

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

GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIBAE
LINEA DE INVESTIGACIÓN DE MEDIO AMBIENTE

LUIS ENRIQUE GUZMAN
DIRECTOR

DIANA CAROLINA MANTILLA ESCALANTE
AUTORA



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA DE ALIMENTOS
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C

2013

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS	10
2.1. OBJETIVO GENERAL	10
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
4. MARCO TEORICO	11
4. 1. EL PLÁTANO	11
4. 2. VARIEDADES DE PLÁTANO	12
4.3. FACTORES AMBIENTALES PARA EL CULTIVO DE PLÁTANO	12
4.3.1. Clima.....	12
4.3.2. Suelo	13
4.4. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PLÁTANO	14
4.5. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL PLÁTANO	15
4.6. PRODUCCIÓN DE PLÁTANO EN COLOMBIA	15
4.7. PLÁTANO CUATRO FILOS (<i>Musa ABB</i> del subgrupo <i>Silver bluggoe</i>).....	16
4.8. ALMIDÓN.....	17
4.8.1. Métodos para obtención de almidón.....	18
4.8.2. Métodos para la modificación de almidones	18
4.9. TRATAMIENTO DE PURIFICACIÓN DE AGUAS.....	18
4.10. MÉTODO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN.....	19
5. ESTADO DEL ARTE	19
6. METODOLOGÍA.....	22
6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	22
6.2. MUESTRA.....	22
6.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	23
6.5. PROCEDIMIENTO	24
6.5.1. Obtención de almidón nativo.....	24
6.5.4. Operacionalización de variables	25

6.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	27
7. RESULTADOS	28
7.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	28
7.1.1. ANOVA Multifactorial.....	28
7.1.1.1. Alcalinidad	28
7.1.1.2. Color	30
7.1.1.3. Turbidez.....	32
7.1.1.4. pH	34
7.1.1.5. Dureza.....	35
7.1.2. ANOVA Simple	37
7.1.2.1. Alcalinidad por Coagulante	37
7.1.2.2. Color por Coagulante.....	39
7.1.2.3. pH por Coagulante.....	41
7.1.2.4. Dureza por Coagulante	43
7.1.2.5. Turbidez por Coagulante	45
Tabla 24. Variables de respuesta de mejores tratamientos	46
7.2 Resultados de DQO y análisis microbiológico.	46
Tabla 25. Resultados de DQO y análisis microbiológico.....	47
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	51
ANEXOS	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.....	12
Tabla 2.....	17
Tabla 3.....	23
Tabla	29
Tabla	29
Tabla	30
Tabla 4.....	31
Tabla 5.....	32
Tabla 6.....	32
Tabla 7.....	34
Tabla 8.....	34
Tabla 9.....	35
Tabla 10.....	36
Tabla 11.....	38
Tabla 12.....	38
Tabla 13.....	40
Tabla 14.....	40
Tabla 15.....	41
Tabla 16.....	41
Tabla 17.....	43
Tabla 18.....	43
Tabla 19.....	45
Tabla 20.....	45
Tabla 24.....	46
Tabla 25.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Países productores de plátano.....	15
Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de obtención de almidón nativo.....	24
Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de obtención de almidón modificado.....	25
Figura 4. Platano cuatro filos.....	55
Figura 5. Floculador utilizado para la prueba de jarras.	55
Figura 6. Prueba de jarras para agua con alumbre.....	56
Figura 7. Formacion de flocs en prueba de jarras para agua con alumbre	56
Figura 8. Resultados de prueba de jarras de agua con alumbre.....	57
Figura 9. Resultado de prueba de jarras para almidón nativo sin gelificar	57
Figura 10. Muestras con mejores resultados para alumbre, almidón nativo y almidón modificado sin gelificar.	58
Figura 11. Muestras de agua cruda, agua mas alumbre, almidón nativo y modificado	58
Figura 12. Almidón nativo	59

