



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA, YUCA
Y BANANO COMO BIO COAGULANTES PARA EL TRATAMIENTO
DE AGUAS DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA.

AUTORA

LIZETH ESTEFANIA ROMERO SHIGUANGO

AÑO

2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA, YUCA Y
BANANO COMO BIO COAGULANTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA.

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

Profesor Guía

Máster. Viviana Pavlova Sigcha Terán

Autora

Lizeth Estefania Romero Shiguango

Año

2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

Declaro haber dirigido este trabajo, Evaluación de la utilización del almidón de papa, yuca y banano como bio coagulantes para el tratamiento de aguas de una industria láctea, a través de reuniones periódicas con la estudiante Lizeth Estefania Romero Shiguango, en el semestre 201920, 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.

Viviana Pavlova Sigcha Terán
Máster en Gestión Integral del Agua
CI: 172221616-3

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

Declaro haber revisado este trabajo, Evaluación de la utilización del almidón de papa, yuca y banano como bio coagulantes para el tratamiento de aguas de una industria láctea, de la estudiante Lizeth Estefania Romero Shiguango, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Daniel Hernán Hidalgo Villalba
Magister en Ciencias, Especialización Ingeniería Ambiental
CI: 180191444-9

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA DEL ESTUDIANTE

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

Lizeth Estefania Romero Shiguango

CI: 220020573-6

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fuerza y guiarme por un buen camino para lograr cumplir una meta más en mi vida. A mis padres que a pesar de la distancia me han apoyado en todo momento con sus palabras de fortaleza y alentándome para no rendirme en este camino. A mi tutora guía la Máster. Pavlova Sigcha por las palabras de aliento y ayuda en las dudas que se dio a lo largo de la investigación. A la Ing. Indira Black que ha sido un gran apoyo en este camino, con su exigencia y orientación.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, los cuales me han hecho la mujer que soy, a mi madre que ha sido mi apoyo incondicional en todo momento, que con su ejemplo de fortaleza nunca me dejo derrumbar. A mi padre que a pesar de estar lejos dedica cada oración para mí. A mis hermanos que siempre estuvieron pendientes de cada paso de mi formación profesional. A mis amigos, especialmente a J.Q y C.S que han estado conmigo para sostener mi mano y apoyarme en los buenos y malos momentos.

RESUMEN

A nivel mundial, la sobrepoblación ha inducido el crecimiento exponencial del área industrial, una de las producciones más representativas en la actualidad es la industria de los lácteos. Esta industria es una fuente potencial de contaminación debido a los procesos de producción que tiene, tales como: pasteurización y homogeneización; es así que, el agua residual de una industria láctea tiene una alta demanda biológica de oxígeno (DBO_5) que puede oscilar entre los 2000 y 3000 mg O_2/L y una demanda química de oxígeno (DQO) en un rango de 2000 y 4000 mg O_2/L ; de igual manera, altos niveles de sólidos disueltos o suspendidos, materia orgánica, aceites y nutrientes como el amoníaco, fósforo y minerales. El objetivo de esta investigación fue evaluar la aplicación del almidón de papa, yuca y plátano como coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales de una industria lechera. La determinación de la eficiencia de remoción de materia orgánica con coagulantes naturales se realizó mediante los parámetros de DQO y DBO_5 . Resaltando en la DQO, el tratamiento con bio coagulante a base de plátano a una dosis de 2 ml y con un porcentaje de 72.2% de remoción y, la DBO_5 tuvo mejor porcentaje de remoción con el bio coagulante de papa 97.6% con una dosis de 2 ml y 6 ml. Por otro lado, para evaluar el uso de coagulantes naturales con coagulantes químicos se realizó un diseño experimental por porcentaje; el mejor fue en el 75% de sulfato de aluminio y 25% de coagulante naturales, en este tratamiento destacó el plátano con 91.3% de remoción de turbidez. Esta investigación se realizó con el fin de eliminar la dependencia del uso de coagulantes químicos que, además de tener altos costos, representan un problema al medioambiente por la generación excesiva de lodos residuales peligrosos.

ABSTRACT

Worldwide, overpopulation has induced the exponential growth of the industrial area; one of the most representative productions at present is the dairy industry. This industry is a potential source of contamination due to the production processes, it has, such as: pasteurization and homogenization; Thus, the residual water of a dairy industry has a high biological oxygen demand (BOD5) that can range between 2000 and 3000 mg O₂ / L and a chemical oxygen demand (COD) in a range of 2000 and 4000 mg O₂ / L; Similarly, high levels of dissolved solids, organic matter, oils and nutrients such as ammonia, phosphorus and minerals. The objective of this research was to evaluate the application of potato, cassava and plantain starch as natural coagulants in the treatment of wastewater from a dairy industry. The determination of the efficiency of removal of organic matter with natural coagulants was carried out using the parameters of COD and BOD5. Highlighting in the COD, the treatment with banana coagulant at a dose of 2 ml and with a percentage of 72.2% removal and, BOD5 had a better percentage of removal with the bio coagulant of potato 97.6% with a dose of 2 ml and 6 ml. On the other hand, to evaluate the use of natural coagulants with chemical coagulants, an experimental design was carried out by percentage; the best was in 75% aluminum sulfate and 25% natural coagulant, in this treatment the banana stood out with 91.3% turbidity removal. This research was carried out in order to eliminate dependence on the use of chemical coagulants that, in addition to having high costs, represent a problem for the environment due to the excessive generation of hazardous waste sludge.

ÍNDICE

1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Presentación del Problema	4
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Alcance	7
1.5 Justificación	7
2. CAPÍTULO II. MARCO TEORICO	8
2.1 Problemática de las aguas residuales	8
2.2 Industria láctea	9
2.2.1 Aguas residuales de industrias lácteas	10
2.2.2 Generación de aguas residuales por proceso de Homogeneización	11
2.2.3 Generación de aguas residuales por proceso de Pasteurización	11
2.3 Caracterización general de aguas residuales de la industria láctea	11
2.3.1 Características Físico Químicas	12
2.4 Tratamiento de aguas residuales industriales	13
2.5 Tratamiento de Coagulación	14
2.5.1 Mecanismo de coagulación	15
2.5.1.1 Comprensión de la capa difusiva	15
2.5.1.2 Adsorción para producir la neutralización de la carga	16

2.5.1.3 Inmersión dentro de un precipitado	17
2.5.1.4 Adsorción que permita un enlace tipo puente entre partículas	17
2.6 Floculación.....	18
2.7 Uso de bio coagulantes como alternativa para el tratamiento de aguas residuales.	20
2.7.1 Coagulantes naturales más utilizados	20
2.7.2 Ventajas y desventajas del uso de bio coagulantes	22
2.8 Estudio del almidón de yuca, papa y plátano como bio coagulante	23
2.8.1 Composición Físicoquímica de la yuca	23
2.8.2 Composición Físicoquímica de la papa	24
2.8.3 Composición Físicoquímica del plátano	25
2.9 Procesos de transición del almidón como coagulante natural	27
2.9.2 Gelatinización	27
2.9.3 Gelificación	27
2.9.4 Retrogradación	28
3. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	28
3.1 Obtención del almidón.....	29
3.1.1 Obtención de almidón de papa y yuca	29
3.1.2 Obtención de almidón de plátano.....	30
3.1.3 Prueba de presencia de almidón.....	31
3.2 Toma de muestra	32
3.3 Caracterización físicoquímica	33

3.3.1 Determinación de pH	33
3.3.2 Medición de Turbidez.....	34
3.3.3 Procedimiento para determinación de sólidos sedimentables, Método Estándar	35
3.3.4 Procedimiento para determinación de sólidos totales, Método Estándar	36
3.3.5 Procedimiento para determinación de sólidos suspendidos totales, Método Estándar	36
3.3.6 Procedimiento para determinación de sólidos disueltos totales, Método Estándar	37
3.3.7 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno	38
3.3.8 Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno	39
3.4 Normativa aplicada para análisis	39
3.5 Determinación experimental de dosis óptima con almidón de yuca, papa y plátano	40
3.5.1 Pretratamiento de la muestra	40
3.5.2 Gelificación del almidón de las especies vegetales de estudio	41
3.5.3 Determinación de dosis de almidón de las especies vegetales	42
3.6 Primer diseño experimental	42
3.7 Segundo diseño experimental.....	43
3.7.1 Dosis optima del Coagulante químico	44
3.7.2 Determinación de la reducción del porcentaje de turbidez del agua residual de la industria láctea	44
3.8 Caracterización final	45
4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46

4.1 Caracterización inicial de las muestras	46
4.2 Obtención de los coagulantes naturales.....	46
4.2.1 Almidón de yuca y papa.....	46
4.2.2 Almidón de plátano	47
4.3 Determinación de dosis optima de coagulantes naturales y químicos	47
4.3.1 Determinación de dosis óptima para coagulantes naturales	47
4.3.2 Determinación de dosis optima del Sulfato de aluminio	51
4.4 Primer diseño experimental	52
4.4.1 Análisis del primer diseño experimental	52
4.4.1.1 Análisis estadístico de DQO.....	55
4.4.1.2 Análisis estadístico de DBO5	60
4.5 Segundo diseño experimental.....	65
4.5.1 Análisis estadístico del segundo diseño experimental.....	65
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1 Conclusiones	69
5.2 Recomendaciones.....	70
REFERENCIAS	71
ANEXOS	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vacas ordeñadas y producción de leche	1
Figura 2. Procesos de elaboración de leche	10
Figura 3. Coagulación.	15
Figura 4. Compresión de la capa difusiva.	16
Figura 5. Neutralización de la carga (a) y re-estabilización de inversión de la carga (b).	16
Figura 6. Atrapamiento de las partículas en un floc.	17
Figura 7. Modelo de enlace de puente para desestabilizar coloides con polímeros.	18
Figura 8. Floculación.	19
Figura 9. Beneficios y Limitaciones de los coagulantes naturales.	22
Figura 10. Transición del almidón durante tratamiento hidrotérmico.	28
Figura 11. Proceso de la Obtención de almidón basándose en la metodología de Aparicio 2003.	30
Figura 12. Proceso de la Obtención de almidón de almidón de plátano.	31
Figura 13. Comprobación de contenido de almidón en papa, plátano y yuca, respectivamente.	32
Figura 14. Toma de muestra de agua residual.	33
Figura 15. Medición de pH.	34
Figura 16. Medición de Turbiedad en espectrofotómetro.	35
Figura 17. Proceso de sedimentación en cono Imhoff.	35
Figura 18. Equipo de filtración.	37
Figura 19. Proceso de medición de la demanda química de oxígeno.	38
Figura 20. Bloque calefactor.	38
Figura 21. Botellas oxitop en incubadora a 20 °C.	39
Figura 22. Pretratamiento del agua residual.	41
Figura 23. Proceso de gelificación en parrilla de calentamiento con agitación.	41
Figura 24. Prueba de dosificación en test de jarras.	42
Figura 25. Dosis óptima del Sulfato de aluminio.	44
Figura 26. Porcentaje de remoción de turbiedad con almidón de plátano.	48
Figura 27. Porcentaje de remoción de turbiedad con almidón de Papa.	49

Figura 28.Porcentaje de remoción de turbiedad con almidón de Yuca.	50
Figura 29.Porcentaje de remoción de turbiedad con $Al_2(SO_4)_3$	51
Figura 30.Datos obtenidos del análisis de DQO.	53
Figura 31.Datos obtenidos del análisis de DBO_5	54
Figura 32.Representación del porcentaje de remoción de Compuesto orgánico con la dosis de almidón	56
Figura 33.Representación del porcentaje de remoción de Compuesto orgánico con almidón de yuca.	57
Figura 34.Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico con almidón de papa.	58
Figura 35.Representación del porcentaje de remoción de Compuesto orgánico con almidón de plátano.	58
Figura 36.Remoción del compuesto orgánico según el tipo de almidón utilizado.	59
Figura 37.Análisis de remoción de compuesto orgánico con relación a la dosis de almidón.	62
Figura 38.Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico del análisis de DBO_5 con almidón de yuca	63
Figura 39.Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico del análisis de DBO_5 con almidón de papa.	63
Figura 40.Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico del análisis de DBO_5 con almidón de plátano.	64
Figura 41.Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico del análisis de DBO_5 con almidón de plátano.	65
Figura 42.Remoción de turbidez en el análisis de DBO_5 según el tipo de almidón utilizado.	66

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Coagulantes naturales evaluados y considerado positivo para reducción de turbiedad.	21
Tabla 2. Estructuras moleculares del almidón.	24
Tabla 3. Composición del tubérculo de la papa.	25
Tabla 4. Composición química del almidón de plátano.	26
Tabla 5. Límites de descargas al alcantarillado.	40
Tabla 6. Primer diseño experimental para remoción de compuesto orgánico. .	43
Tabla 7. Segundo diseño experimental remoción de turbiedad.	45
Tabla 8. Caracterización de las muestras recolectadas en la industria láctea. .	46
Tabla 9. Obtención de almidón de yuca, papa, plátano.	47
Tabla 10. Porcentaje de remoción de turbidez con almidón de plátano.	48
Tabla 11. Porcentaje de remoción de turbidez con almidón de Papa	49
Tabla 12. Porcentaje de remoción de turbidez con almidón de Yuca.	50
Tabla 13. Porcentaje de remoción de turbidez con $Al_2(SO_4)_3$	51
Tabla 14. Datos obtenidos del diseño experimental para determinar el porcentaje de remoción de compuesto orgánico con DQO.	52
Tabla 15. Datos obtenidos del diseño experimental para determinar el porcentaje de remoción de compuesto orgánico con DBO_5	53
Tabla 16. ANOVA de remoción de compuesto orgánico por dosis de almidón. .	55
Tabla 17. Medias según dosis aplicada en el análisis de DQO.	56
Tabla 18. Primer diseño para determinar la remoción de compuesto orgánico con DBO_5	60
Tabla 19. ANOVA de remoción de compuesto orgánico por dosis de almidón. .	61
Tabla 20. Medias según dosis aplicada en el análisis de DBO_5	61
Tabla 21. Segundo diseño experimental para determinar la remoción de turbiedad.	66

1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el Ecuador se generan cerca de 900 mil litros al día de leche, los cuales pueden ser producidos por pequeñas, medianas y grandes empresas (Centro de la Industria Láctea del Ecuador [CIL], 2019). En el año 2016 se tuvo un incremento de 0,29% en la producción de ganado vacuno; por ende, la producción de leche aumentó según la región del país, aportando de esta manera la Sierra con un 77,21%, la Costa con 41,96% y el Oriente con el 4,82% (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2016).



Figura 1. Vacas ordeñadas y producción de leche.

Tomado de (INEC, 2016).

Dentro de los procesos de producción de leche, que generan una mayor cantidad de descargas hacia las plantas de tratamiento son: la pasteurización y la homogeneización.

Los coagulantes de origen natural son una alternativa con gran utilidad para el procesamiento de las aguas con desechos provenientes de la industria láctea, este es un método que aún no se ha explotado, son fáciles de manipular y amigables con el entorno, no son tóxicos y se componen de taninos, alcaloides, mucílagos, proteínas, y polisacáridos (Moscozo, 2015). También es común el empleo de elementos alimenticios a manera de bio coagulantes, debido a su elevado compuesto de proteínas y de carbohidratos, los cuales se hallan

principalmente en el tallo o en las semillas de las plantas (Molina, Rodríguez y Ariza, 2016). En el campo para el procesamiento de aguas con desechos procedentes de la industria, estos coagulantes ayudan al desequilibrio de los elementos que contaminan en estado coloidal y, ayudan igualmente a la erradicación de residuos disueltos en términos de la (DQO).

Adicionalmente, los coagulantes de origen natural producen menores residuos (Choy, Prasad, Wu, Raghunandan, y Ramanan, 2014); los lodos procedentes por los coagulantes naturales son cinco veces menos voluminosos que los producidos por los coagulantes químicos; asimismo, el lodo producido por los químicos coagulantes, en base a la adición de polímeros sintéticos, sales férricas o alumbre, son considerados como peligrosos, mientras que el lodo generado por bio coagulantes, es biodegradable y no necesita alcalinidades elevadas como es el caso de los elementos que tienen como base hierro o aluminio, gracias a esto no generan alteraciones bruscas del pH (Tumbaco y Acebo, 2017).

La historia del uso de coagulantes naturales es un poco extensa, su aplicación empezó hace más de 2000 años en India, África y China (Asrafuzzaman, Fakhruddin y Hossain, 2011). Las primeras investigaciones datan del año de 1975, donde el CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería de Ciencias Ambientales y Sanitaria), realizó diferentes pruebas de polímeros naturales, los que pueden tener la función de coagulante o floculante, se efectúa esta investigación por el empleo de la penca de tuna y de las semillas de nirmalí por los nativos, para aclarar el agua turbia, notando unos resultados muy satisfactorios (Kirchner y Arboleda, 2006).

Para el año de 1986, se estudió la utilización de la simiente de la moringa oleífera como un coagulante de origen natural, dando como resultado un mejor comportamiento en fusión con el sulfato de aluminio (Turcios, 2017). Otro estudio se realizó en 1987, donde se presentó el empleo de la fécula de maíz como alternativa para los procedimientos de la condensación del agua, en este estudio se concluye que es factible el uso de fécula o almidón de maíz y puede llegar a sustituir hasta un 25% del sulfato de aluminio en un proceso de tratamiento de

agua, además de que el almidón de maíz es un polímero económicamente factible para su empleo a la hora del procesamiento del agua en pequeños sistemas para poder tratarla (Guzmán, Villabona, Tejada y García, 2013).

Ciertos coagulantes químicos como el sulfato de aluminio son compuestos inorgánicos comerciales muy económicos, empleados en la desinfección de agua de consumo, presenta una mejor reacción con la presencia de fosfatos y alcalinidad en el agua; sin embargo, la aplicación de policloruro de aluminio (PAC), para tratamiento de aguas tiene mayor viabilidad que el sulfato de aluminio, debido a la reducción de cantidad residual de aluminio (Vallejo, 2013).

Otra de las ventajas de la utilización de un coagulante químico es la capacidad de formar flóculos más pesados, obteniendo una mayor velocidad de sedimentación como es el caso de las sales de hierro. Por otro lado, tenemos al cloruro férrico que trabaja con pH bajos como 4 y altos como 11, es mayormente utilizado en aguas ácidas y blandas. (Arboleda, 1992).

Sin embargo, algunas desventajas que presentan los coagulantes químicos son, que requieren un control del pH como es el caso del sulfato de aluminio, en el policloruro de aluminio la existencia de un pH alto perjudica la eliminación de desechos orgánicos, el uso de cloruro férrico puede causar mayor peso molecular de hierro, ya que la dosis de hierro es mayor que la de aluminio y es muy corrosivo para ser almacenado o manipular. El sulfato férrico por otro lado puede llegar a dar coloración en el agua tratada (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental [AIDIS], s.f.).

Por último, tenemos al uso de bio coagulantes naturales los cuales pueden elaborarse a partir de: especies naturales, tamarindo, moringa, papas y habas. Los beneficios al emplearlos para tratamiento de aguas es principalmente que estos se producen de manera sencilla, por reacciones bioquímicas dada por la naturaleza, es decir originados naturalmente. En comparación con los químicos, los coagulantes de origen natural presentan una muy pequeña, si no es

prácticamente nula toxicidad, además, contienen proteínas y carbohidratos que se disuelven en agua (Guzmán et al., 2013).

Se han elaborado pequeñas investigaciones en Ecuador sobre el empleo de coagulantes de origen natural, en el procedimiento de floculación y coagulación dentro de los sistemas para procesamiento de las aguas. Según Banchón, Baquerizo, Muñoz y Zambrano (2016), se determinó que el uso de bio coagulantes remueve hasta un 99% de turbiedad en las aguas residuales industriales tratadas, sin embargo, en el estudio de Buenaño (2017), la utilización de coagulantes naturales no logró su objetivo como coagulante, ya que el agua a tratar presentó una baja turbiedad, a pesar de ello, estas sustancias orgánicas naturales mostraron una mejor actividad como floculante en comparación a los sintéticos.

Un estudio adicional donde se realizó la extracción de taninos de *C.spinosa* y se aplicó para aguas de producción textil; se obtuvo resultados muy favorables con el uso de este coagulante natural, el cual, por el nivel de interrupción de descargas eléctricas y poder adsorbente de materia, se obtuvo la separación de elevadas concentración de desechos orgánicos, al igual que la de turbiedad (Revelo, Proaño y Banchón, 2015).

1.2 Presentación del Problema

En el mundo más de 150 millones de familias se dedican a la producción de leche, en algunos países en proceso de desarrollo, la producción de la leche es realizada por industrias pequeñas que contribuyen en la nutrición de todos los hogares (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2018).

El agua residual que es obtenida principalmente en el procesamiento de la leche es producida por las operaciones de pasteurización, homogeneización de la leche líquida y producción de derivados lácteos tales como queso, mantequilla, entre otros. Los desechos de agua de una industria láctea son similares a la

diversidad de los desechos de las aguas con la diferenciación que estas tienen una elevada demanda biológica de oxígeno (DBO_5) que puede ir de 2000 y 3000 mg/L y de DQO en un intervalo de 2000 y 4000 mg/L, al igual que elevadas proporciones de residuos suspendidos o disueltos, compuesto orgánico, aceites y nutrientes como el amoníaco, fósforo y minerales (Tirado, Gallo, Acevedo y Mouthon, 2016).

