passion) fruit: A source of bioactive flavonoid C-glycosides isolated by HSCCC and characterized by HPLC-DAD-ESI/MS/MS. *Molecules*, 18(2). Recuperado el 05 de octubre del 2016 de <http://doi.org/10.3390/molecules18021672>
- Singh, R., Kumar, S., y Garg, M. (2016). Domestic Wastewater Treatment Using Tanfloc: A Tannin Based Coagulant. In *Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment*. Recuperado el 19 de noviembre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/978-3-319-18663-4>
- Sustarsic, M. (2009). Wastewater Treatment: Understanding the Activated Sludge Process. *American Institute of Chemical Engineers*, 29. Recuperado el 12 de noviembre del 2016 de <http://www.d.umn.edu/~rdavis/courses/che4601/articles/ActivatedSludge.pdf>
- Talaya, Á., & Molina, A. (2014). *Investigación de Mercados*. Esic Editorial. Recuperado el 19 de octubre del 2016 de <https://books.google.com.ec/books?id=dKTIgAAQBAJ>
- Tapia, W. D. (2013). *Evaluación de tres programas de fertilización foliar complementaría luego del transplante en el cultivo de maracuyá (Passiflora edulis) Var. Flavicarpa*. Univeridad Central del Ecuador. Recuperado el 13 de diciembre del 2016 de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1022/1/T-UCE-0004-22.pdf>

Trejo, R., y Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua. *Conciencia Tecnológica*, 3.

Universidad de los Andes, y BID. (2015). Agua en América Latina: abundancia en medio de la escasez mundial. Recuperado el 19 de noviembre del 2016 de https://courses.edx.org/courses/course-v1:IDBx+IDB3x+2015_T3/info

Uso Industrial, Plantas Arom, Molecules In, Mars Analog, Regolith Using, a N Antibody Microarray, y J Maule. (2005). Uso Industrial de Plantas Aromáticas y Medicinales. *Proteome*, 14.

Varilla, J., y Díaz, F. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de Tecnología*, 7(2). Recuperado el 08 de diciembre del 2016 de http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen7_numero2/tratamiento_aguas_residuales7-2.pdf

Vasco, C., Ruales, J., y Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111(4). Recuperado el 12 de noviembre del 2016 de <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.054>

Vives, J. (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos. *Instituto de Investigaciones Marinas Y Costeras*. Recuperado el 21 de noviembre del 2016 de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>

Wang, L. K., Shamma, N. K., y Hung, Y.-T. (2009). *Advanced Biological Treatment Processes*. Humana Press. Recuperado el 08 de diciembre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/978-1-60327-170-7>

WHO. (2003). Acrylamide in drinking-water. Background document for

development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Recuperado el 01 de diciembre del 2016 de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/75373/1/WHO_SDE_WSH_03.04_71_eng.pdf

Yin, C. Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9). Recuperado el 12 de noviembre del 2016 de <http://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

Yockteng, R., Coppens, G., Souza-chies, T. T., y Leo, P. C. De. (2011). *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*. Recuperado el 12 de noviembre del 2016 de <http://doi.org/10.1007/978-3-642-21102-7>