RESUMEN

Con el presente estudio se evaluó la capacidad coagulante del almidón nativo y modificado de plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) sin gelificar y gelificado, para determinar su posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas. Se extrajo el almidón nativo para su posterior modificación mediante el método de acetilación, con un rendimiento de 42,47%, y a partir de este 80% para almidón modificado. Se empleó un diseño experimental factorial general, de dos factores: Tipo de Coagulante usado y Concentración de Coagulante usado; con cinco niveles para el primero (Alumbre, Almidón Nativo sin Gelificar (ANSG), Almidón Nativo Gelificado (ANG), Almidón Modificado sin Gelificar (AMSG) y Almidón Modifica Gelificado (ANM)) y seis para el segundo (5, 10, 15, 20, 25 y 30 ppm). En el experimento se realizaron 60 corridas experimentales, y los análisis por duplicado. Las variables de respuesta fueron: turbidez, alcalinidad, pH, color y dureza. Luego a los tratamientos denominados como mejores se compararon a partir de resultados de carga microbiana y DQO. Primero se aplicó un ANOVA multifactorial debido a la existencia de dos factores. Luego se tomaron los tratamientos denominados como mejores y los resultados del agua cruda (Sin tratamiento), y se aplicó un análisis estadístico ANOVA simple, para evidenciar si había o no diferencia estadística entre un tratamiento y otro. Los tratamientos denominados como mejores fueron 15 ppm para el alumbre, 15ppm para almidón nativo y 25ppm para almidón modificado. El análisis estadístico multifactorial arrojó que no hubo diferencia significativa en cuanto a la turbidez y el pH, y mediante el análisis estadístico simple se concluyó que no hubo diferencias significativas entre un tratamiento y otro para la dureza y el pH. Ambos análisis evidencian que no hay necesidad de modificar el almidón ni de gelificarlo, ya que son pocas las diferencias estadísticas entre un tratamiento y otro para la mayoría de las variables de respuesta. La DQO y la carga bacteriana se tuvieron una relación directa. El almidón nativo obtuvo una DQO más baja con respecto al modificado.

ABSTRACT

The present study evaluated the clotting ability of native starch and modified banana four edges without gel and gel to determine their potential use in water purification treatment. Native starch extracted for later modification by the acetylation method, with a yield of 42.47 %, and from this 80% modified starch. We used a factorial experimental design typically two factors: type used coagulant and coagulant concentration used , with five levels for the first (Alum , no Jell Native Starch (ANSG) Gelling Native Starch (ANG) , but Jell Modified Starch (AMSG) and modified starch Gelling (ANM)) and six for the second (5, 10 , 15, 20 , 25 and 30 ppm). In the experiment, 60 experimental runs were made, and duplicate analysis. The response variables were: turbidity, alkalinity, pH, color and hardness. After the treatments referred to as best we compared results from microbial load and COD. First multivariate ANOVA was applied due to the existence of two factors. Then he took called as better treatments and the results of raw water (no treatment), and applied simple ANOVA statistical analysis to show whether there was statistical difference between treatments other. The treatments were designated as 15 ppm for best alum, 15ppm to 25ppm for native starch and modified starch. Multivariate statistical analysis showed that there was no significant difference in terms of turbidity and pH, and by simple statistical analysis it was concluded that there were no significant differences between treatment and one for the hardness and pH. Both analyzes show that there is no need to modify the starch or gelificarlo, because few statistical differences between treatment and another for most of the response variables. The COD and bacterial load had a direct relationship. Native starch obtained a lower COD with respect to modified.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua por metales tóxicos y compuestos orgánicos sigue siendo un serio problema ambiental y de salud (Crini, 2005). Debido a esta situación, se ha generado la necesidad de implementar nuevas tecnologías que eliminen este tipo de contaminantes de las fuentes de agua.

Entre los procesos para el tratamiento de potabilización de aguas, se encuentra el método de coagulación - floculación, que consiste en combinar las partículas insolubles y / o materia orgánica disuelta en grandes agregados, facilitando así su eliminación en las etapas subsiguientes de sedimentación, flotación y filtración. La coagulación/floculación es un paso crítico en el proceso de tratamiento del agua, no sólo porque remueve las partículas responsables de la turbiedad producida por las partículas suspendidas y por el material coloidal, sino porque también remueve los microorganismos que a menudo se adhieren a las partículas (McCarthy & Zachara, 1989; Antov *et al.*, 2010; Guzman *et al.*, 2012). Los coagulantes y floculantes utilizados son aditivos minerales que incluyen sales metálicas tales como cloruro de polialuminio y polímeros sintéticos, como la poliacrilamida. Lo cierto es que el uso de estas sustancias químicas puede tener varias consecuencias ambientales como el incremento en la concentración de metal en el agua (que puede tener implicaciones en la salud humana), la producción de grandes volúmenes de lodos y la dispersión de oligómeros de acrilamida que puede también ser un peligro para la salud. (Renault *et al.*, 2009; Bratby, 2007; Bolto & Gregory, 2007; Mukherjee *et al.*, 2004; Bolto *et al.*, 1998; Bolto, 1995). Debido a lo anterior, las nuevas tendencias en los proceso de coagulación – floculación aplican el uso de biopolímeros naturales como coadyuvante de coagulación por su comportamiento ecológico y bajo coste.

En Colombia de acuerdo con la información de vigilancia de calidad del agua tratada, dada por la DEFENSORIA DEL PUEBLO (2010) es posible señalar que en promedio cada municipio es atendido por dos empresas. Mientras que en el caso de la vigilancia del agua sin tratamiento, esta relación es de 5 prestadores por cada municipio, debido a ello es necesario invertir en obras que permitan mejorar las condiciones de los sistemas que no

tienen la tecnología necesaria para realizar tratamiento al agua que se distribuye a los hogares. De acuerdo a lo anterior está se demuestra que se necesitan nuevas tecnologías en el tratamiento de purificación de aguas que sean de bajo coste y que no generen ningún riesgo para la salud y el medio.