En la Región del Gran Caribe (RGC), el mal manejo de aguas residuales, pueden llegar a ser una fuente significativa en el área de contaminación marítima, debido a las repercusiones a la salud humana, amenaza al desarrollo sostenible y a los recursos marítimos. Dentro de los países de la RGC, se tiene un mal ordenamiento territorial, el asentamiento poblacional se ubica en áreas costeras, las cuales no constan con un método de alcantarillado adecuado, impidiendo de esta forma un acceso a un saneamiento básico de conexiones domiciliarias a una red de alcantarillado, por ende, es más complicada la existencia de plantas de tratamientos. Por efecto de lo antes mencionado, se produce un vertimiento directo a los ecosistemas marino-costero de las aguas residuales, provocando altos riesgos a la salud pública y ambiente (Palacios, García, Villasol, Chabalina, García, Pérez y Morales, 2010).

En Ecuador se tiene una gran variedad de industrias lácteas las cuales necesitan de un estudio ambiental para la obtención de la licencia Ambiental, como ejemplo de este proceso tenemos una empresa elaboradora de lácteos "FLORALP S.A", que está ubicada en la parroquia de Caranqui, cantón Ibarra, esta fue sujeta a un estudio de impacto ambiental, para poder realizar este estudio, se hizo la toma de la muestra, obtenida de las descargas provenientes del sistema de tratamiento, el cual según los resultados obtenidos por esta descarga dirigida al alcantarillado, sobrepasaba los límites permisibles designados por el Acuerdo Ministerial 097-A tabla 8 para descargas al sistema de alcantarillado, entre los parámetros que no están en norma constan: pH, DBO_5 , DQO, Nitrógeno total, Sólidos Suspendidos y Totales, por lo cual, el impacto que genera la elaboración de lácteos es alto (Montenegro, 2017).

El uso de bio coagulantes es realizado en diferentes países debido a las condiciones económicas actuales en el que este se encuentre. Este tipo de coagulante además de ser económicamente viable se puede aplicar en zonas donde existe poca agua, escasez de medios técnicos y electricidad. Cabe recalcar que es un tratamiento sencillo de emplear, para la purificación de agua, con la implementación de almidón o semillas de diferentes plantas (Castellanos, 2017).

Aunque el empleo de coagulantes químicos son los más frecuentes de manipular dentro del procedimiento de coagulación, fundamentalmente el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, que son los más usados para erradicar la contaminación de las aguas, ya que son buenos métodos para el procesamiento de las aguas, sin embargo, estos presentan algunas desventajas como por ejemplo los costos de adquisición, el volumen de lodos y por último afecta el pH del agua que ha sido procesada (Guzmán, Taron y Núñez, 2015). Teniendo en cuenta lo antes descrito, es preciso probar la utilización de coagulantes de origen natural, ya que pueden ser capaces de remover la turbiedad hasta en un 90%, son más económicos, los lodos a tratar no están contaminados con metales pesados, además de que son más amigables con el entorno y además el manejo de estos no ocasionan perjuicios a la salud humana (Álvarez, 2016).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar la aplicación de almidón de papa, yuca y banano como coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales de una industria lechera.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica con coagulantes naturales de una industria láctea.

- Evaluar el uso de coagulantes naturales con coagulantes químicos en base a un diseño experimental.

1.4 Alcance

Esta investigación pretende evaluar la utilización del almidón de papa, yuca y banano como coagulante de origen natural de los desechos de agua de una industria lechera, utilizando diseños experimentales los cuales van a establecer la cantidad recomendable de bio coagulante y con los datos alcanzados, efectuar el balance con el coagulante químico (sulfato de aluminio) dentro del transcurso de la coagulación del procedimiento de aguas contaminadas.

1.5 Justificación

El agua constituye por naturaleza un recurso de gran importancia tanto en las actividades industriales, domésticas y agrícolas. En el Ecuador la distribución de su uso según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], (2011), la cual se encarga del diagnóstico de las estadísticas de uso del recurso agua en el Ecuador, indica que un 80% del consumo del agua es para uso agrícola, un 13% para uso doméstico y un 7% es de uso industrial.

Por este motivo, nuestro estudio se enfoca en la valoración del agua contaminada procedente de una industria láctea, debido a que en el Ecuador el desarrollo de la obtención de leche está entre el 25% y 30% en los últimos años, produciéndose más de 5.300.000 litros de leche diarios (Agrimundo, 2014), siendo el promedio de litros de leche por vacuno en la Sierra de 7.2 litros/vaca, en la Costa de 3.52 litros/vaca y en el Oriente de 4.7 litro/vaca (INEC, 2016).

A partir de este aumento en la producción de lácteos, se puede predecir que se va a generar una alta contaminación, por el incremento en la cantidad de agua utilizada para los distintos procesos que se tiene dentro de esta industria, como son: el lavado, limpieza y desinfección, generando así aguas residuales con un alto contenido orgánico, grasas y aceites (Arango y Garcés, 2007).

Los productos descritos, son los causantes de la contaminación del agua, por lo que es preciso contribuir con el proceso de su purificación, a través de operaciones de depuración entre las cuales se cuenta la coagulación-floculación, encargada de la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos en suspensión, mejorando así las características apropiadas del agua (Ramírez y Jaramillo, 2018).

Los coagulantes más utilizados para este tratamiento a nivel nacional y mundial son los químicos, tal es el caso del sulfato de aluminio que presenta diferentes complicaciones en su manipulación, como, por ejemplo, la irritación en la piel, irritación en la nariz, pulmón y garganta al inhalarlo, entre otros efectos al contacto directo con los humanos, afectando de esta manera la salud (NJ Health, 2016). Al mismo tiempo, con el empleo de coagulantes químicos se ocasiona grandes volúmenes de lodo químico, difícil de estabilizar (Villegas, Castaño, y Paredes, 2005).

Han sido tomadas nuevas medidas, gracias al empleo de tecnologías alternativas como el empleo de coagulantes de origen natural, ya que se puede conseguir fácilmente variedades de origen vegetal, siendo económicamente viable, amigable con el entorno y ocasionando menor impacto para la salud (Álvarez, 2016). El lodo residual obtenido por los bio coagulantes es cinco veces menos voluminoso que el lodo obtenido con los coagulantes químicos (Tumbaco y Acebo, 2017). Sobre esta base, la presente investigación está encaminada en el empleo del almidón de la papa, yuca y banano, como coagulantes de origen natural, para el mejoramiento de la eficacia en la remoción de sólidos suspendidos del agua a tratar.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEORICO

2.1 Problemática de las aguas residuales

El agua residual es capaz de causar un daño al medio ambiente debido a la composición, la cual puede contener grandes cantidades de materia orgánica y

nutrientes, que producen cambios en la microbiota dentro de un sistema (Osorio, Torres y Sánchez, 2010).

Las aguas residuales pueden provenir de 4 diferentes fuentes las cuales son: aguas domésticas, aguas residuales industriales, escorrentías de usos agrícolas y pluviales. La más analizadas han sido las domésticas e industriales; sin embargo, la afectación por uso agrícola en conjunto con las pluviales han sido la causa principal de eutrofización en lagos y pantanos, debido a que existe la presencia de fósforo a causa de los pesticidas y fertilizantes utilizados (Ramalho, 1990).

2.2 Industria láctea

La industria láctea se considera como una de mayores fuentes de contaminación de los cuerpos hídricos, debido a los procedimientos empleados en el procesamiento, por medio de los cuales se pueden llegar a consumir 1.3 a 3.2 litros de H₂O/ Kg de leche procesada (Días, Álvarez, Hernández, Fuente y Blanco, 2009).

El consumo de agua de esta industria a diario es muy representativo, se puede llegar a clasificar según su uso en: agua industrial, agua de refrigeración, agua de empuje, agua de servicio de la central. El gasto de agua dependerá del tipo de instalación y sistemas de limpiezas; en general la cantidad de agua utilizada muchas veces sobrepasa el volumen de leche tratada (Prieto, Sánchez, Serrano y Sainz, 2009).

Dentro de los procedimientos unitarios más característicos tenemos la homogeneización y la pasteurización como causa de la generación de aguas residuales en estos procesos, cómo se muestran en la Figura 2.

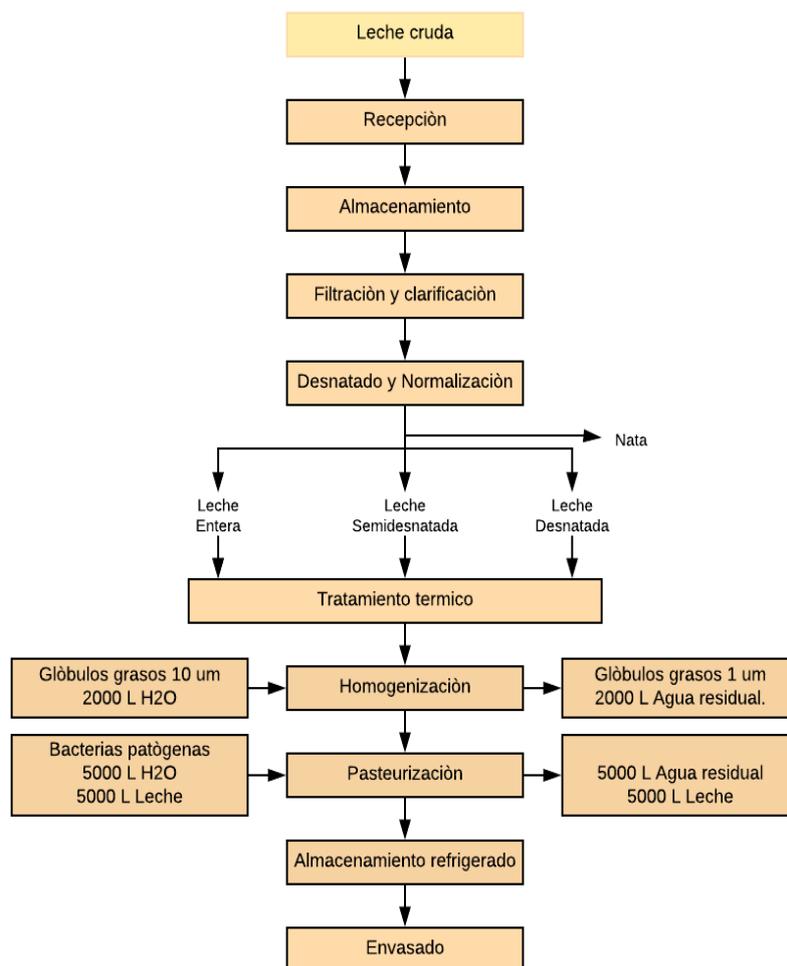


Figura 2. Procesos de elaboración de leche.

Adaptado de Muñoz, 2002, p.35.

2.2.1 Aguas residuales de industrias lácteas

La mayor cantidad de contaminación que produce una industria láctea es descargada al medio natural a manera de aguas residuales; esto se debe a su composición, que en su gran parte corresponde a sustancias orgánicas derivadas de la producción (leche y sus derivados) y, a elementos químicos empleados para la higienización, mantenimiento y preservación de equipos (Ruíz y Giraldo 2008).

2.2.2 Generación de aguas residuales por proceso de Homogeneización

La presencia de proteínas y grasa de gran tamaño, antes de realizar la homogeneización, es muy común, es por esto que se aplica este proceso para reducir el tamaño de grasas y que estas puedan seguir a las siguientes fases para elaboración de lácteos (Llanos, 2013).

Antes o posteriormente del tratamiento térmico, se realiza la homogeneización, en donde se reduce el tamaño de glóbulos grasos para de esta forma tener una distribución uniforme de la grasa, además, reduce la estabilidad de las proteínas en presencia del calor. Los homogeneizadores permiten el paso de la leche a presiones elevadas por medio de hendiduras más pequeñas, con el fin de reducir los glóbulos grasos y mantenerlos en suspensión (Muñoz, 2002).

2.2.3 Generación de aguas residuales por proceso de Pasteurización

La leche es sometida a pasteurización, ya que en esta se encuentran cantidades de mohos, levaduras y la mayor parte de las formas vegetativas de bacterias, las cuales van a ser eliminadas gracias a la presencia de temperatura (González y Ramírez, 2016).

La pasteurización es un tratamiento térmico, el cual tiene como propósito destruir microorganismos que se encuentran contenidos en la leche, tales como los causantes de la tuberculosis. Para este proceso se necesita una temperatura de 72-85 °C en un tiempo de 15-30 segundos; no obstante, pasteurizar la leche no garantiza la eliminación total de estos agentes patógenos, es por esto por lo que es necesaria la refrigeración de esta antes de ser ingerida (Aurora, 2017).

2.3 Caracterización general de aguas residuales de la industria láctea

Para poder implementar algún posible tratamiento de efluentes es necesario realizar una correcta caracterización del agua a estudiar y, de esta forma saber su composición, lo que nos ayudará para definir el método más adecuado.

2.3.1 Características Físico Químicas

Potencial Hidrógeno (pH): Es el logaritmo en base 10, proveniente de la acción molecular de los iones hidrógeno de una solución, nos permite conocer si el agua es ácida, alcalina o neutra (Roberts, 2003).

Temperatura (°C): Es una constante física de gran importancia para análisis de aguas, puede causar fenómenos como la solubilidad de los gases, reacciones biológicas, aceleración de procesos fotosintéticos, y remoción de compuesto orgánico (Zamora, 2009).

Turbiedad (UNT): Representa la existencia de la conductividad y de elementos suspendidos de las partículas disueltas tanto inorgánicas como orgánicas, las partículas suspendidas pueden llegar a tener un tamaño coloidal hasta macroscópicas (Ospina, García, Gordillo y Tovar, 2016).

Sólidos Totales (mg/L): Se determina sólido total a la mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, después que el agua residual es sujeta a un tratamiento térmico de 103-105 °C. Sin embargo, no se considera sólida a la materia que se deteriora en la evaporación por alta presión de vapor (Yépez, 2010).

Sólidos totales suspendidos (mg/L): Es la composición de partículas orgánicas o inorgánicas, que pueden separarse del líquido, por medio de la sedimentación, filtración o centrifugación (Rojas, 2002).

Sólidos sedimentados totales (mg/L): Se define como sólidos sedimentados a la materia que se acumula al fondo de un recipiente cónico (cono de Imhoff) en un determinado periodo de tiempo (60 minuto) (Yépez, 2010).

Sólidos disueltos totales (mg/L): Los sólidos disueltos se dan por la procedencia de iones los cuales pueden ser carbonatados, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, sodio, calcio, magnesio y potasio que se encargan de transportar carga eléctrica, de igual forma se puede presentar sólidos disueltos

por la existencia de rocas, minerales, descomposición de desechos sólidos, debido a la formación geológica del área de ubicación de la fuente hídrica (Jiménez, 2001).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (mg/L): Es el parámetro que determina el volumen de desechos sólidos, los cuales se degradan en el transcurso de cinco días a una temperatura de 20 °C y, a su vez es el total de oxígeno que requieren los microorganismos, para estabilizar los residuos biodegradables bajo condiciones aeróbicas (Sierra, Jaime y Mora, 2002).

Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L O₂): Define el total de oxígeno necesario para el proceso oxidativo de los desechos en el agua residual a tratar. La degradación de contaminación de las aguas se puede obtener de la correlación de DQO/DBO₅ (Rojas, 2002).

2.4 Tratamiento de aguas residuales industriales

La mayor parte de agua utilizada en las industrias termina siendo agua residual, al ser liberada al medio ambiente llega a crear una huella ambiental significativa, además de producir muchos otros peligros. La cantidad de agua residual dependerá de la actividad de la industria (Ranade y Bhandari, 2017).

Según Ranade y Bhandari (2017), unos de los principales tratamientos empleados para los procesamientos de aguas son: la floculación y la coagulación, los cuales son procedimientos que desequilibran las partículas disueltas presentes en el fluido por adición de sales que contrarresta las cargas entre las partículas, dichos compuestos pueden ser inorgánicos u orgánicos. Estos tratamientos son los más comunes para tratar efluentes industriales.

Otro tratamiento utilizado, es la adsorción, este es un tratamiento de aguas que depende del área del sólido adsorbente, que permite eliminar la existencia de ciertas sustancias contaminantes presentes en el agua. Existen varios tipos de

adsorbentes como el carbón activado, zeolita y polímeros, los cuales se obtienen de las resinas de intercambio iónico.

Por otro lado, el tratamiento biológico aeróbico, es un proceso que tiene como ventaja la degradación oxidativa de los sustratos de carbono, ya que está proporcionando la energía necesaria para la proliferación de microorganismos que actúan como biocatalizador.

2.5 Tratamiento de Coagulación

Es un proceso donde se van a formar elementos gelatinosos a través de la adición de coagulantes al agua, con la aplicabilidad de energía de mezclado, la cual se encarga de desequilibrar los elementos en suspensión mediante la compensación de las cargas coloidales, como se observa en la Figura 3. Este tratamiento se encuentra dentro de los más efectivos; no obstante, una mala dosificación del coagulante puede originar la degradación de la calidad del agua, lo cual representa una inversión extra o no justificada (Flórez, 2011).

Por ejemplo, al añadir poco coagulante no se tendrá un equilibrio completo de la carga de las partículas, no se podrá apreciar la conformación de micro flóculos y la turbiedad del agua será elevada; por otro lado, al colocar una cantidad excesiva de coagulante se provoca la inversión de cargas de partículas, lo que permite la presencia de micro flóculos en gran cantidad, pero su tamaño es muy pequeño para que exista una sedimentación correcta y por esta razón la turbiedad residual es elevada (Ramírez y Jaramillo, 2018).

Para evitar estos problemas de dosificación, se puede realizar varios ensayos en la prueba de jarras para establecer la dosis óptima a utilizar.

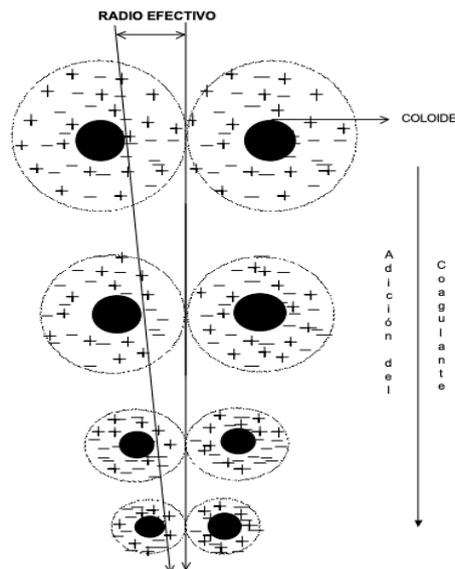


Figura 3. Coagulación.

Tomado de Andía, 2000, p.10.

2.5.1 Mecanismo de coagulación

Existen varios coagulantes que se encargan de la desestabilización de partículas, se pueden denominar como coagulantes o ayuda para el proceso de coagulación, según las condiciones de su uso (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler y Ortuño, 2002).

La coagulación, se origina de cuatro mecanismos de desestabilización.

- I. Compresión de la capa difusiva
- II. Adsorción para producir la neutralización de la carga
- III. Inmersión dentro de un precipitado
- IV. Adsorción que permita un enlace tipo puente entre partículas.

2.5.1.1 Compresión de la capa difusiva

Este mecanismo se refiere al aumento de la cantidad de coagulante o electrolito y la incorporación de contraiones. La capa difusa provoca una reducción de

distancia entre las partículas y, en ciertos casos permiten la desestabilización o desaparición de la barrera energética de activación (Restrepo, 2009).

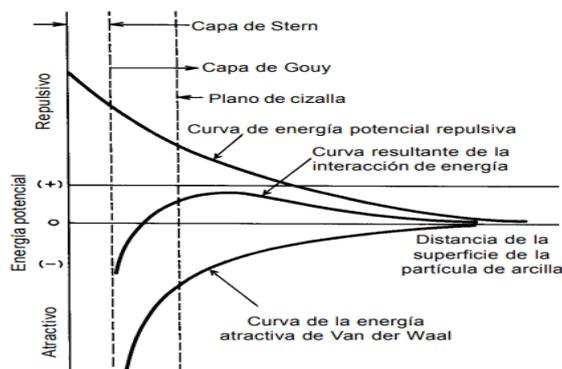


Figura 4. Compresión de la capa difusiva.

Tomado de Barrenechea, 2004, p.188.

2.5.1.2 Adsorción para producir la neutralización de la carga

Este mecanismo permite que algunas especies coagulante, puedan ser adsorbidas en la parte superficial de las partículas coloidales (Ojeda, 2012). La desestabilización en este mecanismo se da por la mezcla entre coagulantes con coloides, coagulantes con disolventes, coloides con disolventes, según su tipo, magnitud y capacidad de desestabilización (Aguilar et al., 2002).

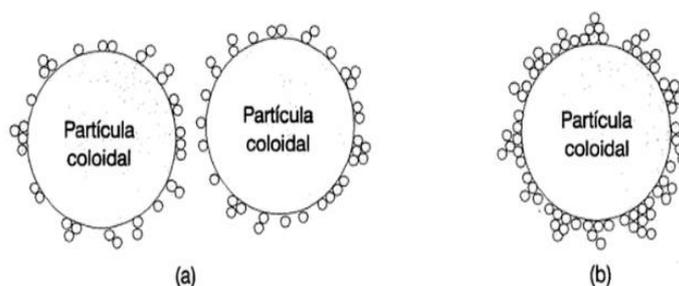


Figura 5. Neutralización de la carga (a) y re-estabilización de inversión de la carga (b).