ANEXOS



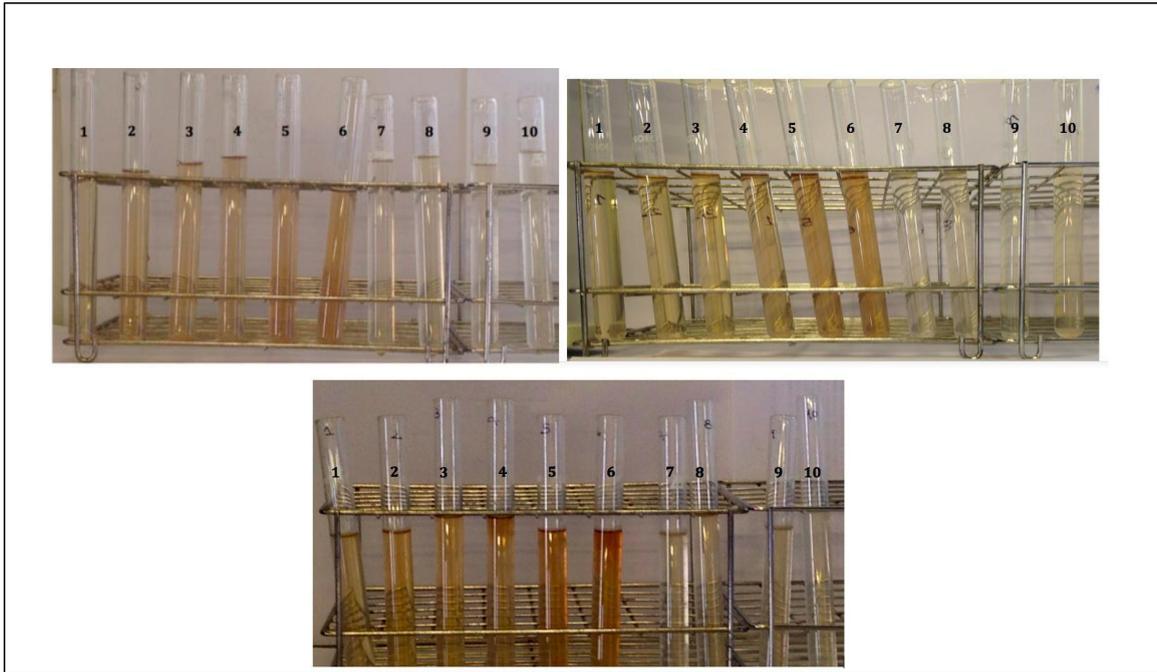
Anexo 1. Semillas molidas de la especie
1. *Passiflora ligularis* (G), 2. *Passiflora tripartita* (T) y 3. *Passiflora edulis*(M)



Anexo 2. Extracción de compuestos bioactivos: Separación de fases con ayuda de refrigerantes.

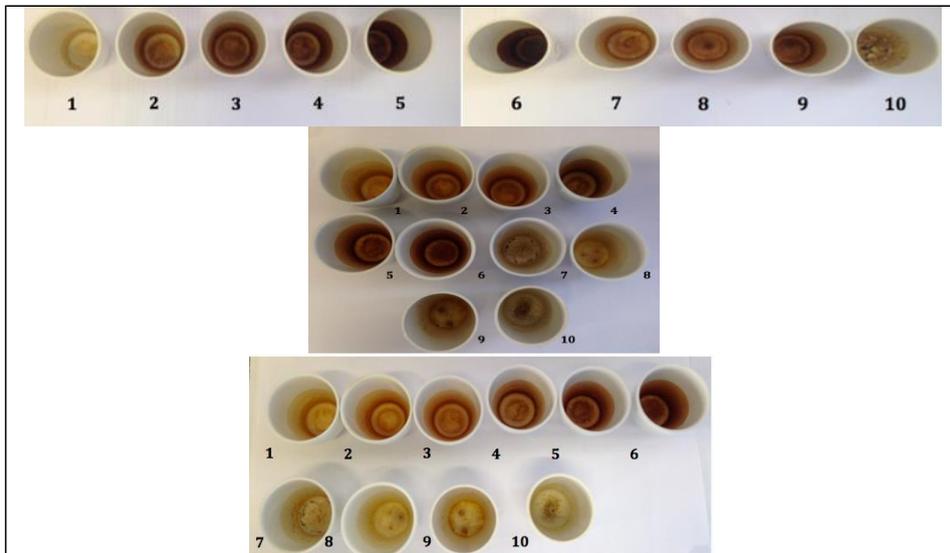


Anexo 3. Tratamiento de Aguas Residuales: Proceso de Coagulación – Floculación.



Anexo 4. Resultado final del tratamiento de aguas residuales domésticas, con sus respectivas réplicas.

1. G (500 μ L), 2. G (1000 μ L), 3. G (1500 μ L), 4. T (500 μ L), 5. T (1000 μ L), 6. T (1500 μ L), 7. M (500 μ L), 8. M (1000 μ L), 9. M (1500 μ L), 10. Efluente Sist. Lodos Activados



Anexo 5. Determinación de sólidos por gravimetría.

1. G (500 μ L), 2. G (1000 μ L), 3. G (1500 μ L), 4. T (500 μ L), 5. T (1000 μ L), 6. T (1500 μ L), 7. M (500 μ L), 8. M (1000 μ L), 9. M (1500 μ L), 10. Efluente Sist. Lodos Activados.