Tomado de Aguilar et al., 2002, p.38.

2.5.1.3 Inmersión dentro de un precipitado

Las partículas coloidales ya desestabilizadas son captadas por un flóculo, esto se da al añadir una cantidad suficiente para lograr pasar el coeficiente de solubilidad, para dar paso a la formación de Al(OH)_3 , Fe(OH)_3 , estos son compuestos de los coagulantes químicos de sulfato de aluminio y cloruro férrico, respectivamente (Rodríguez, 2016).

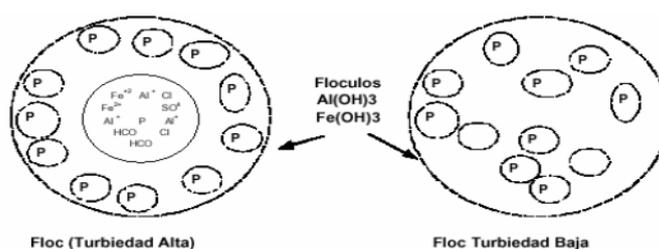


Figura 6. Atrapamiento de las partículas en un floc.

Tomado de Gómez, 2005, p.45.

2.5.1.4 Adsorción que permita un enlace tipo puente entre partículas

Este mecanismo se da cuando las partículas coloidales de signos opuestos se mezclan con el agua y, cuando los iones con carga opuesta son adsorbidos por las partículas coloidales, ayudando a la neutralización de las cargas repulsivas y provocando así la presencia de precipitados (Tafur y Quevedo, 2014).

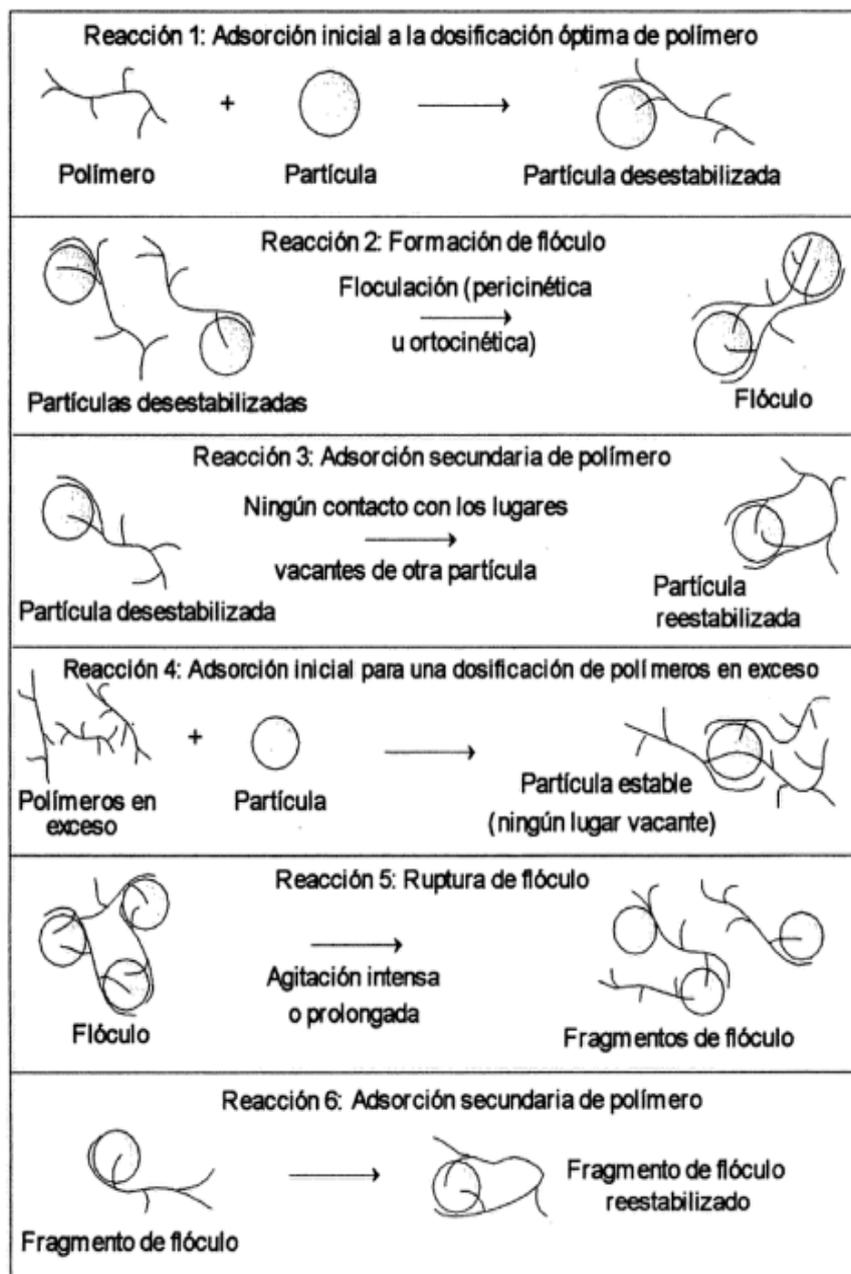


Figura 7. Modelo de enlace de puente para desestabilizar coloides con polímeros.

Tomado de Aguilar et al., 2002, p.41.

2.6 Floculación

La floculación es un procedimiento que se da seguido de la coagulación, se basa en la agitación de la masa coagulada, la cual ayuda al incremento y aglomeración

de los flóculos formados, con la finalidad de incrementar el peso y el tamaño de estos para su fácil sedimentación (Vargas, 1980).

La acción que realiza el floculante es tender un puente entre las partículas coloidales aglomeradas, para lograr la formación de grandes flóculos y mayor peso, y así obtener una mejor sedimentación, como se evidencia en la Figura 8.

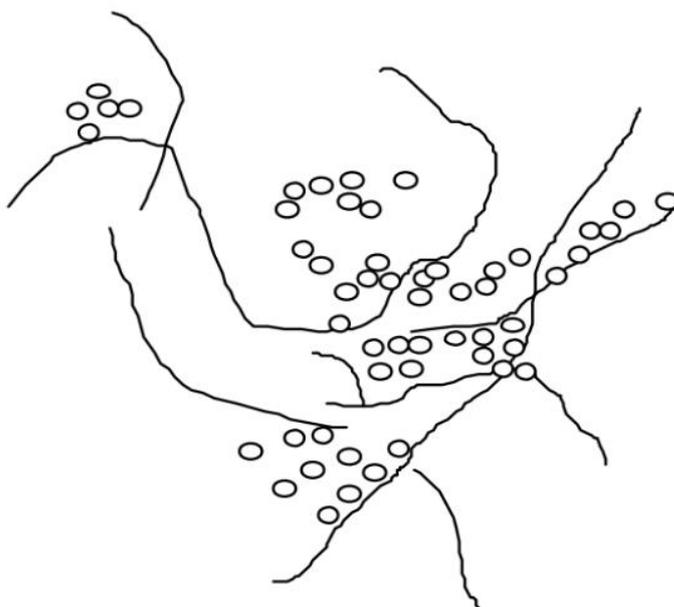


Figura 8. Floculación.

Tomado de Andía, 2000, p.33.

La floculación se favorece por la mezcla lenta, ya que permite la conformación de flóculos, en el caso de aplicar un mezclado rápido este podría romper los flóculos, dificultando la formación de tamaño y fuerza óptima de estos.

Según Andía (2000), existen dos diferentes tipos de floculación:

Pericinética: Se forma por el movimiento natural de las moléculas del agua, impulsada por energía térmica.

Ortocinética: Es la colisión de partículas debido al movimiento del agua, inducido por una energía externa, que puede ser hidráulica o mecánica.

Es necesario aclarar que, para la creación de aglomerados de los microflóculos, se aplica primero la floculación pericinetica para dar paso a la floculación ortocinética.

2.7 Uso de bio coagulantes como alternativa para el tratamiento de aguas residuales.

El desarrollo y uso de coagulantes naturales obtenidos de microorganismos, tejidos de plantas o animales, se debe a que son biodegradables, amigables al ambiente y libre de toxinas (Banchón et al., 2016).

Sus componentes bioactivos son las proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos, almidones, alcaloides, caracterizadas por ser solubles en agua, se aplican para la remediación o tratamiento de agua residual industrial o para la potabilización de agua, los bio coagulantes actúan como desestabilizadores de los sólidos suspendidos, ayudan a la eliminación de sólidos disueltos, y los lodos que se generan después de la aplicación de estos son menos contaminados, por lo que se pueden aprovechar como biosólidos (Ramírez y Jaramillo, 2018).

2.7.1 Coagulantes naturales más utilizados

El uso de coagulantes naturales ha presentado buena eficiencia para eliminación de materia orgánica y remoción de turbiedad en aguas contaminadas. La más utilizada es la Moringa Oleífera, con una reducción del 96.18% de turbiedad en solución de agua de mar, puesto a su gran rendimiento se ha colocado entre los primeros lugares en desempeño como coagulante natural (Arreola y Canepa, 2013).

Según Guzmán et al., 2013, los coagulantes implementados para reducción de turbidez pueden ser catiónicos, aniónicos y no iónicos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Coagulantes naturales evaluados y considerado positivo para reducción de turbiedad.

Materia vegetal	Turbidez (NTU)	Eficiencia de remoción (%)	Dosis óptima (mg/L)
Coagulantes aniónicos Nirmali (<i>Strychnos potatorum</i>)	18-21;38-42;130-135	83 - 88	1.0;2.0
Coagulantes catiónicos Moringa oleífera	18-21;38-42;130-135	94 - 99	100;200
Falso Índigo (<i>Amorpha fruticosa</i>)	17.5;30;70	80-70-80	5; 5; 10
Cargamanto (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	17.5;30;70	80-60-65	5; 10
Opuntia spp.	125	90-92	5 ;15
Acacia Australiana (<i>Acacia mearnsii</i>)	200	75	12.5
Frijol común (<i>Phaseolus wurgaris</i>)	35	72.3	0.7;1.0
Coagulantes no iónicos (<i>Cyamopsis tetragonolobus</i>)	49	90	50

Adaptado de Guzmán et al., 2013, p.259.

2.7.2 Ventajas y desventajas del uso de bio coagulantes

Según la investigación de Choy et al., (2014), la aplicación de bio coagulantes tiene varios beneficios y limitaciones, tal como se puede apreciar en la Figura 9.

En los últimos años, la investigación del uso de coagulantes naturales como tratamiento para clarificación de efluentes con contaminantes, ha ido creciendo gracias a las ventajas que presenta un tratamiento natural.

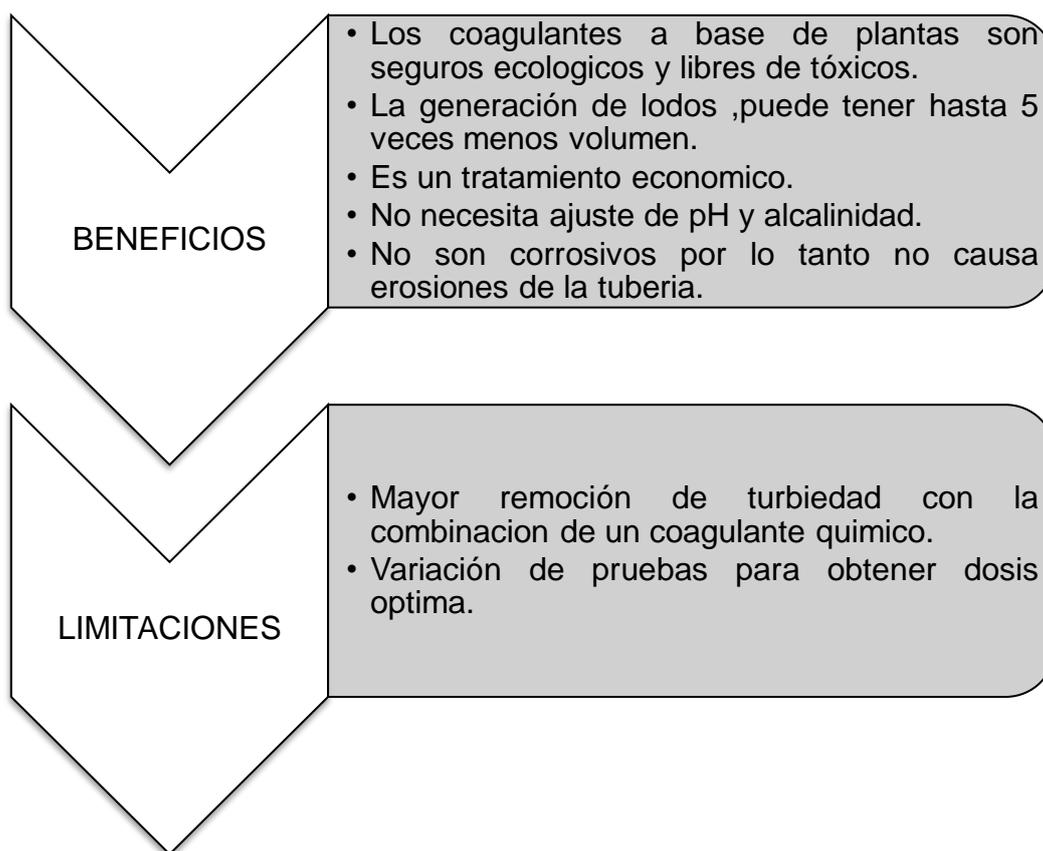


Figura 9. Beneficios y Limitaciones de los coagulantes naturales.

Adaptado de Choy et al., 2014, p.2186.

2.8 Estudio del almidón de yuca, papa y plátano como bio coagulante

2.8.1 Composición Fisicoquímica de la yuca

La yuca no solo se utiliza únicamente para consumo humano, debido a sus componentes puede convertirse en almidón y en otros productos derivados. El 80% del peso de la raíz corresponde solamente a la pulpa, que es donde se encuentra almacenado el almidón; este es considerado un polímero natural cuyos gránulos forman estructuras macromoleculares ordenadas en capas (Cabrera y Ramírez, 2014).

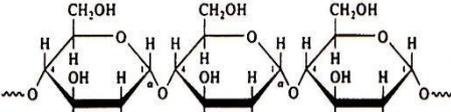
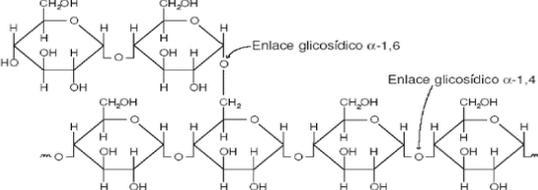
Las capas externas se componen de amilopectina y las capas internas de amilosa, la amilopectina varía entre 5 μm a 35 μm , el contenido de amilosa es de alrededor de 17% al 22%, y su forma granular es esférica, truncada (Jiménez y Martínez, 2016).

La amilosa y amilopectina corresponden a la estructura química de un almidón, dentro de la amilosa se desarrolla enlaces de α - (1 \rightarrow 4), los cuales provienen de una cadena de homopolímero (Palma, 2006), aproximadamente la amilosa contiene alrededor de 1 a 20 cadenas, cada una de estas contiene un grado de polimerización, su rango promedio es de 500 unidades de glucosa. Dentro de la composición de la amilosa se ha comprobado la presencia de enlaces α -(1 \rightarrow 6), lo cual nos permite ver el comportamiento de la amilosa como polímero lineal, esta formación lineal causa diferentes complejos frente a moléculas hidrofóbicas como el yodo, ácidos grasos e hidrocarburos (Canónico, 2003).

Por otro lado, la amilopectina se caracteriza por su forma molecular, debido a que esta tiene forma de un árbol, donde las ramas están unidas al tronco, al igual que la amilosa, esta contiene enlaces α -D-(1,6), las cuales se localizan cada 12 a 25 unidades lineales de glucosa (Badui, 2006).

Tabla 2.

Estructuras moleculares del almidón.

Compuesto	Estructura Química
Amilosa	
Amilopectina	

Adaptado de Peñaranda, Perilla, y Algecira, 2008,p 48-49.

El uso de la yuca como bio coagulante ha tenido resultados favorables para la eliminación de la turbiedad y *Escherichia coli*, consiguiendo una remoción de 12.36% y 16.67%, respectivamente; aplicando una dosis de 3 mg/l de almidón de yuca (Rivera, 2017). Por lo tanto, es una alternativa que puede ayudar a la disminución del uso de los coagulantes químicos.

2.8.2 Composición Fisicoquímica de la papa

El almidón de la papa está conformado por fósforo, tiene una alta viscosidad, capacidad de hinchamiento, alta claridad en el proceso de gelificación y una baja retrogradación. Las propiedades del almidón de papa dependen de las características físicas y químicas, entre los cuales están el tamaño granular y la relación de la amilosa/amilopectina. (Peña, 2017).

La forma y el tamaño de la granulación de la papa oscilan en el rango de los 5 μm a 100 μm , pero generalmente, se lo encuentra en promedio de 33 μm . En cuanto a su forma puede ser oval o esférica, su tubérculo puede estar estructurado como se evidencia en la Tabla 3, la estructura molecular del almidón para este tubérculo es igual que la presentada para la yuca en la Tabla 2, los

porcentajes de amilosa y amilopectina son del 17% y 83%, respectivamente (Hernández, Torruco, Chel, y Betancur, 2008).

Tabla 3.

Composición del tubérculo de la papa.

Componente	%Normal	% Rango
Almidón	70	60-80
Sacarosa	0.5-1	0.25-1.5
Azúcares reductores	0.5-2	0.25-3
Ácido cítrico	2	0.5-7
Nitrógeno total	1-2	1-2
Nitrógeno proteico	0.5-1	0.5-1
Grasa	0.3-0.5	0.1-1
Fibra (dietética)	6-8	3-8
Cenizas	4-6	4-6

Tomado de Oviedo, Gallegos, y Espín, s.f, p.28.

El uso de almidón de papa para tratar el agua contaminada ha tenido resultados favorables. Según, Chama (2017) el contenido de almidón de la papa puede llegar a mover hasta un 60% de turbiedad, aplicando una dosis óptima de 133 mg/l de almidón de papa, la turbiedad inicial del agua residual fue de 16.1 NTU y, con la aplicación del almidón de papa se redujo a un 6.3 NTU.

Otra investigación en la cual se utilizó la cáscara de papa, se obtuvo una remoción de turbiedad mayor a 97%, aplicando una dosis de 50 mg/l (Carrasquero et al., 2017).

2.8.3 Composición Fisicoquímica del plátano

Según lo determinado por Flores et al., (2004), el plátano puede contener en base seca un porcentaje de pulpa de 59.2% al 60.7%, la misma que presenta un

contenido de sólidos entre el 52.7% y 56.8%; de los cuales se derivan los almidones y, estos a su vez tienen un rango de 63.4 a 65.3% de almidón.

El plátano va a depender de su estado de madurez para el aprovechamiento de almidón, en estado inmaduro y base seca puede llegar a contener hasta un 70% de almidón (Blasco y Gómez, 2014).

El almidón nativo de plátano presenta mayor estabilidad que otros, debido a su composición química como se puede ver representado en la Tabla 4. Sin embargo, el rendimiento de este almidón no solo depende de la composición química, también debe sujetarse a la proporción de sus componentes (amilosa, amilopectina), el tamaño molecular (20 a 50 μm) y, la forma de los gránulos (ovales, elipsoidales o irregulares alargados) (Vergara, 2012).

Tabla 4.

Composición química del almidón de plátano.

Determinación química	Contenido (%)
Lípidos	1.85 \pm 0.11
Proteínas	2.06 \pm 0.15
Cenizas	1.89 \pm 0.12
Humedad	8.20 \pm 1.70
Almidón total	91.20 \pm 1.20

Tomado de Vergara, 2012, p.5.

El almidón contenido en el plátano, ha sido destacado entre las nuevas investigaciones efectuadas para tratamiento de agua, debido a que ayuda a la eliminación de compuesto orgánico y turbiedad presentes en el agua, en conjunto con la combinación de coagulantes químicos, un ejemplo de esto es la investigación realizada por Trujillo et al., (2014), en donde se obtuvo la remoción del 90 y 94% con la combinación del 50% del sulfato de aluminio y 50% del almidón de plátano con una dosificación de 75 mg/l.

2.9 Procesos de transición del almidón como coagulante natural

Debido a la estructura de los almidones, existen transformaciones a las que se pueden someter para conseguir un rendimiento mejor en la purificación de aguas (Figura 10). Estos se dividen en 3 procesos:

2.9.2 Gelatinización

Es un proceso esencial que sufren los polímeros, en el cual son sometidos a temperatura, va a depender del tipo de almidón y el tamaño del gránulo a tratar (Rivera, Correa y Alzate, s.f.).

Este proceso es irreversible, los gránulos de almidón se unen para transformarse en una red polimérica, este cambio se ve representado como la hinchazón granular por la actividad endotérmica (60-70 °C), después del hinchamiento, se da paso a la deformación y destrucción del gránulo en conjunto con la solubilización de su composición química (amilosa, amilopectina) (Quintero y Ramírez, 2013).

2.9.3 Gelificación

La gelificación se define, como los cambios a los que son expuestos los gránulos por calor en medio acuoso, el intervalo de temperatura en el que se produce el hinchamiento de los gránulos es denominado temperatura de gelificación, en este procedimiento la presencia de amilosa es necesaria, ya que esta es la sustancia que se va a solubilizar en el agua y provocar el hinchamiento de los gránulos y, finalmente formar una pasta de almidón, con alta viscosidad. Si esta pasta es sometida por más tiempo a calor llega a la segunda fase donde se puede apreciar la fragmentación de los gránulos, provocando una disminución de su viscosidad, para dar paso a la formación del gel o gelificación (Aristizábal, Sánchez y Mejía, 2007).

2.9.4 Retrogradación

En esta transformación del almidón, se realiza la insolubilización y precipitación de las moléculas de forma espontánea, debido a que sus cadenas lineales se encuentran paralelas a través de puentes de hidrógeno. El contenido de amilosa define qué tipo de retrogradación tendrá el almidón a estudiar, puede llevarse a cabo por medio de una ruta rápida, para la cual se necesita calentar una solución de amilosa y seguidamente enfriarla para la formación de un gel rígido y reversible o a su vez puede ser por la ruta lenta, en la cual la solución es diluida, se torna opaca y tiene un proceso lento de enfriamiento (Wang, Li, Copeland, Niu y Wang, 2015).

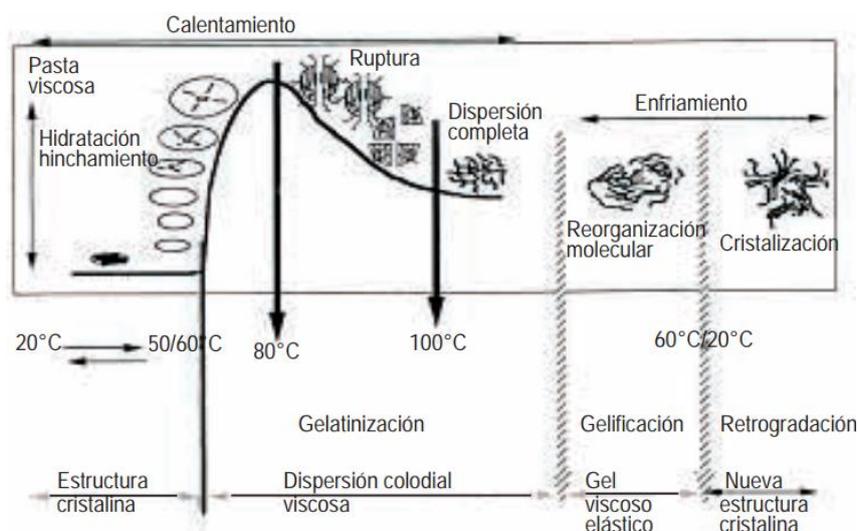


Figura 10. Transición del almidón durante tratamiento hidrotérmico.

Tomado Aristizábal et al., 2007, p.37.

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

En este apartado, se va a detallar las metodologías utilizadas para los respectivos análisis y tratamientos de agua contaminada procedente de una industria láctea, de igual manera los diseños experimentales a utilizar para esta investigación, que tiene el fin de definir cuál ensayo se destaca, en la reducción de turbiedad y compuesto orgánico en la muestra de agua residual.

3.1 Obtención del almidón

3.1.1 Obtención de almidón de papa y yuca

Antes de realizar cualquier proceso se preparó el coagulante natural de la papa y yuca, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

Para extraer el almidón de la yuca y papa se tomó la técnica de Aparicio (2003) (Ortega, Laines y Aparicio, 2010).

Como primer paso, se procedió a pelar, lavar y cortar las especies vegetales en porciones de 2.5 cm x 2.5 cm x 2 cm, luego se colocó los trozos realizados en el paso anterior en un envase con agua a 40 °C, para proceder a licuar todas las porciones del recipiente y así obtener partículas más finas (Figura11). Posterior a este paso, se lavó varias veces el extracto obtenido con la misma agua utilizada anteriormente y con el auxilio de un tamiz # 100.

El líquido que paso por el tamiz se dejó sedimentar por dos horas y lo que se retuvo por el tamiz se desechó. Una vez transcurridas 3 a 4 horas del proceso de decantación, se separó el líquido, mientras que el sedimento se dejó reposar por 24 horas. Para evitar que exista un sobrenadante después de la refrigeración, se volvió a realizar la separación del mismo, como penúltimo paso se pasó el sedimento a la centrifugadora a 850 rpm por 15 minutos y se secó en la estufa a 40 °C por 24 horas, con la ayuda del mortero se logró obtener el almidón en polvo (Ortiz, López, Torres y Pampillón, 2018).

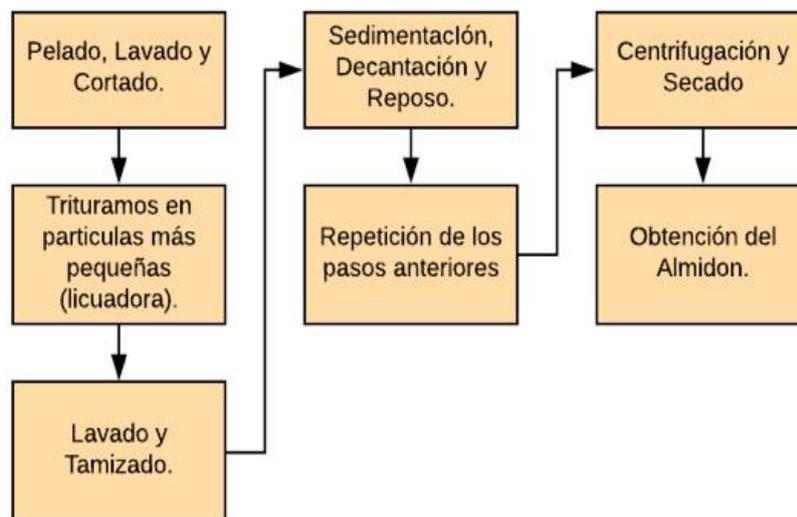


Figura 11. Proceso de la Obtención de almidón.

Adaptado de Ortega et al., 2010, p.91.

3.1.2 Obtención de almidón de plátano

El almidón se obtuvo mediante un procedimiento diferente a los anteriores. En este se cortó el plátano en rodajas finas de 0.3 cm aproximadamente, luego se procedió a secar al sol por 3 días, una vez seco se procedió a triturar con la ayuda de una licuadora, para obtener partículas más pequeñas se utilizó un tamiz Humboldt de 0.30 milímetros, por último, se almacenó en un embudo de plástico para su conservación.

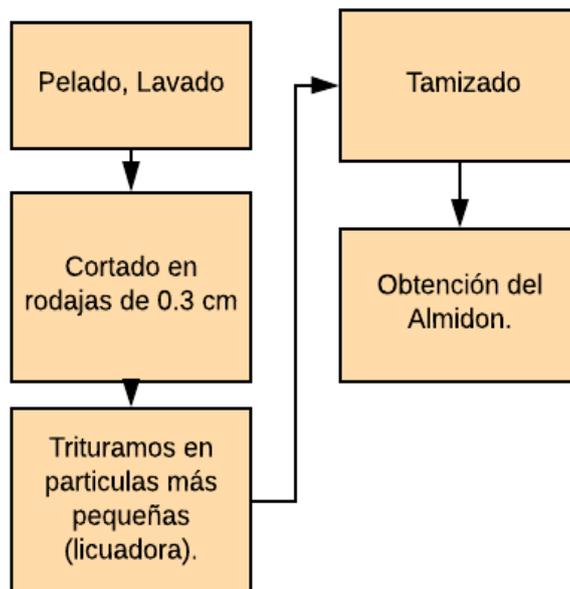


Figura 12. Proceso de la Obtención de almidón de almidón de plátano.

3.1.3 Prueba de presencia de almidón

Para la verificación de la concentración de almidón en las distintas especies vegetales, se agregó unas gotas de lugol, para así obtener una coloración azul oscuro, la cual es indicador de presencia de almidón, como se puede apreciar en la Figura 13. Esto fue realizado con el propósito de conocer si el proceso realizado para la elaboración de almidón fue la correcta.

El uso de lugol es esencial para reconocer la presencia de almidón, la reacción que tiene el lugol es debido a que el almidón adsorbe el yodo, y este se tintura de un color azul intenso; sin embargo, esta coloración desaparece con la presencia del calor (Martín, Martín y Pinto, 2013).



Figura 13. Comprobación de contenido de almidón en papa, plátano y yuca, respectivamente.

3.2 Toma de muestra

El punto de muestreo se realizó en "El Ordeño", esta fábrica se localiza en la provincia de Pichincha, ciudad de Quito sector Machachi, Av. Panamericana Sur S/N KM 34 1/2. La empresa cuenta con una planta de tratamiento, donde se realizó la toma de muestra en el tratamiento primario, antes que el agua residual sea sometida a un tratamiento químico. Se recolecto 10 galones de agua residual, siguiendo el procedimiento basado en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:2013, la cual determina las técnicas y precauciones para la conservación y transporte de cualquier tipo de muestra de agua.

Los embaces manipulados para la recolección fueron homogenizados con la misma agua, con la finalidad de evitar contaminación cruzada; los recipientes fueron sellados correctamente para su transporte y para su conservación se mantuvo a una temperatura de 4 °C.

Con la obtención de la muestra se traslado al laboratorio de la Universidad de las Américas para efectuar su análisis y tratamiento correspondiente.



Figura 14. Toma de muestra de agua residual.

3.3 Caracterización fisicoquímica

3.3.1 Determinación de pH

En la determinación de pH se utilizó el pH metro BT - 675 de *Boeco Germany*, en función de métodos potenciométricos, en los que es necesario el uso de sondas potenciométricas con un rango de medición de 0-14 (ELECTROCHEMISTRY, s.f.).

Se tomó 50 ml correspondiente al agua contaminada de la industria que se muestreo, el primer paso a realizar es verificar si el equipo esta calibrado, posteriormente se utiliza las soluciones preparadas para calibrar del equipo, una vez comprobado su correcto funcionamiento, se limpia el electrodo con agua destilada, para seguidamente colocar el electrodo BA 25 para la medición, después de obtener el dato de pH, se lava el electrodo para impedir la presencia de impurezas.



Figura 15. Medición de pH.

3.3.2 Medición de Turbidez

La medición de la turbidez de las muestras de agua se realizó con la ayuda del espectrofotómetro UV/VIS NANOCOLOR, marca Macherey-Nagel, a través del método de nefelometría, el cual consiste en comparar la intensidad de la luz dispersa por la muestra, por una suspensión estándar de referencia o más conocido como blanco, el rango que puede medir el equipo es de 0.1 a 1000 NTU (Clesceri, Greenberg y Eaton, 1999).

Se coloca dentro de un tubo de ensayo 10 ml de muestra obtenida de la industria láctea, se limpia el tubo de ensayo antes de ingresar al espectrofotómetro, una vez limpio se hace la lectura de la turbiedad.

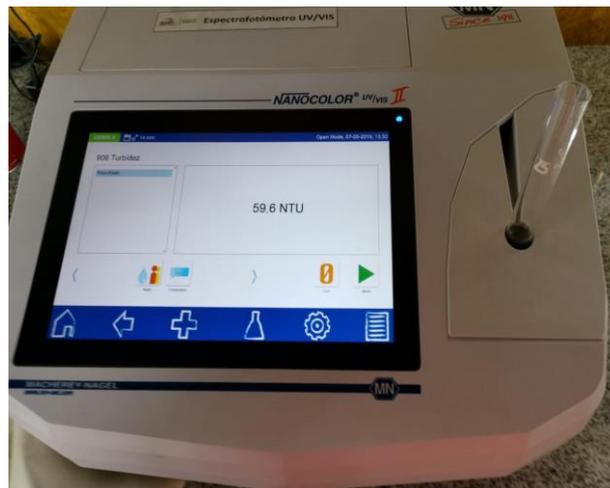


Figura 16. Medición de Turbiedad en espectrofotómetro.

3.3.3 Procedimiento para determinación de sólidos sedimentables, Método Estándar

Para determinar los sólidos sedimentables se colocó 1 litro de muestra en un cono Imhoff. Se dejó reposar durante 1 hora, con la ayuda de una varilla de vidrio se movió los residuos de las paredes y se dejó sedimentar por 15 minutos más y, finalmente se tomó la medida del volumen de la fase sólida sedimentada (Secretaría de Comercio y fomento industrial [SCFI], 2001).

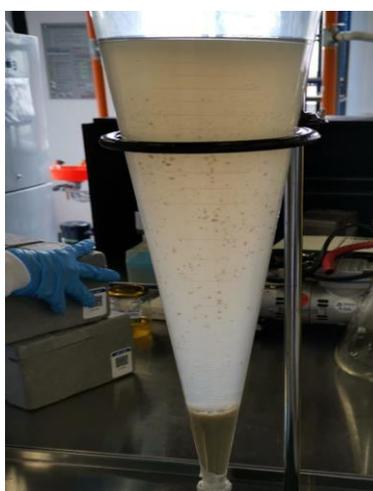


Figura 17. Proceso de sedimentación en cono Imhoff.

3.3.4 Procedimiento para determinación de sólidos totales, Método Estándar

Para la obtención de sólidos totales se preparó los crisoles, estos fueron sometidos a 105 °C en el horno por una hora para tarar. Se pesó el crisol antes y después de tarar para obtener datos fiables. Posteriormente fue colocado 25 ml correspondiente a la muestra y se colocó al horno a 105 °C por 24 horas. Pasado este tiempo se colocó en el desecador y luego se pesó para realizar los cálculos y definir qué cantidad de sólidos totales tiene la muestra (Galván, 2007).

$$mg \text{ de sólidos totales} = \frac{(A-B)*1000}{Volumen \text{ de muestra (ml)}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde, A= peso del residuo seco + crisol en mg

B= peso del crisol mg

3.3.5 Procedimiento para determinación de sólidos suspendidos totales, Método Estándar

El primer paso para realizar este procedimiento es tarar los crisoles y papel filtro a 105 °C en el horno por una hora, después de eso se debe preparar el equipo a utilizar los cuales son el equipo de filtración y bomba de vacío. El papel de filtro fue colocado en el embudo de filtración con agua destilada y procedemos a aplicar poco a poco el agua residual hasta que el filtro se sature, para después colocar el crisol con el filtro en el horno a 105 °C toda la noche, por último se pesa el crisol con el papel filtro para proceder a hacer los cálculos (Hernández, 2007).

$$mg \text{ de sólidos suspendidos totales} = 10^6 \frac{(A-B) (mg)}{Volumen \text{ de muestra (ml)}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde, A= peso del crisol con el filtro y sólido seco (mg)

B= peso del crisol (mg)

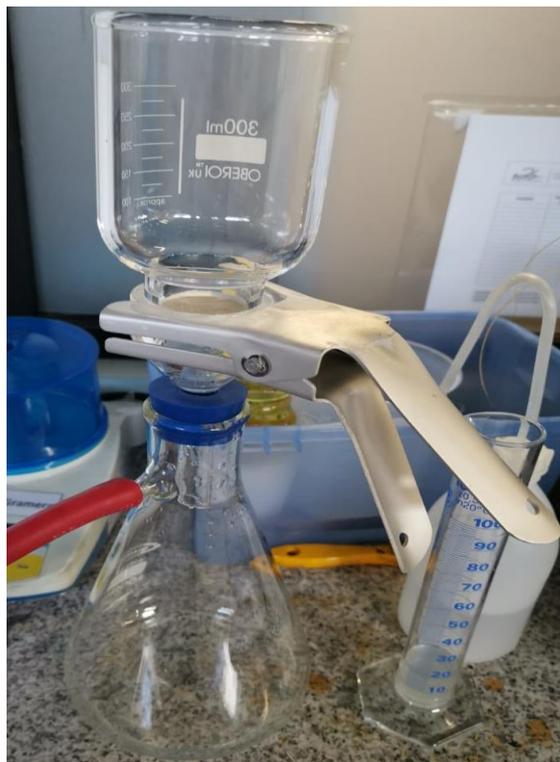


Figura 18. Equipo de filtración.

3.3.6 Procedimiento para determinación de sólidos disueltos totales, Método Estándar

Para la determinación de sólidos disueltos totales se necesita tarar los crisoles a utilizar previamente a 105 °C en el horno por una hora, se procede a desecar y pesar para luego aplicar el agua obtenida en la filtración para los sólidos suspendidos totales, se coloca en el horno a 105 °C toda la noche, para finalizar se pesó el crisol y se realizaron los cálculos (Lermann, Gilli, Eliggi y Zerbato, s.f.).

$$\text{mg de sólidos disueltos totales} = 10^6 \frac{(A-B) \text{ (mg)}}{\text{Volumen de muestra (ml)}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde, A= peso del crisol con el sólido seco (mg)

B= peso del crisol (mg)

3.3.7 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

Para determinar la DQO fue empleado el kit NOVACHEM con rango de 0 a 15000 mg/l, donde se realizó el siguiente procedimiento (Figura 19). Para obtener el valor de DQO se utilizó el espectrofotómetro UV/VIS NANOCOLOR marca Macherey-Nagel con el código 029.

En el tubo de reacción para la medición de DQO, se agregaron 2 ml de la muestra sin filtrar, luego se agito suavemente hasta lograr la homogenización de este. Una vez preparado el tubo se colocó en el bloque digestor, por 2 horas a una temperatura de 148 °C. Después de que transcurrieron las 2 horas se dejó a enfriar el tubo de reacción al ambiente, por último, se midió la DQO de todos los ensayos ejecutados.

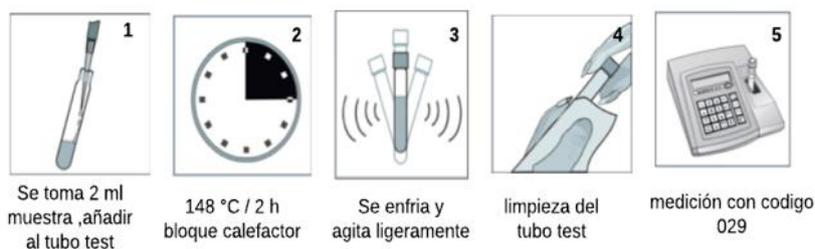


Figura 19. Proceso de medición de la demande química de oxígeno. Adaptado de Macherey-Nagel, s.f.



Figura 20. Bloque calefactor.

3.3.8 Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Para determinar la DBO_5 , se utilizaron botellas oxitop con un agitador magnético, se colocaron todas las muestras según los datos logrados por la DQO, se añadieron gotas del inhibidor dependiendo del total de muestra utilizado, después se coloca un caucho y se agregaron 2 perlas de hidróxido de sodio, por último, se cerró con el cabezal oxitop el cual va a evitar que escape algún gas. Antes de que se coloque en la estufa, se reinició el cabezal, finalmente se mantuvo en la estufa a 20 °C por 5 días para la obtención de resultados.



Figura 21. Botellas oxitop en incubadora a 20 °C.

3.4 Normativa aplicada para análisis

El conocimiento de los términos superiores permitidos de descargas de aguas en cualquier fuente hídrica es importante, debido a que esta investigación trata de llegar a los límites normados con el empleo de coagulantes naturales; esta investigación se basó en los límites de descarga a la alcantarilla ya que es el lugar de descarga del sistema de procesamiento la planta de tratamiento de donde se adquirió la muestra del agua contaminada.

Tabla 5.

Límites de descargas al alcantarillado.

Parámetros	Expresado cómo	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sólidos sedimentables	SSed	mg/l	20
Temperatura	T	°C	< 40
Potencial de hidrógeno	pH		6-9

(AM 097-A, 2015)

3.5 Determinación experimental de dosis óptima con almidón de yuca, papa y plátano

3.5.1 Pretratamiento de la muestra

Al existir un alto contenido de compuesto orgánico en la muestra de agua a procesar, se optó por realizar un pretratamiento de esta, para esto fue necesario el uso del equipo de filtración y papel filtro para lograr la mayor retención de grasa. Se fue incrementando la proporción de agua en la bomba de vacío para impedir la saturación inmediata del papel filtro.



Figura 22. Pretratamiento del agua residual.

3.5.2 Gelificación del almidón de las especies vegetales de estudio

Antes de comenzar con los diseños experimentales se realiza la gelificación de los almidones, para obtener un aumento en el granulo de este, lo cual, como se ha explicado anteriormente, nos permite tener mejores resultados para la eliminación de compuesto orgánico y turbiedad.

Se pesó 10 g de almidón de cada especie vegetal, se agregó en un vaso de precipitación y se añadió agua destilada hasta llegar a los 100 ml, se mezcló a temperatura ambiente, luego se colocó en la parrilla de calentamiento por 30 minutos a 148 °C con constante agitación para impedir la gelatinización del almidón. Como último paso se dejó enfriar al ambiente.



Figura 23. Proceso de gelificación en parrilla de calentamiento con agitación.

3.5.3 Determinación de dosis de almidón de las especies vegetales

Para definir la cantidad adecuada del almidón de la yuca, papa y plátano, se realizaron diferentes análisis con varias cantidades de coagulante natural, para esto se colocó 250 ml de muestra previamente filtrada en vasos de precipitación, se agregó varias dosis del almidón de las diferentes especies vegetales, para poder obtener una mezcla completa del agua con el almidón de programo la prueba de jarras a 100 rpm durante 1 minuto y para la formación del floc se programó a 40 rpm por 15 minutos.

Se realizaron alrededor de 27 pruebas en el equipo de test de jarras, a fin de establecer la dosis óptima, en cada una de estas pruebas se midió la turbiedad preliminar y la final luego de aplicar el almidón.

Con los datos obtenidos del anterior paso, se procedió a efectuar los cálculos para establecer el porcentaje de separación de turbiedad que se obtuvo en todos los análisis efectuados.



Figura 24. Prueba de dosificación en test de jarras.

3.6 Primer diseño experimental

Una vez determinada cuál de las dosificaciones tuvo mejor resultado en el porcentaje de remoción de turbidez, se determinó un rango de dosificación entre

los 2 mejores resultados anteriores, es decir, se especificaron tres dosificaciones para evaluar.

Se colocaron 250 ml de agua residual en vasos de precipitación de 500 ml, después se añadieron dosis de 2 ml, 4 ml y 6 ml de almidón gelificado, respectivamente; este proceso se efectuó para cada género vegetal, seguidamente de esto se ubicaron los vasos en la prueba de jarras y se programó el equipo a 100 rpm por 1 min y 40 rpm por 15 minutos para la formación de flóculos. Este proceso se realizó en tres repeticiones por cada almidón, debido al diseño experimental planteado en la Tabla 6. Se aplicó las metodologías antes descritas de DQO Y DBO_5 , para definir el porcentaje de eliminación de compuesto orgánico, de igual forma en este proceso se ejecutaron tres repeticiones por cada una de las especies vegetales, es decir, se tomó la cantidad de muestra necesaria para realizar la DBO_5 , el total de muestra dependió de los datos que registraron en la medición de la DQO.

Tabla 6.

Primer diseño experimental para remoción de compuesto orgánico.

Remoción de materia orgánica						
Tratamiento	Dosis de almidón	R1	R2	R3	Promedio de DQO	Promedio de DBO_5
1	2 ml					
2	4 ml					
3	6 ml					

3.7 Segundo diseño experimental

La segunda fase experimental tiene como fin, analizar la reducción de turbiedad con la combinación de los coagulantes químicos, con los naturales ya nombrados anteriormente.

3.7.1 Dosis óptima del Coagulante químico

El coagulante químico comúnmente más aplicado para los procesos de coagulación-floculación es el Sulfato de aluminio, es por esa razón que se lo aplicó para esta investigación (Barajas y León, 2015).

De igual forma que se determinó la cantidad de coagulantes de origen natural, se ejecutaron diversas pruebas de jarras, con la discrepancia de que se obtuvo con mayor facilidad, ya que, al ser un elemento químico, tuvo una reacción rápida sobre el agua contaminada, es decir para establecer este proceso se realizaron 6 pruebas mediante el análisis de jarras a 100 rpm por 1 min y 40 rpm por 15 minutos.

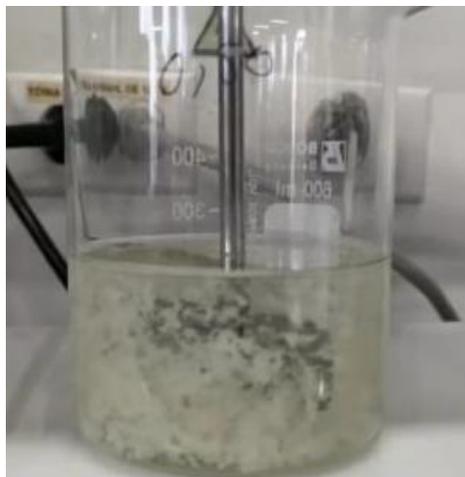


Figura 25. Dosis óptima del Sulfato de aluminio.

3.8 Determinación de la reducción del porcentaje de turbidez del agua residual de la industria láctea

Una vez conseguido los datos con la cantidad adecuada tanto del coagulante natural como del químico, se elaboró la distribución de cantidad para cada tratamiento; en esta fase se distribuyó por porcentajes, se consideró que la cantidad máxima corresponden al 100% como se muestra en la Tabla 7.

Se colocaron 250 ml de muestra de agua contaminada en vasos de precipitación, después se añadieron los diferentes porcentajes en todos los vasos, cabe recalcar que el mismo proceso se realizó para todos los almidones utilizados en este estudio, se situó cada uno de los vasos en la prueba de jarras para proceder a realizar los tratamientos. Una vez concluido los 15 minutos a 40 rpm, las muestras se dejaron reposar por 30 minutos, luego se tomaron 15 ml de muestra en tubos de ensayo y por último se midió la turbiedad en el espectrofotómetro.

Una vez obtenidos los datos se realizaron los cálculos para la obtener el porcentaje de reducción de turbiedad y por ende cuál de los tratamientos fue el mejor para cada una de las especies vegetales.

Tabla 7.

Segundo diseño experimental remoción de turbiedad.

Reducción del porcentaje de turbidez en el agua residual de la industria láctea			
Tratamientos	Cantidad de $Al_2(SO_4)_3$ (%)	Cantidad de Almidón (%)	Remoción de Turbidez (%)
1	100%	0%	
2	75%	25%	
3	50%	50%	
4	25%	75%	
5	0%	100%	

3.9 Caracterización final

Una vez ejecutados los diseños experimentales y con la ayuda de la información adquirida en cada uno de estos, se determinó cuáles son los mejores tratamientos para cada uno de los almidones de yuca, papa y plátano.

Para finalizar con la parte experimental, fue necesario realizar la caracterización de los mejores tratamientos, con el objetivo de comparar los datos iniciales con

los finales de la muestra de agua y, determinar que parámetros mejoraron con el uso de los coagulantes naturales.

4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización inicial de las muestras

Las muestras de agua recolectadas en la industria láctea fueron estudiadas y analizadas en el laboratorio, los datos iniciales del agua muestreada se aprecian en la Tabla 8.

Tabla 8.

Caracterización de las muestras recolectadas en la industria láctea.

Caracterización de las muestras recolectadas		
Parámetros	Unidad	Muestra Inicial
STT	mg/L	4466.67
SST	mg/L	620.00
SDT	mg/L	3622.22
SSedT	ml/L	40
DQO	mg/L O ₂	> 1500
DBO ₅	mg/L O ₂	770
pH		8.11
Turbidez	NTU	246.5
Turbidez Filtrada	NTU	147.1
Color	Co: Pt	> 600

4.2 Obtención de los coagulantes naturales

4.2.1 Almidón de yuca y papa

La extracción se la realizó a través del método de Aparicio (2003); procedimiento descrito anteriormente. Para el caso de la yuca se utilizó 2250 gramos de pulpa

obteniéndose una cantidad de 481 gramos de almidón, para el caso de almidón de papa se requirió 5000 gramos para la obtención de 478 gramos de almidón de papa.

4.2.2 Almidón de plátano

Para esta extracción se utilizó una metodología diferente, se cortó en rodajas el plátano y se dejó secar al sol obteniendo la harina, posterior a este paso, se utilizó un tamiz Humboldt de 0.30 milímetros donde se obtuvo el almidón en polvo. En esta especie vegetal se requirió de 3000 gramos de plátano del cual se obtuvo 515.8 gramos de almidón de plátano.

Tabla 9.

Obtención de almidón de yuca, papa, plátano.

Coagulantes naturales		
Tipo de Especie vegetal	Pulpa de especies vegetales (gr)	Cantidad de almidón obtenido(gr)
Yuca	2250	481
Papa	5000	478
Plátano	3000	515.8

4.3 Determinación de dosis óptima de coagulantes naturales y químicos

4.3.1 Determinación de dosis óptima para coagulantes naturales

Dentro del proceso de coagulación-floculación, los principales parámetros a ser removidos son el color y la turbidez, por esto se optó por determinar la dosis óptima a través del análisis de remoción de turbidez. Para esto se realizaron varias pruebas de jarras, aplicando dosis desde 2 ml hasta los 10 ml de los coagulantes naturales, determinando de esta manera tres dosis para realizar los

tratamientos, las cuales fueron 2 ml, 4 ml, y 6 ml con sus respectivas repeticiones, finalmente se midió la turbidez se obtuvieron las dosis óptimas de los almidones, en el caso del almidón de yuca fue de 2 ml; en la aplicación del almidón de papa, igualmente la dosis fue de 2 ml; y, en la plátano se definió que la mejor dosis fue de 6 ml.

Tabla 10.

Porcentaje de remoción de turbidez con almidón de plátano.

Porcentaje de remoción de turbidez con almidón de plátano al 10% (gelificación)						
Dosis de Coagulante natural	Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
	Turbidez	% de remoción	Turbidez	% de remoción	Turbidez	% de remoción
1ml	90	15.33	90	15.33	90	15.33
2ml	55.4	47.88	64.8	39.04	56.2	38.58
4ml	57.9	36.72	52.2	42.95	63.3	30.82
6ml	50.6	44.70	56.7	38.03	58.4	36.17
10ml	103	-12.57	103	-12.57	103	-12.57

La Figura 26 representa las tres repeticiones de cada una de las dosis, que se realizaron para la obtención de la dosis óptima del almidón de plátano, en el gráfico se destacó la dosis de 2 ml con un porcentaje de remoción del 48%.

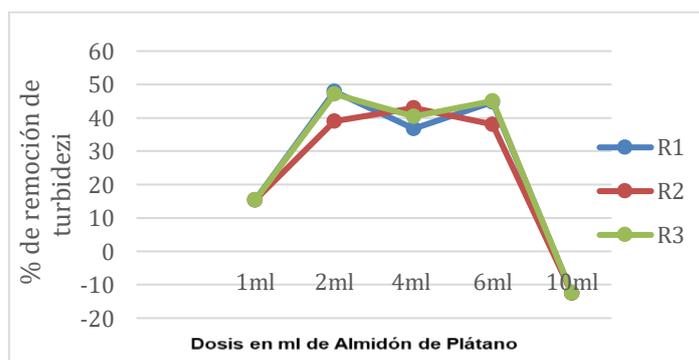


Figura 26. Porcentaje de remoción de turbiedad con almidón de plátano.

Tabla 11.

Porcentaje de remoción de turbidez con almidón de Papa.

Porcentaje de remoción de turbidez con almidón de papa al 10% (gelificación)						
Dosis de Coagulante natural	Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
	Turbidez	% de remoción	Turbidez	% de remoción	Turbidez	% de remoción
1ml	84.6	20.41	84.6	20.47	84.6	20.41
2ml	51.4	51.65	52.4	50.71	52.1	50.99
4ml	54.3	48.92	53.9	49.29	54.7	48.54
6ml	53.1	50.05	52.9	50.24	53.2	49,95
10ml	100	5.93	100	5.93	100	5.93

La Figura 27 indica el porcentaje de remoción de turbidez, aplicando el almidón de papa en las 3 diferentes repeticiones, determinando así que el uso de 2 ml de almidón de papa logró una remoción de 51.65%; mientras que con una dosis de 4 ml la remoción fue de 49.29% y con 6 ml la remoción fue de 50.24%.

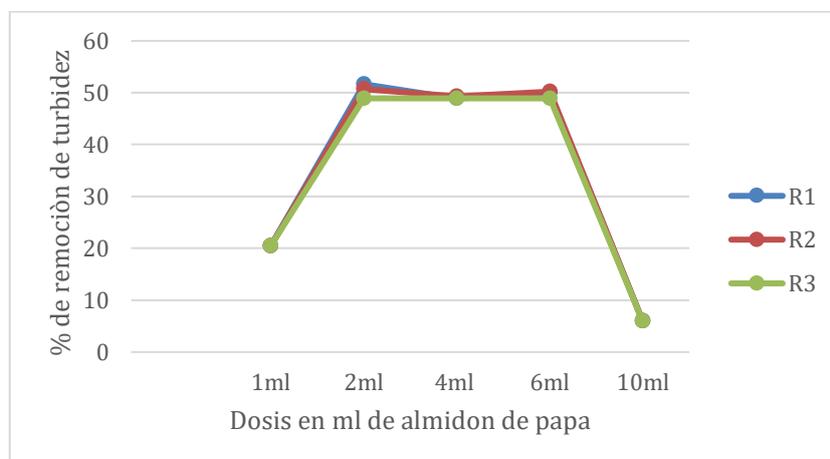


Figura 27. Porcentaje de remoción de turbiedad con almidón de Papa.

Tabla 12.

Porcentaje de remoción de turbidez con almidón de Yuca.

Porcentaje de remoción de turbidez con almidón de yuca al 10% (gelificación)						
Dosis de Coagulante natural	Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
	Turbidez	% de remoción	Turbidez	% de remoción	Turbidez	% de remoción
1ml	96	9.7	96	9.7	96	9.7
2ml	80.8	24	93.3	12.23	87	18.16
4ml	98	7.81	99	6.87	100	5.93
6ml	71.6	32.64	75.5	28.97	72.3	31.98
10 ml	109	-2.54	109	-2.54	109	-2.54

En la Figura 28 se evidencia los resultados alcanzados con el empleo del almidón de yuca; con la aplicación del 2 ml se removi6 hasta un 24% de turbiedad, con 4 ml se obtuvo una remoci6n del 6.87%; y, la mejor remoci6n fue con la aplicaci6n de 6 ml de almid6n de yuca, con una remoci6n de 32.64%.

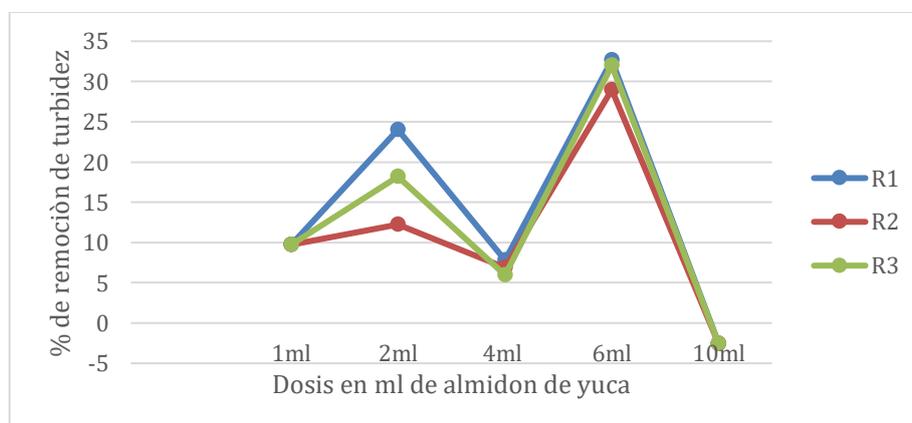


Figura 28. Porcentaje de remoción de turbiedad con almidón de Yuca.

4.3.2 Determinación de dosis óptima del Sulfato de aluminio

La obtención de la dosis para el coagulante químico se realizó a través del empleo de la prueba de jarras, en la cual se agregó diferentes dosis a la muestra a tratar las cuales fueron de 2 ml, 3 ml, 5 ml y 6 ml de $Al_2(SO_4)_3$; para cada caso se desarrollaron 3 repeticiones, de las cuales se destacó la dosis de 5 ml.

Tabla 13.

Porcentaje de remoción de turbidez con $Al_2(SO_4)_3$.

Datos de turbidez con dilución al 10% de $Al_2(SO_4)_3$						
Dosis (ml)	R1	% remoción	R2	% remoción	R3	% remoción
2 ml	57.7	45.72	55	48.26	53.5	49.67
3ml	34	68.02	35	67.07	40	62.37
5ml	14.4	86.45	13.5	87.30	14.2	86.64
6ml	15.2	85.70	15	85.89	14.8	86.08

La Figura 29 demuestra el porcentaje de remoción que tuvo cada una de las dosificaciones, indica que con una dosis de 2 ml se logró remover un 53.5%; mientras que con 3 ml se removi6 el 68.02%, al aplicar 5 ml de dosis se logró remover un 87.3% y al aplicar 6 ml de sulfato de aluminio se removi6 un 86.08%. Determinando con estos resultados que la cantidad adecuada para el sulfato de aluminio es de 5 ml al 10% de dilución.

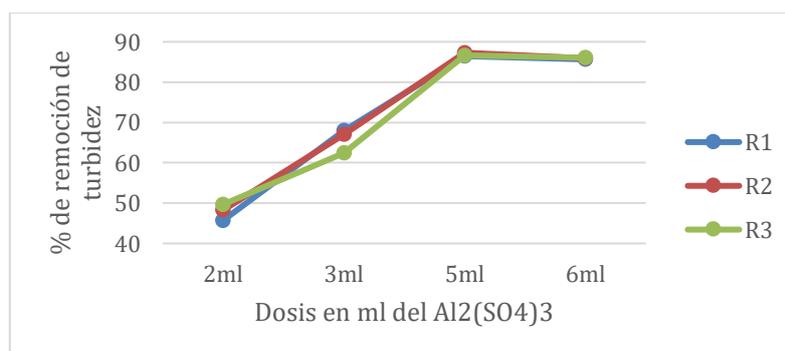


Figura 29. Porcentaje de remoción de turbiedad con $Al_2(SO_4)_3$.

4.4 Primer diseño experimental

4.4.1 Análisis del primer diseño experimental

En esta investigación se utilizó un Diseño aleatorio simple al azar (DCA), debido que en esta experimentación el único factor que se modificó fue la dosis, todos los demás factores como pH, temperatura, revoluciones para la prueba de jarras, fueron constantes. Este diseño realizó la comparación del porcentaje de eliminación de compuesto orgánico con DQO y DBO₅, debido a la proporción de sólidos suspendidos presentes en una industria láctea, son significativos en grasas, nutrientes y proteínas, por lo que fue necesario realizar análisis de remoción de materia orgánica, para esto se realizaron tres tratamientos sobre la dosis de almidón de las especies vegetales las cuales fueron 2 ml, 4 ml y 6 ml, en total se realizaron 27 unidades experimentales, cada tratamiento consto de tres repeticiones, los tratamientos realizados se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 14.

Datos obtenidos del diseño experimental para determinar el porcentaje de remoción de compuesto orgánico con DQO.

PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DQO					
ESPECIE VEGETAL	Dosis (ml)	R1	R2	R3	Promedio
Yuca	2 ml	56.2	67.7	44.8	56.2
	4 ml	49.6	53.9	66.7	56.7
	6 ml	57.3	67.9	61.9	62.3
Papa	2 ml	74.0	71.5	66.5	70.7
	4 ml	67.4	63.7	72.3	67.8
	6 ml	70.5	64.9	70.9	68.8
Plátano	2 ml	63.1	73.1	80.3	72.2
	4 ml	62.7	58.9	58.4	60.0
	6 ml	50.8	66.1	82.9	66.6

En la Figura 30, se puede apreciar los datos que se obtuvieron en el porcentaje de remoción de materia orgánica al realizar el análisis de DQO con las dosis aplicadas y almidón utilizado en cada tratamiento; se destacan en este gráfico los porcentajes de 82.9% con 6 ml, 74% con 2 ml y 67.9% con 2 ml en las especies vegetales de plátano, papa y yuca, respectivamente.

En base a estos datos, se puede concluir que el plátano tiene mayor capacidad de remoción de compuestos orgánicos en este parámetro de estudio.

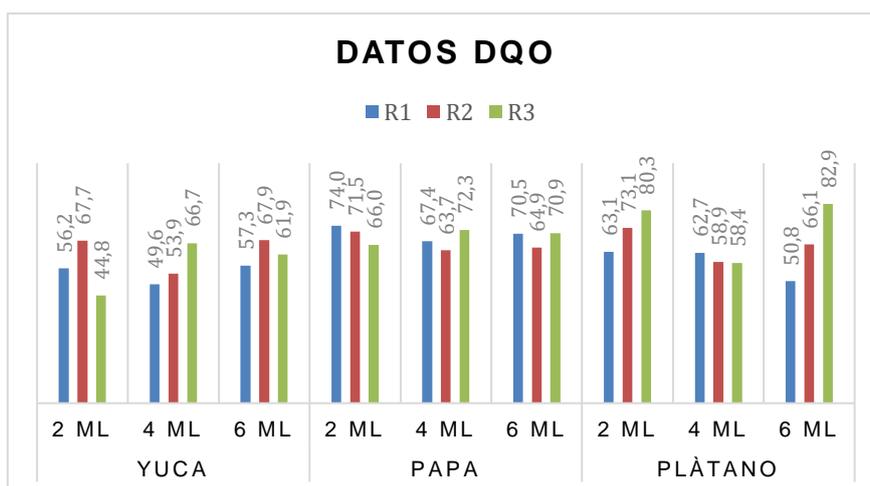


Figura 30. Datos obtenidos del análisis de DQO.

Tabla 15.

Datos obtenidos del diseño experimental para determinar el porcentaje de remoción de compuesto orgánico con DBO_5 .

PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA				
DBO ₅				
ESPECIE VEGETAL	Dosis (ml)	R1	R2	R3
Yuca	2 ml	97.2	96.8	96.8
	4 ml	96.0	96.4	96.0
	6 ml	94.8	95.2	95.2

Papa	2 ml	95.6	97.6	98.0
	4 ml	97.6	97.6	97.6
	6 ml	97.6	97.2	98.0
Plátano	2 ml	97.2	97.6	91.2
	4 ml	96.0	95.6	96.0
	6 ml	94.8	91.6	96.0

La Figura 31, presenta los datos que se obtuvieron en el análisis de DBO₅; el porcentaje de remoción de materia orgánica según el tipo de especie vegetal utilizado y la dosis que se aplicó en cada tratamiento; los datos destacados en este estudio fueron en el almidón de yuca un 97.2% con 2 ml de dosis, en el almidón de papa un 98% en las dosis de 2 ml y 6 ml y en almidón de plátano un 97.6% con una dosis de 2 ml, según este estudio el que tiene mayor porcentaje de remoción de componentes orgánicos es el almidón de papa.

Fue necesaria la aplicación de un análisis estadístico que definió los datos más significativos según las medias en cada tratamiento.

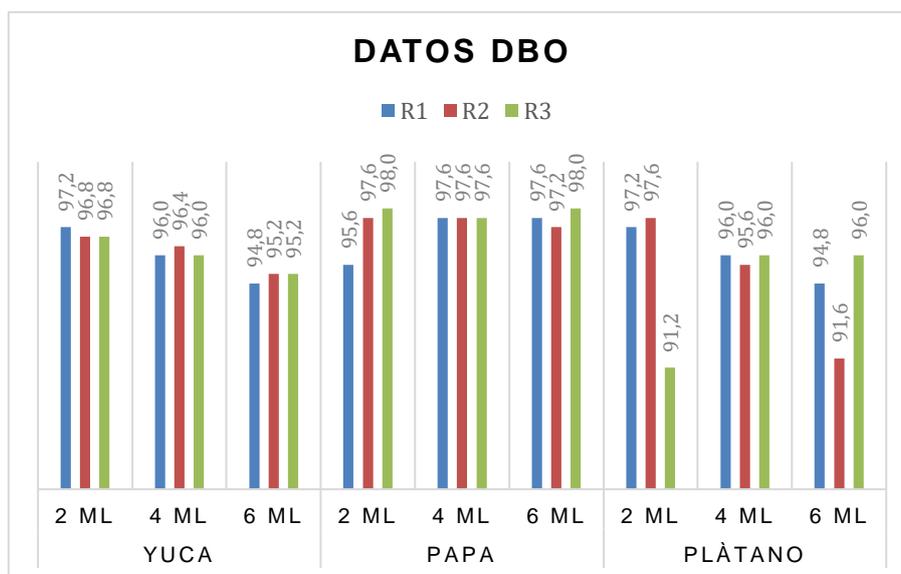


Figura 31. Datos obtenidos del análisis de DBO₅.

4.4.1.1 Análisis estadístico de DQO

Se realizó un análisis estadístico (ANOVA), el cual se basó en el estudio de las varianzas; tiene como función rechazar o probar una hipótesis, el estudio estadístico se realizó con el programa IBM SPS *Statics*, en donde Ho significa Hipótesis nula y Hi hipótesis alternativa. Las variables fueron la dosis como variable controlada y el porcentaje de remoción como dependiente (Bakieva, Such y Jornet, 2010).

Ho: No existe influencia sobre la DQO en función a la dosis aplicada.

Hi: Existe influencia sobre la DQO en función a la dosis aplicada.

Criterio utilizado para prueba de hipótesis.

Si $P \text{ value} > \alpha=0.05$ No son estadísticamente diferentes es decir se acepta la Ho.

Si $P \text{ value} < \alpha=0.05$ son estadísticamente diferentes, se acepta la Hi.

La Tabla 16 muestra que existen diferencias en los tratamientos aplicados con relación a las tres dosis utilizadas de las 3 especies vegetales. En base al nivel de significancia (sig) de 0.05 que el programa SPSS tiene por defecto; determino la existencia de una influencia de las dosis sobre el parámetro de DQO.

Tabla 16.

ANOVA de remoción de compuesto orgánico por dosis de almidón.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	28322.750	3	9440.917	154.910	.000
Dentro de grupos	1950.222	32	60.944		
Total	30272.972	35			

La Figura 32 representa el porcentaje de eliminación del compuesto orgánico en la medida de DQO con la cantidad de la yuca, papa y, plátano. El diagrama representa la existencia de diferencias entre la aplicación de dosis ya que las cajas no se solapan entre sí, demostrando de esta forma que existe una variación estadística entre la aplicación de dosis. Destacándose la dosis de 2 ml debido a que su porcentaje de remoción es de 66.33% en comparación a las dosis de 4 ml y 6 ml, ya que las medias son de 61.56% y 66%, respectivamente (Tabla17).

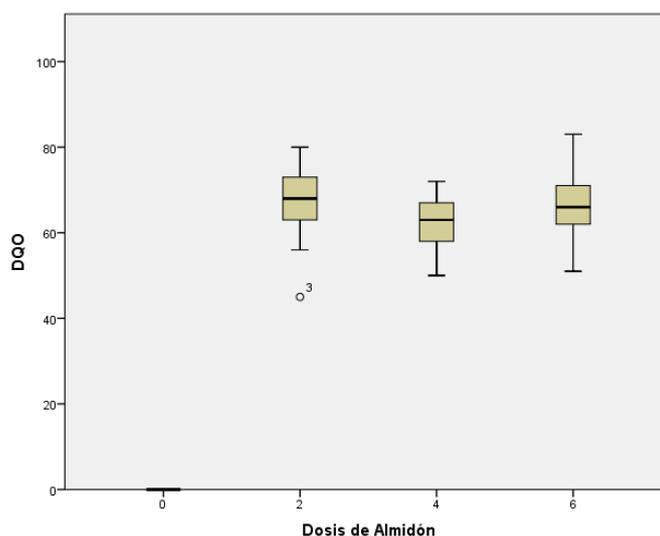


Figura 32. Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico con la dosis de almidón.

Tabla 17.

Medias según dosis aplicada en el análisis de DQO.

Comparación de medias	
Dosis	Media
2	66.33
4	61.55
6	66

De acuerdo con estudios anteriores el uso de almidones de especies vegetales ha dado buenos resultados. Martilla (2013), realizó varios estudios con almidón de plátano nativo y modificados; sin embargo, en la valoración de DQO el que

se destacó fue el nativo, ya que el desarrollo de las bacterias disminuyó el material orgánico existente en el agua. Igualmente se utilizó almidón de maíz, plátano y quitosano en cual logró un porcentaje de eliminación de DQO de 86.6%, 75.6% y 77.5%, respectivamente, para el procedimiento de aguas domésticas residuales (Medina, 2018).

Por otro lado, la aplicación de semillas de tamarindo con dosis de 627 ppm a un pH de 6.8 alcanzó una remoción de 43% de DQO, el cual es menor en comparación a las otras investigaciones (López y Coto, 2011).

La Figura 33 muestra que la dosis que tuvo una mejor eliminación de compuesto orgánico en la valoración de DQO, fue el de 6 ml con una remoción del 62.33% utilizando almidón de yuca. La figura demuestra que no se solapan las imágenes indicando que existe variación al aplicar diferentes dosis y el más destacado es el de 6 ml debido a que sus datos son más certeros.

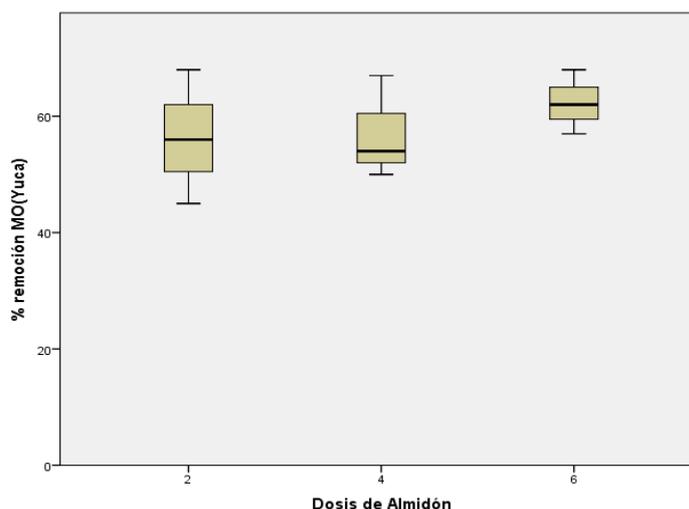


Figura 33. Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico con almidón de yuca.

La Figura 34 muestra la dosis con mayor porcentaje de eliminación de compuesto orgánico, con la aplicación del bio coagulante de papa, la dosis de 2 ml tuvo una remoción de turbiedad del 70.67%, la figura muestra de igual forma que existe diferencias entre la aplicación de las dosis y en el 2 ml el dato se

aproxima a los valores de 70%; sin embargo, existen datos menores lo cual hace que el bigote inferior se acerque al 60% de remoción de turbiedad.

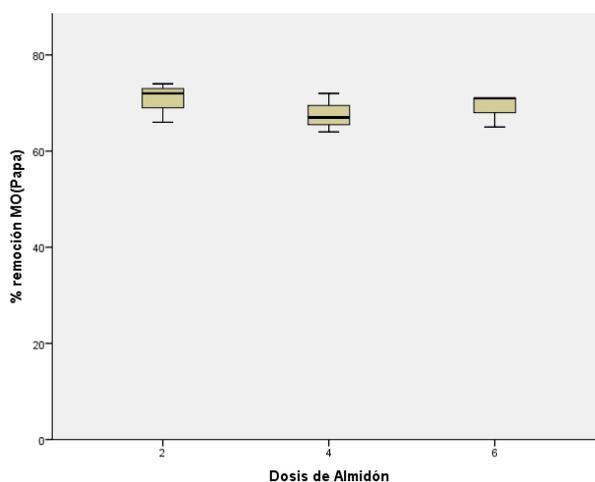


Figura 34. Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico con almidón de papa.

La Figura 35 representa la dosis más efectiva para la eliminación de compuestos orgánicos con el coagulante de origen natural de plátano; para este caso la dosis más destacada fue la de 2 ml con una remoción del 72.2%. Al igual que en gráfico anterior los datos obtenidos de la remoción de compuesto orgánico con la aplicación de almidón de papa tienden a ir al 70%; no obstante, se obtuvieron datos de 60%, lo que causa que el bigote inferior sea más alargado que el superior.

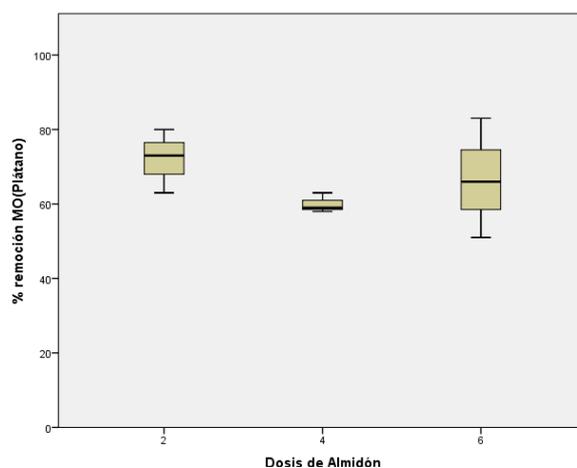


Figura 35. Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico con almidón de plátano.

La Figura 36 muestra el porcentaje de eliminación de compuesto orgánico en la medida de DQO, según el tipo de almidón manipulado (plátano, yuca y papa); el diagrama representa la existencia de diferencias entre las especies vegetales, debido a que las cajas no se solapan entre sí, demostrando de esta forma que existe una variación estadística entre ellas. Se destacan los almidones de papa y plátano con una media de 69.11% y 66.22%, respectivamente. Siendo el mejor coagulante el almidón de papa, para la eliminación de componente orgánico en la medida de DQO; sus datos presentan menor dispersión y se concentran más entre el rango de 64% y 74% de remoción de DQO.

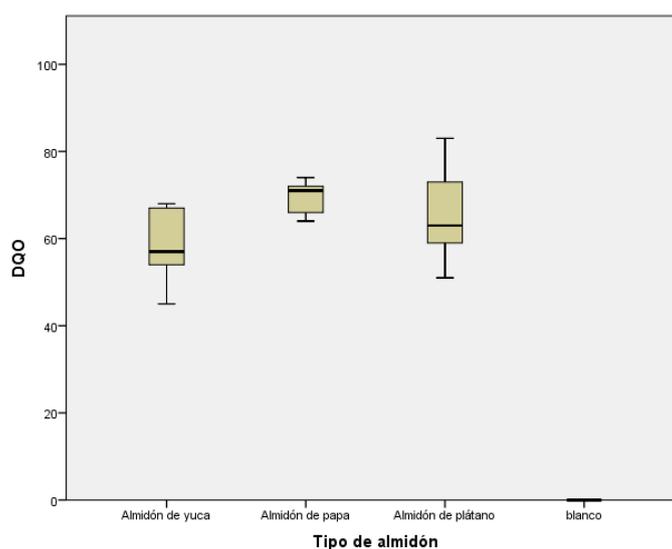


Figura 36. Remoción del compuesto orgánico según el tipo de almidón utilizado.

Según Herrera (2015), la aplicación del almidón nativo de papa tiene similares resultados que, al aplicar el sulfato de aluminio, en aguas residuales domesticas con una remoción de turbiedad de 20.4 UNT, obteniendo que el uso de almidón de papa en el procedimiento de coagulación-floculación cree una aglutinación mejor en las partículas que se encuentran suspendidas, el único inconveniente es el color ya que es muy blanquecina, por lo tanto, sobrepasa el rango permisible.

4.4.1.2 Análisis estadístico de DBO₅

Al igual que, el estudio estadístico de DQO se utilizó una ANOVA en el cual se determinaron los porcentajes de remoción de materia orgánica con la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) con relación a las dosis que se aplicaron en cada tratamiento (Tabla18).

Tabla 18.

Primer diseño para determinar la remoción de compuesto orgánico con DBO₅.

PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DBO₅					
Especie vegetal	Dosis (ml)	R1	R2	R3	Promedio
Yuca	2 ml	97.20	96.80	96.80	96.93
	4 ml	96.00	96.40	96.00	96.13
	6 ml	94.80	95.20	95.20	95.07
Papa	2 ml	95.60	97.60	98.00	97.07
	4 ml	97.60	97.60	97.60	97.60
	6 ml	97.60	97.20	98.00	97.60
Plátano	2 ml	97.20	97.60	91.20	95.33
	4 ml	96.00	95.60	96.00	95.87
	6 ml	94.80	91.60	96.00	94.13

Ho: No existe efecto de la dosis aplicada sobre la DBO₅.

Hi: Existe efecto de la dosis aplicada sobre la DBO₅.

Según los resultados obtenidos del análisis estadístico en la Tabla 19 se rechazó la Ho, es que existieron diferencias entre los tratamientos realizados en la investigación. En base al nivel de significancia (sig) de 0.05, se determina que si existe una influencia de las dosis que se aplicaron sobre el parámetro de DBO₅

Tabla 19.

ANOVA de remoción de compuesto orgánico por dosis de almidón.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	24987.916	3	8329.305	3083.952	.000
Dentro de grupos	70.222	26	2.701		
Total	25058.139	29			

Tabla 20.

Medias según dosis aplicada en el análisis de DBO₅.

Comparación de medias	
Dosis	media
2	96.55
4	96.66
6	95.66

En la Figura 37 se representa la eliminación de compuestos orgánicos del parámetro de DBO₅, en este se puede apreciar que las medias se solapan, sin embargo, el dato que sobresale es el de 4 ml con 96.66% de remoción. Se consideró el rango de análisis del 95% al 97% de remoción, el programa designó los valores con menor rango a este como datos extremos y los identificó con un asterisco como se puede apreciar en la Figura 37, el dato 21 quedó fuera del rango analizado siendo así este un valor atípico.

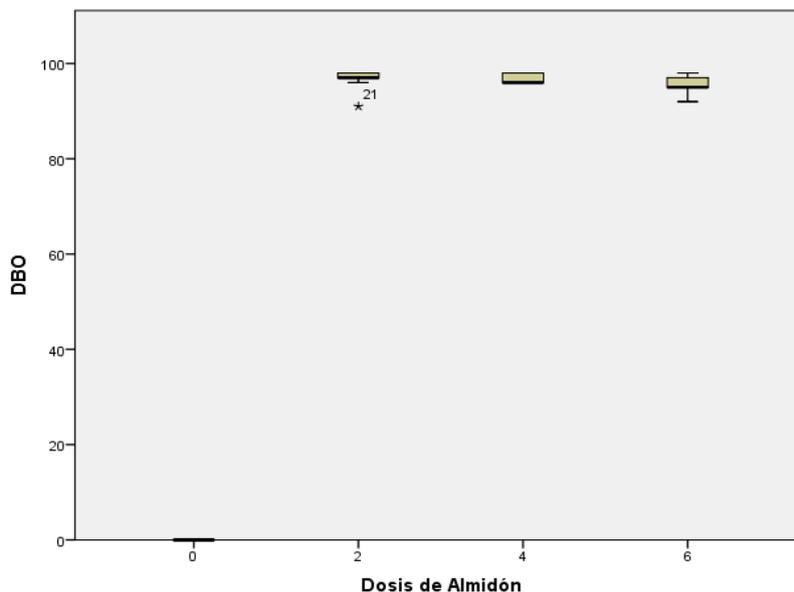


Figura 37. Análisis de remoción de compuesto orgánico con relación a la dosis de almidón.

Estos resultados son comparables con otros estudios en los que el porcentaje de eliminación estuvo en el rango de 90% con la aplicación de la semilla de la M. Oleífera en aguas residuales de una central de sacrificio (Arias, Hernández, Castro y Sánchez, 2017). La aplicación de *Cassia fistula* logró una remoción del 70% de DBO₅, pero no existieron cambios significativos en el análisis de DQO; lo que puede significar la presencia de compuestos inorgánicos no biodegradables por métodos convencionales y resistentes a la oxidación bioquímica, cabe recalcar que este estudio se realizó en el tratamiento primario de agua residual (Tarón, Guzmán y Barros, 2017).

La Figura 38 representa el porcentaje de remoción de materia orgánica obtenida del análisis de DBO₅, utilizando almidón de yuca; el gráfico de cajas nos permitió apreciar que se solaparon todas las dosis debido a que no existe una variación alta entre los datos a pesar de esto se observó mayor porcentaje de remoción de compuestos orgánicos al aplicar una dosis de 2 ml obteniendo un 96.93%.

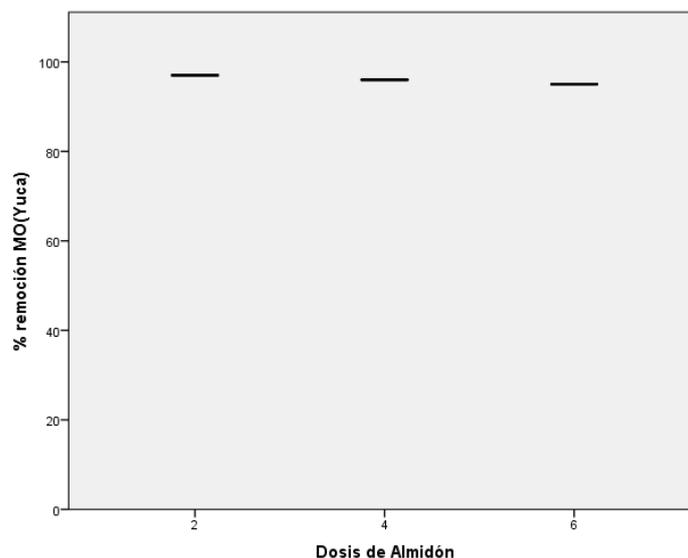


Figura 38. Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico del análisis de DBO_5 con almidón de yuca.

La Figura 39 muestra como la materia orgánica fue removida aplicando diferentes dosis del almidón de papa, el gráfico de cajas nos dice que no existieron diferencias significativas dentro del rango de 96% a 98%; las dosis que predominaron según su media de 97.6% de remoción fueron las de 4 y 6 ml.

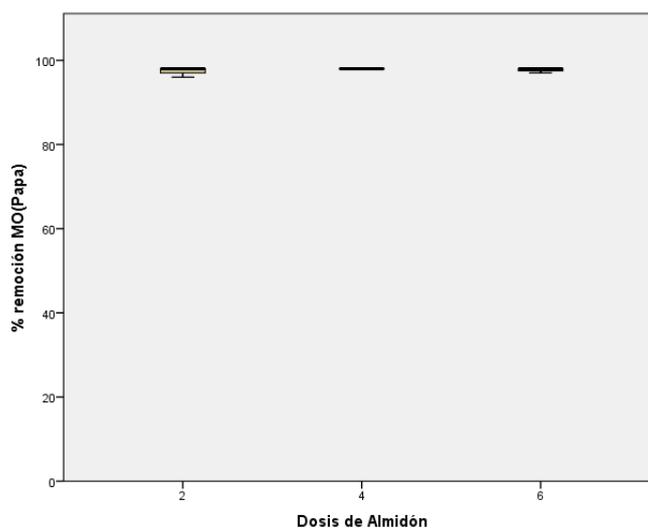


Figura 39. Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico del análisis de DBO_5 con almidón de papa.

Por otro lado, se tiene el análisis de la Figura 40, la cual al igual que en las anteriores figuras se solaparon ya que no existió la presencia de datos variables. Su rango de análisis fue desde 94% al 96% de remoción; según la media que se obtuvo en el análisis de datos la mayor fue en la dosis de 4 ml con un 95.87% de remoción.

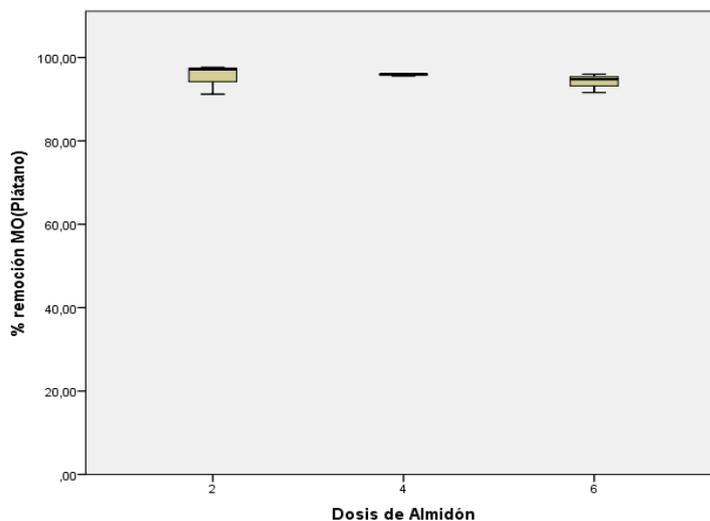


Figura 40. Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico del análisis de DBO₅ con almidón de plátano.

La Figura 41 representa la remoción de compuestos orgánicos, según el estudio de DBO₅ en relación con el tipo de almidón utilizado en cada tratamiento, el gráfico de cajas muestra que existieron diferencias significativas en la aplicación de los tipos de almidón debido a que no se solaparon entre ellas. Por otro lado, se destacó en este estudio el uso del almidón de papa a pesar de tener dos valores extremos (10 y 17) mostrado en la figura, lo cual es causado, porque estos valores salen del rango de remoción determinado por la media del programa SPSS.

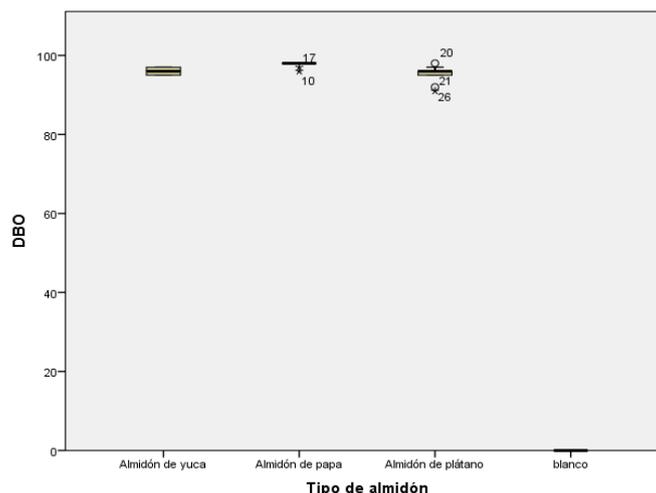


Figura 41. Representación del porcentaje de remoción de compuesto orgánico del análisis de DBO₅ con almidón de plátano.

4.5 Segundo diseño experimental

4.5.1 Análisis estadístico del segundo diseño experimental

En el segundo diseño experimental, la remoción de turbiedad permitió destacar el comportamiento del coagulante natural en comparación con el coagulante químico (sulfato de aluminio). Las especies vegetales seleccionadas fueron de yuca, papa y plátano para el tratamiento de agua residual de la industria láctea, destacándose los bio coagulantes de plátano y papa, contribuyendo de esta manera a la reducción del uso de coagulantes químicos. A pesar de que los mejores resultados obtenidos fueron con bajas dosis de almidón, es una buena alternativa debido a sus beneficios tanto económicos como ambientales. Para esto se realizaron cinco tratamientos con diferentes porcentajes de estudio. El primero y último tratamiento son considerados blancos, ya que representan las dosis óptimas de ambos coagulantes, es decir el 100%. Los demás tratamientos fueron divididos como se detalla en la Tabla 21.

Tabla 21.

Segundo diseño experimental para determinar la remoción de turbiedad.

Tratamientos	Porcentaje de $Al_2(SO_4)_3$	Almidón	% Remoción turbidez yuca (6ml)	% Remoción turbidez papa (2ml)	% Remoción turbidez plátano (2ml)
1	100%	0%	87.0	89.4	97.7
2	75%	25%	80.0	85.4	91.3
3	50%	50%	72.9	75.1	74.3
4	25%	75%	68.2	64.0	60.3
5	0%	100%	42.0	31.5	35

La grafica 42 muestra el porcentaje de remoción de turbidez que tuvo cada tratamiento; considerando que el primero y el último tratamiento son blanco del coagulante químico y el natural, respectivamente.

El tratamiento que dio mejores resultados fue el de 75% de $Al_2(SO_4)_3$ y 25% del bio coagulante; con la aplicación del almidón de yuca que tuvo una remoción de turbidez del 80%, con papa un 85.4% y, con plátano un 91.3%.

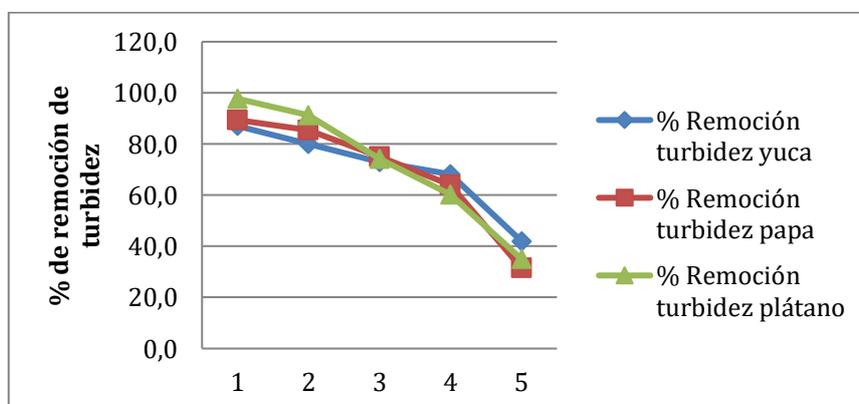


Figura 42. Remoción de turbidez en el análisis de DBO_5 según el tipo de almidón utilizado.

Estos datos son comparables con varios estudios, entre estos el de Laines, Goñi, Adams y Camacho(2008); se realizó la eliminación de turbiedad, utilizando almidón de plátano con la adición del sulfato de aluminio, con la diferencia que en esta investigación se aplicó a lixiviados de rellenos sanitarios; la dosis que se aplicó, fue de 75 mg/L para coagulante químico y natural es decir en proporción 1:1, logrando una remoción del 90% de turbiedad. La diferencia entre la investigación de Laines es la cantidad que se utilizó de almidón de plátano en esta investigación es mucho menor (500 µl), al igual que la cantidad de agua muestra que utilizaron para los tratamientos en la prueba de jarras.

Otros estudios donde se realizó la combinación del sulfato de aluminio con almidón de yuca, para tratar aguas superficiales, en esta investigación aplicó una dosis en proporción de 2:28 mg/L, logrando una remoción del 97.9% de turbiedad.(Solís, Laines y Hernández, 2012).

Un parámetro que logró la alteración de resultados para eliminación de turbiedad fue el pH, al ser ajustado, este ayuda a la eliminación de turbiedad como fue el caso de Shahriari, Nabi y Shahriari (2012) donde se utilizó 10 ml/L de FeCl_3 y 0.2 ml/L de almidón, obteniendo una eliminación de turbiedad del 92.4%. En este estudio se tuvo un mayor rango de turbiedad en comparación al inicial de 50 y 100 NTU; se concluyó que se tiene mayor remoción con un pH neutro. Las características del agua superficial de un río, con la muestra agua de una industria láctea varía mucho en materia orgánica, pH, turbidez, color, entre otros parámetros fisicoquímicos.

Por otro lado el análisis de Navarro, Ramos, Campos y Maldonado (2006) verificó el efecto del pH sobre la capacidad de absorción de cationes divalentes de los biopolímeros naturales (Coronata de maíz blanco, *Lentinus edodes* y *Saccharomyces cerevisiae*); en pH 4 y 5 se removió la presencia de metales (cadmio, sulfato de zinc).

Fueron efectuadas investigaciones con el empleo de almidón de papa y sulfato de aluminio en porcentajes en el cual se destacó el segundo tratamiento con la aplicación del 25% de almidón de cáscara de papa con una eliminación del 98%, para el procesamiento de una PTAR establecida de un río (Alvarado, 2017). Otros estudios como Narasiah, Vogel y Kramadhathi (2002), determinaron que el uso del coagulante natural (*Moringa oleifera*) puede llegar a reducir hasta el 70% del lodo producido por coagulantes químicos como el alumbre y son fácilmente biodegradables.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las especies vegetales utilizadas en esta investigación fueron elegidas después de realizar una revisión teórica profunda. Se escogieron tres especies (Papa, Yuca y Plátano), de las cuales se extrajo el almidón para realizar los tratamientos. Cada especie cuenta con un diferente tamaño de partícula que ayuda a la formación de flocs; además de, diferente proporción de amilopectina y amilosa, que dependen del contenido de almidón en cada especie.

La aplicación de los tres distintos almidones como únicos coagulantes en el primer diseño experimental, no fueron tan efectivas en la remoción de turbidez; con la utilización del almidón de yuca se logró una remoción del 32.64% con una dosis de 6 ml, con la aplicación del almidón de papa el porcentaje de remoción fue de 51.65% con una dosis de 2 ml y, con el almidón de plátano la remoción fue de 47.88% con una dosis de 2 ml.

Para esta investigación fue necesario realizar el análisis de DBO y DQO de la muestra de agua recolectada, debido al contenido de materia orgánica de tipo disuelta y particulada, provenientes de los procesos de elaboración de lácteos. Se obtuvo una variación significativa entre los tratamientos, en el análisis de DQO, con la aplicación del almidón de papa tuvo una reducción del 70.67% de este parámetro con una dosis de 2 ml; en tanto que, para los almidones de yuca y plátano la remoción fue de 62.33% y 72.2%, con 6 y 2 ml, respectivamente.

Para el análisis de remoción de materia orgánica en base al parámetro de DBO_5 , se observó que el almidón de papa alcanzó un promedio de remoción de 97.6% en las dosis de 4 ml y 6 ml; en comparación con la yuca que tuvo 96.93% de remoción de DBO_5 con dosis de 2 ml y, el plátano 95.87% con una dosis de 4 ml. Destacándose el uso del almidón de papa el cual logró remover el 97.6%, este resultado implica una mayor remoción de la fracción particulada, mientras que la disuelta se presenta en bajas proporciones.

Según los datos obtenidos, mediante la aplicación del sulfato de aluminio se alcanzó una remoción de turbiedad alta, sin embargo, existió una mejora, al sustituir un 25% del coagulante químico y añadiendo el 75% del bio coagulantes para cada caso. Con la aplicación del almidón de yuca se registró una eliminación de turbidez del 80%, con papa un 85.4% y, con plátano un 91.3%. La ventaja de la aplicación de los coagulantes naturales fue la mejora del lodo obtenido, el cual presentó un lodo más compactado, generando una reducción del volumen de lodo residual, además de que el uso de bio coagulantes no contienen sustancias inorgánicas que alteren los procesos naturales de las fuentes hídricas en el caso de que los lodos sean vertidos, facilitando así, su utilización en la elaboración de actividades agrícolas, como el compostaje.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda experimentar con las diferentes formas de aplicación de los almidones ya sea en polvo, disuelto y gelificado para comparación de datos.

Potenciar la utilización de bio coagulantes para el tratamiento de los diferentes efluentes provenientes de industria, con el propósito de definir el tipo de coagulante natural específico para los diferentes tipos de agua residual.

Realizar un análisis comparativo sobre la producción de lodos residuales provenientes de tratamientos con coagulantes químicos y naturales, a fin de valorar su posible utilización, dado que existen pocas referencias bibliográficas sobre este tema.

REFERENCIAS

- Agrimundo. (2014). Ecuador: impulsan consumo de productos lácteos
Recuperado el 25 de octubre de 2018 de
<http://www.agrimundo.gob.cl/?p=29346>
- Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., y Ortuño, J. (2002). Tratamiento físicoquímico de aguas residuales. España.
- Alvarado , L. N. (2017). Uso de las Cáscaras de Papa como Coagulante Natural en el Tratamiento de Aguas Potables de la Planta "La Diana".
Publicaciones e Investigación, 6, 115.
<https://doi.org/10.22490/25394088.1115>
- Álvarez, T. (2016). Uso de la semilla de tamarindo (*tamarindus indica*) como coagulante orgánico en procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua para potabilización. Recuperado el 27 de octubre de 2018 de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0530_MT.pdf
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. Sedapal, 44.
Recuperado el 10 mayo de 2019 de
http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Aparicio, M. (2003). Caracterización físicoquímica de los almidones nativos y modificados de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), camote (*Ipomeae batata* lam) y plátano valery (*Musa cavendish*). Universidad Veracruzana: Veracruz, México.
- Arango, A., y Garcés, L. F. (2007). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Recuperado el 25 de octubre de 2018 de
<https://docplayer.es/15547278-Tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea.html>

- Arboleda, J. (1992). Teoría de la Coagulación del Agua. Teoría Y Práctica de La Purificación Del Agua, 793. Recuperado el 15 de mayo de 2019 de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/teoria.pdf>
- Arias, A., Hernández, J., Castro, A., y Sánchez, N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural. Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial Edición Especial No, 1(1), 29-39.
- Aristizábal, J., Sánchez, T., y Mejía, D. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Recuperado el 18 de mayo de http://www.fao.org/genetic-resources/es/%0Ahttp://faostat3.fao.org/browse/Q/*/S%5Cnhttp://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S%0Ahttp://www.fao.org/about/who-we-are/es/
- Arreola, M., y Canepa, R. (2013). Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. Ingeniería, 12(2), 93-101.
- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (s.f). Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. Recuperado el 27 de abril de 2019 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf/>
- Asrafuzzaman, M., Fakhruddin, A. N. M., y Hossain, M. A. (2011). Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. ISRN Microbiology, 2011, 1-6. <https://doi.org/10.5402/2011/632189>
- Aurora, J. N. (2017). Propuesta de mejora en la gestión de reaprovechamiento del condensado (agua separada de la leche) para reducir costos en planta de procesamiento de leche evaporada en gloria S.A. Universidad Privada del Norte. <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13494/Aurora%20Rosas%20Jhon%20Nelson.pdf?sequence=1>

- Badui, S. (2006). Química de los alimentos (4a ed.; Pearson, Ed.).
- Bakieva, M., Such, J., y Jornet, J. (2010). SPSS: ANOVA de un factor. Universidad de Valencia: Grupo de Innovación Educativa, 1-7.
- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., y Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. Enfoque UTE, 7(4), pp. 111-126. Recuperado el 24 de mayo de 2019 de <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/118%0A>
- Barajas, C., León, A. (2015). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. Recuperado el 10 de mayo de 2019 de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1>
- Barrenechea, A. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. 153-224. Recuperado el 22 de mayo de 2019 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/MANUALI/TOMOI/seis.pdf%5Cnhttp://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/5/CDAM0000012-5.pdf>
- Blasco, G., y Gómez, F. J. (2014). Propiedades Funcionales del Plátano (*Musa sp*). Recuperado el 20 de mayo de 2019 de <https://www.medigraphic.com/pdfs/veracruzana/muv-2014/muv142d.pdf>
- Buenaño, B. (2017). Estudio de las características de los coagulantes y floculantes de polímeros orgánicos naturales extraídos de materiales de desecho alimenticio, para la potabilización del agua. Recuperado el 8 de abril de 2019 de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17388>
- Cabrera, G., y Ramirez, J. (2014). Almidón extraído de la yuca (*Manihot Esculenta Cratz*) como coagulante alternativo para tratamiento del

agua de la quebrada Yamuesquer municipio de Potosí. Universidad de Nariño, 79. Recuperado el 26 de abril de 2019 de <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90482.pdf>

Canónico, M. (2003). Agregación en gránulos de almidón. Recuperado el 12 de mayo de 2019 de <http://gro.cinvestav.mx/~aherrera/tesisEstudiantes/tesisMarciaCanonico.pdf>

Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, E., Parra, P., Marín, J., y Díaz, A. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90-99. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>

Castellanos, F. (2017). Revisión del uso de coagulantes naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia. Recuperado el 10 de mayo de 2019 de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/17102/1/CastellanosPinzonFredyLeonardo2017.pdf>

Centro de la Industria Láctea del Ecuador. (2019). Comunicado CIL-Situación Actual del Sector. Recuperado el 15 de abril de 2019 de <https://cilecuador.org/index.php/2019/02/26/comunicado-cil-situacion-actual-del-sector/>

Chama, J. R. (2017). Evaluación del poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) var. única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbiedad al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua 2016. Recuperado el 10 de abril de 2019 de http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/202/Jenni_Tesis_titulo_2017.pdf?sequence=1

Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., y Ramanan, R. N. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future

alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 26(11), 2178-2189. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>

Clesceri, L. S., Greenberg, A.E., y Eaton, A. D. (1999). Anionic Surfactants as MBAS. In *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2011). Diagnóstico de la Estadística del Agua en Ecuador. Recuperado el 13 de mayo del 2019 de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Ilic%202012-2.pdf>

Días, Y., Álvarez, C., Hernández, J., Fuente, E., y Blanco, A. (2009). Metodología para la selección de floculantes en el tratamiento de residuales en la industria láctea, (1), 261-269. <https://doi.org/10.1111/scd.12231/full>

Duarte, S. (2014). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto en Ejecución del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales "Ciudad Celeste III". Recuperado el 8 de abril de <http://www.guayas.gob.ec/dmdocuments/medio-ambiente/eia/2015/2015-junio/EIA-CIUDAD-CELESTE-III.pdf>

ELECTROCHEMISTRY. (s.f.). Boeco electrodes. Recuperado el 7 de abril de 2019 de https://www.boeco.com/download/LE_ELECTROCHEMISTRY.pdf

Flores, E., Garcia, F., Flores, E., Núñez, M., González, R., y Bello, L. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón de frutos de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55(octubre 2015), 86-90.

Flórez, J. M. C. (2011). Clarificación De Aguas Usando Coagulantes Polimerizados: Caso del hidroxiclورو de aluminio. *Dyna*, 78(165),

18-27. Recuperado el 18 de abril de 2019 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622372002>

Galván, T. (2007). Sólidos Totales secados a 103-105°C. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 1, 8. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Gómez, N. (2005). Remoción de compuesto orgánico por coagulación-floculación. Recuperado el 12 de abril de 2019 de <http://bdigital.unal.edu.co/1214/1/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf>

González, A., y Ramírez, J. (2016). Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico SECTOR LÁCTEO.

Guzmán, L., Taron, A., y Nuñez, A. (2015). Polvo de la semilla cassia fistula como coagulante natural de aguas crudas. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 13 (2), 123-129.

Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C., y García, R. (2013). Reducción De La Turbidez Del Agua Usando Coagulantes Naturales. U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica, 13 (1), 253-262. Recuperado el 5 de mayo de 2019 de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>

Hernández, A. M. (2007). Sólidos Suspendidos Totales. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 7. Recuperado el 6 de mayo de 2019 de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Sólidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

Hernández, M., Torruco, J. G., Chel, L., y Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Ciencia e Tecnología de Alimentos, 28(3), 718-726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>

- Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Recuperado el 5 de mayo de 2019 de http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/viewFile/1877/1027
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2016). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Recuperado el 19 de abril de 2019 de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/Informe Ejecutivo ESPAC_2016.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/Informe_Ejecutivo_ESPAC_2016.pdf)
- Jiménez, B. (2001). La contaminación en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México: Limusa S.A.
- Jiménez, E., y Martínez, S. (2016). "Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape." Recuperado el 19 de abril de 2019 de <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/865/BC- TES-4008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kirchmer, C., Arboleda, J. C. (2006). Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación. *Nucleic Acids Research*, 34(11), e77-e77.
- Laines, J., Goñi, J., Adams, R., y Camacho, W. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 33, 22-28.
- Lermann, B., Gilli, M. C., Eliggi, M. S., y Zerbato, M. (s.f.). Técnicas analíticas para sólidos. Recuperado el 9 de mayo de 2019 de http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-Solidos.pdf
- Llanos, D. M. (2013). Diseño de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de la Industria de Productos Lácteos Píllaro, 168.

- López, R., y Coto, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Tecnología En Marcha*, 24, 18-26.
- Macherey-Nagel. (s.f.). Water analysis. MACHEREY-NAGEL. Recuperado el 10 de junio de 2019 de https://mafiadoc.com/nanocolor-uv-vis_5992430c1723ddd16954344d.html
- Martilla, D. (2013). Extracción y modificación de almidón de plátano cuatro filos (*Musa ABB* del subgrupo Silver bluggoe) para posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas. UNIVERSIDAD DE CARTAGENA.
- Martín, M., Martín, M., y Pinto, G. (2013). Reactivo de lugol: Historia de su descubrimiento y aplicaciones didácticas. *Educacion Quimica*, 24(1), 31-36. Recuperado el 5 de junio de 2019 de <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v24n1/v24n1a6.pdf>
- Medina, C. (2018). Aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Recuperado el 8 de mayo de 2019 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15053/1/T-UCE-0012-066-2018.pdf>
- Molina, Rodríguez, y Ariza. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a4>
- Montenegro, G. (2017). Estudio de impacto ambiental ex post y plan de manejo ambiental industria láctea Floralp S.A., de <https://docplayer.es/62230713-Estudio-de-impacto-ambiental-ex-post-y-plan-de-manejo-ambiental-industria-lactea-floralp-s-a.html>
- Moscozo, L. (2015). Uso De Almidón De Yuca Como Sustituto Del Sulfato De Aluminio En El Proceso De Coagulación-Floculación En Sistemas De Tratamiento De Agua Para Potabilización, 65. Recuperado el 18 de junio de 2019 de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0462_MT.pdf

- Muñoz, J. (2002). Prevención de la contaminación en la industria láctea, 164. Recuperado el 23 de mayo de 2019 de http://seguridadycalidadalimentaria.usal.es/demos/demo_appcc/limp_desinf/lac_es.pdf
- Narasiah, K. S., Vogel, A., y Kramadhati, N. N. (2002). Coagulation of turbid waters using Moringa oleifera seeds from two distinct sources. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(5-6), 83-88.
- Navarro, A., Ramos, K. P., Campos, K., y Maldonado, H. J. (2006). Elucidación del efecto del ph en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: cationes divalentes y superficies activas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(2), 113-126. Recuperado el 20 de mayo de 2019 de <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/MAY06/navarro.pdf>
- NJHealth. (2016). New Jersey Department of Health. Recuperado el 11 de mayo de 2019 de <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0068sp.pdf>
- Ojeda, L. F. (2012). Determinación De La Eficiencia De Las Características Coagulantes Y Floculantes Del Tropaeolum Tuberosum, En El Tratamiento Del Agua Cruda De La Planta De Puengasí De La Epmaps. 159. Recuperado el 6 de junio de 2019 de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3866/1/UPS-QT03424.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2018). Producción lechera. Recuperado el 26 de octubre de 2018 de www.fao.org/dairy-production-products/production/es/
- Ortega, J., Laines, J., y Aparicio, M. (2010). Almidón modificado de plátano: Posible uso en el tratamiento de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. *Kuxulkab*, XVII (31), 87-97. <https://doi.org/ISSN 1665-0514>
- Ortiz, V., López, G., Torres, C., y Pampillón, L. (2018). Almidón de yuca (Manihot esculenta Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *CIBA Revista Iberoamericana de Las*

Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 7(13), 18.
<https://doi.org/10.23913/ciba.v7i13.73>

Osorio, F., Torres, J. C., y Sánchez, M. (2010). Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. Ediciones Díaz de Santos.

Ospina, O., García, G., Gordillo, J., y Tovar, K. (2016). Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia). *Ingeniería Solidaria*, 12(19), 19.
<https://doi.org/10.16925/in.v12i19.1191>

Palacios, F., Villasol, A., Chabalina, L., García, E., García, O., Pérez, M., y Morales, C. (2010). Análisis de línea base sobre el manejo de las aguas residuales domésticas en la región del gran caribe. Centro de Ingeniería Y Manejo Ambiental.

Palma, D. R. (2006). " El Estudio De La Adición De Almidón Modificado En La Elaboración De Salchicha Frankfurt ." Recuperado el 4 de mayo de 2019 de <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3346/1/P84Ref.2973.pdf>

Peña, E. (2017). Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de llave (Puno). Recuperado el 8 de junio de 2019 de <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=4e0ca5e8-88cb-18bd-4fef-86ec6f79fe16ydocumentId=4e5a548f-ad99-3348-81c7-a5ecd8694ddd>

Peñaranda, O. I., Perilla, J. E., y Algecira, N. A. (2008). A review of using organic acids to chemically modify starch. *Ingeniería e Investigación*, 28(3), 47-52.

Prieto, L. G., Sánchez, T., Serrano, R., Sainz, J. (2009). Estación depuradora de aguas residuales de una industria láctea. Recuperado el 12 de junio de 2019 de

http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:36163/componente36162.pdf

- Quintero, D., y Ramírez, J. (2013). Estudio del Mecanismo de Gelatinización del Almidón de Yuca.
- Ramalho, R. S. (1990). Tratamiento de aguas residuales. Quebec, Canadá, Canadá: Reverte.
- Ramírez, H., y Jaramillo, J. (2018). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Recuperado el 5 de mayo de 2019 de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/viewFile/1303/1359>
- Ranade, V., y Bhandari, V. (2017). Industrial Wastewater Treatment Technologies, Recycling, and Reuse. Environmental Management. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811989-1.00013-0>
- Restrepo, H. (2009). Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Recuperado el 10 de marzo de 2019 de http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf
- Revelo, A., Proaño, D., y Banchón, C. (2015). Textile wastewater bio coagulation by *Caesalpinia spinosa* extracts. Enfoque UTE, 6(1), pp. 1-12. Recuperado el 17 de junio de 2019 de <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/50>
- Rivera, M., Correa, P., Alzate, A. (s.f.). Gelatinización y gelificación de almidones. Recuperado el 20 de marzo de 2019 de https://www.academia.edu/34166805/GELATINIZACION_Y_GELIFICACION_DE_ALMIDONES
- Rivera, R. (2017). Eficiencia de coagulante natural obtenidos de yuca (*Manihot Esculenta*) y plátano (*Musa Paradisaca*) para remover turbiedad y *Escherichia Coli* del riachuelo Santa Perene Chanchamayo.

- Roberts, A. (2003). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río totare, 773.
- Rodríguez, J. (2016). Diseño de plantas de tratamiento de agua residual. (29). Recuperado el 13 de abril de 2019 de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/continental/3385/5/D_O_FIN_EE_GL_AAUC00514_2018.pdf
- Rojas, R. (2002). Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de La Salud y Organización Mundial de La Salud, 9. Recuperado el 24 de mayo de 2019 de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41228623/2002_Sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3AyExpires=1556043350&Signature=YqdtKlvrZb78z7FVz5HKymovwPk%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DSistema_de_tratamiento_de_aguas_residual.pdf
- Ruíz, A., y Giraldo, L. F. (2008). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea por electrocoagulación. *Ingeniería Química*, 40(458), 180-186. Recuperado el 18 de junio de 2019 de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35486687/Anejo_2.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3AyExpires=1555902723&Signature=9Ca0nYpJPbzRJaVq%2BeaXS%2FnSJzk%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3Dlactea_por_electrocoagulacion.pdf
- Secretaría de Comercio y fomento industrial. (2001). Análisis de agua. Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 214. Recuperado el 18 de mayo de 2019 de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>

- Shahriari, T., Nabi, G., y Shahriari, S. (2012). Evaluating the efficiency of *Plantago ovata* and starch in water turbidity removal. *International Journal of Environmental Research*, 6(1), 259-264.
- Sierra, J., Jaime, A., y Mora, A. (2002). Monitoreo de parámetros fisicoquímicos, en la cuenca del río Bogotá, 26.
- Solís, R., Laines, J., y Hernández, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales, 28(3), 229-236.
- Tafur, L., Quevedo, R. (2014). Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas con quitosano extraído del exoesqueleto de camarón. Recuperado el 20 marzo de 2019 de <http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/1250/1/RIUT-FBA-spa-2014-Alternativa%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20cromadas%20con%20Quitosano%20extra%C3%ADdo%20del%20exoesqueleto%20de%20camar%C3%B3n.pdf>
- Tarón, A., Guzmán, L., y Barros, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. Orinoquia. Recuperado el 20 octubre de 2018 de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v21n1/0121-3709-rori-21-01-00073.pdf>
- Tirado, D., Gallo, L., Acevedo, D., y Mouthon, J. A. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. Recuperado el 20 octubre de 2018 de https://www.researchgate.net/publication/311502219_Biotratamientos_de_aguas_residuales_en_la_industria_láctea
- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., Herrera, O., Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1), 17-34. Recuperado el 16 de junio del 2019 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003

- Tulas, R. 061 anexos tulas. (2015). REFORMA ANEXOS TULAS.pdf.
- Tumbaco, D., y Acebo, K. (2017). Carrera ingeniería química. Recuperado el 15 de abril de 2019 de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/27909/1/MORINGA.pdf>
- Turcios, E. (2017). Uso de semilla de Moringa Oleifera como coagulante orgánico en el tratamiento de agua para consumo humano. Recuperado el 14 de mayo de 2019 de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0565_MT.pdf
- Vallejo, F. (2013). Diseño de una planta piloto para la obtención de aluminato de sodio mediante el método de precipitación controlada. Escuela Politécnica Nacional, 29. Recuperado el 10 de abril de 2019 de <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90482.pdf>
- Vargas, L. (1980). Floculación, 41. Recuperado el 18 de mayo de 2019 de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>
- Vergara, B. (2012). Efecto de la modificación química dual del almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) sobre las propiedades térmicas, morfológicas y estructurales. Recuperado el 25 de mayo de 2019 de https://www.unpa.edu.mx/tesis_Tux/
- Villegas, J., Castaño, J., y Paredes, D. (2005). Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en plantas de potabilización de agua. Recuperado el 18 de junio de 2018, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/155.pdf>
- Wang, S. C., Copeland, L., Niu, Q., y Wang, S. (2015). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568-585. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143>
- Yépez, A. (2010). Características de las aguas residuales, 62. Recuperado el 27 de marzo de 2019 de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>

Zamora, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. Revista Pensamiento Actual, 9(12), 12-13. Recuperado el 8 de mayo de 2019 de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/viewFile/2842/2764>

ANEXOS

Anexo 1. Obtención de almidón de plátano



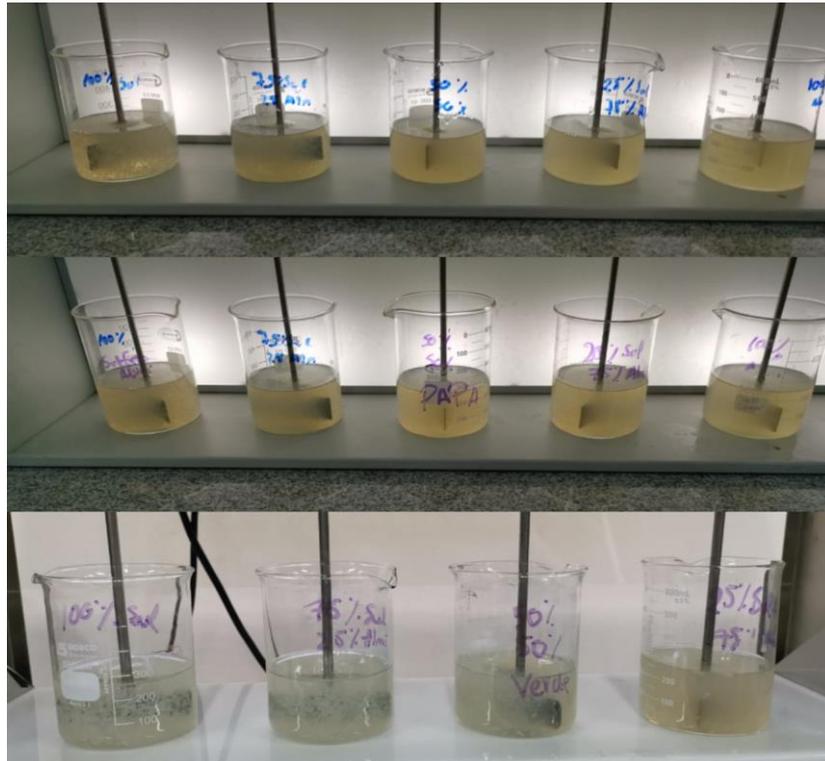
Anexo 2. Obtención de almidón de papa y yuca



Anexo 3. Medición de DBO₅ de las especies vegetales y sus repeticiones



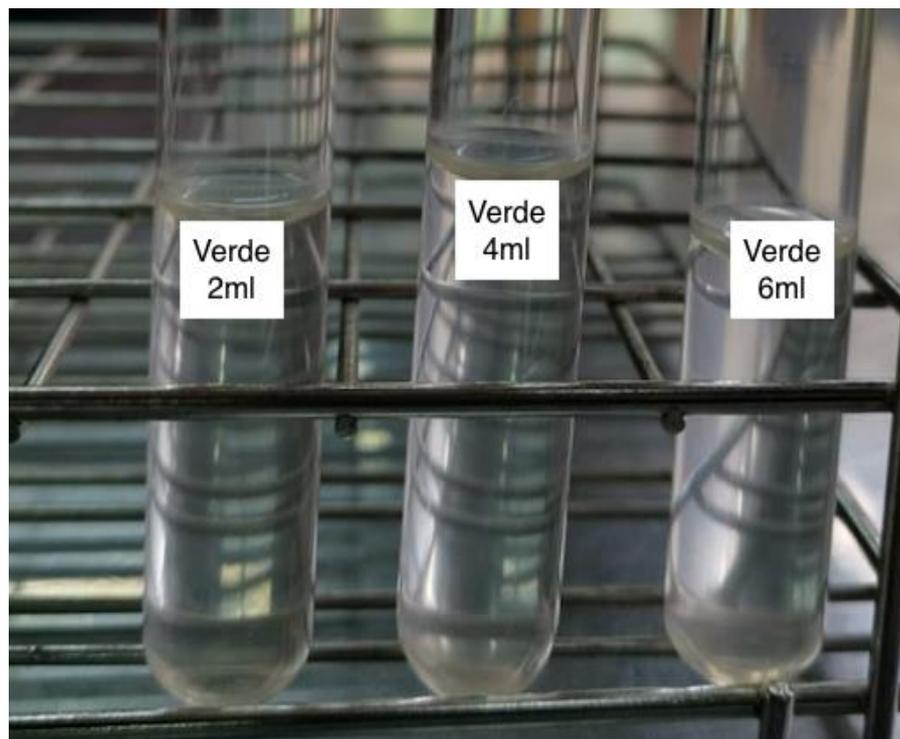
Anexo 4. Prueba de jarrar para el segundo diseño experimental.



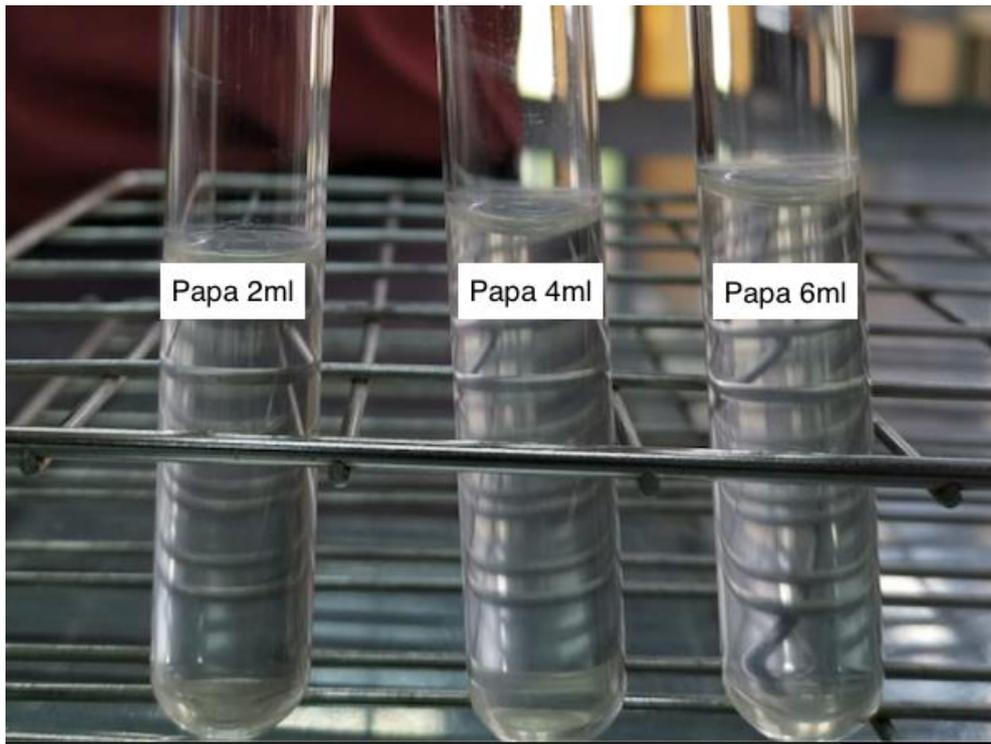
Anexo 5. Muestras con almidón de yuca para medición de turbiedad.



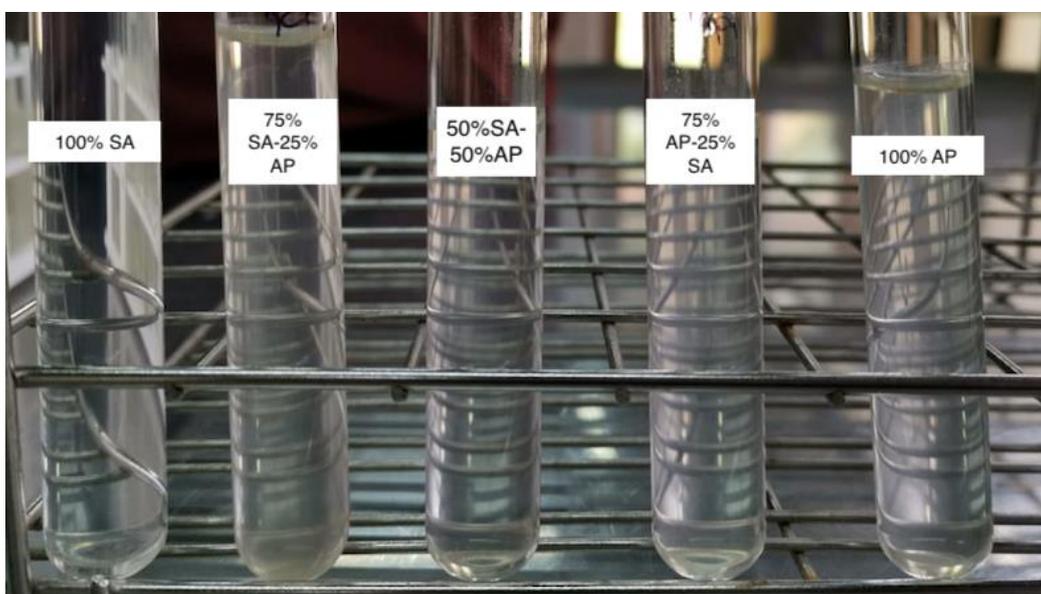
Anexo 6. Muestras con almidón de plátano para medición de turbiedad.



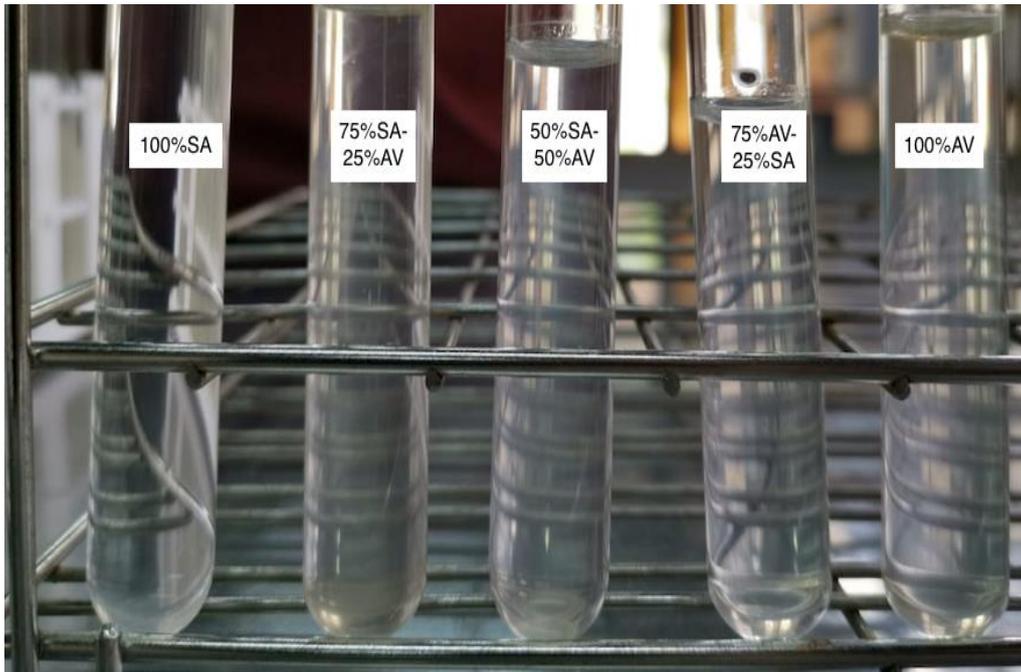
Anexo 7. Muestras con almidón de papa para medición de turbiedad.



Anexo 8. Muestras del segundo diseño experimental con almidón de papa (AP) y sulfato de aluminio (SA) para medición de turbiedad.



Anexo 9. Muestras del segundo diseño experimental con almidón de plátano (AV) y sulfato de aluminio (SA) para medición de turbiedad.



Anexo 10. Muestras del segundo diseño experimental con almidón de yuca (AY) y sulfato de aluminio (SA) para medición de turbiedad.