Esta situación nos lleva a investigar sobre las últimas tendencias que han usado biopolímeros naturales como recurso en los tratamientos de purificación de aguas, como los derivados del almidón, de la celulosa y alginatos (Solís *et al.*, 2011). Debido a lo anterior en este estudio se determino la posible aplicación del almidón nativo y modificado de plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) como posible coagulante del proceso de purificación de aguas y ofrecerle una utilidad al fruto del cual es extraído, ya que por su bajo valor comercial no genera grandes costos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener y modificar el almidón de plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) para determinar su posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Obtener el almidón de plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) para su posterior modificación química mediante el método de acetilación.

Evaluar los efecto sobre la turbidez, color, dureza y alcalinidad en el tratamiento de potabilización de aguas empleando el almidón nativo y modificado del plátano cuatro filos sin gelificar (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*).

Evaluar los efecto sobre la turbidez, color, dureza y alcalinidad en el tratamiento de potabilización de aguas empleando el almidón nativo y modificado del plátano cuatro filos gelificado (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*).

Determinar la capacidad de coagulación del almidón nativo y modificado del plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) en el tratamiento de potabilización de aguas.

Comparar la eficacia entre el almidón nativo y modificado del plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) gelificado y sin gelificar con el alumbre, para evidenciar su posible uso como coagulante en el tratamiento de purificación de aguas mediante análisis estadístico multifactorial.

Comparar mejores tratamientos de cada tipo de coagulante usado apartir de análisis estadístico simple, y resultados en recuento microbiológico y pruebas de DQO.

3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Con el presente estudio se extrajo y se modificó el almidón de plátano cuatro filos para verificar su posible uso como coagulante en el tratamiento de potabilización de aguas empleando las nuevas tecnologías en el uso de coagulantes naturales para este proceso.

4. MARCO TEORICO

4. 1. EL PLÁTANO

El plátano o banano tiene su origen en Asia meridional, siendo conocido desde el año 650, la especie llegó a las Canarias en el siglo XV y se introdujo al continente americano en 1516. Su cultivo comercial se inició a finales del siglo XIX y principios del XX. El plátano es una fruta tropical originada en el sudoeste asiático, perteneciente a la familia de las musáceas (es un híbrido triploide de *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*).

El plátano es una planta monocotiledónea y pertenece al orden Escitaminales, a la familia Musaceae, subfamilia Musoideae y al género *Musa*. El género *Musa* contiene entre 30 y 40 especies diploides ($2n=14, 18, 20, 22$). En la actualidad, solo dos especies tienen importancia comercial: *Musa acuminata* (plátano) y *Musa balbisiana* (banano).

El plátano es considerado el principal cultivo de las regiones húmedas y cálidas del suroeste asiático. Los plátanos o bananos tienen forma oblonga, alargada y algo curvada. El color de la piel de los frutos puede ser amarillo verdoso, amarillo, amarillo-rojizo o rojo. El plátano macho tiene una piel gruesa y verdosa y su pulpa es blanca; en el bananito, la pulpa es de color marfil y la piel fina y amarilla. El plátano y el bananito destacan porque su sabor es dulce, intenso y perfumado. En el plátano macho, la pulpa tiene una consistencia harinosa y su sabor, a diferencia del resto de plátanos de consumo en crudo, no es dulce ya que apenas contiene hidratos de carbono sencillos.

El plátano es uno de los cultivos más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz. Además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituye una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo (FAO, 2010).

Tabla 1. Composición química del plátano (100 g de parte comestible del fruto)

Componente	%
Agua	61,0
Proteínas	1,1
Grasas	0,2
Carbohidratos	36,0
Fibra	0,6
Cenizas	1,0

Fuente: Jimenez *et al.*, (1994).

4. 2. VARIEDADES DE PLÁTANO

Se distinguen 2 variedades: las finas y las criollas. Entre las primeras se encuentran los plátanos conocidos como dominico, dominico hartón y hartón, ellas son producidas en sistemas altamente tecnificados para exportación o para un mercado interno seleccionado. Las criollas están conformadas por plátano topocho o cachaco con varios clones o subclones tolerantes a condiciones ambientales adversas y de consumo domestico a nivel de finca (CORPOICA, 2013).

4.3. FACTORES AMBIENTALES PARA EL CULTIVO DE PLÁTANO

4.3.1. Clima

Las zonas tropicales son óptimas para el desarrollo del cultivo de plátano, ya que son húmedas y cálidas.

- **Altitud:** La altitud influye sobre la duración del período vegetativo, sin embargo la altitud adecuada para la siembra de plátano está desde el nivel del mar hasta los 2.000 msnm. Para

las condiciones ecológicas de Colombia, el período vegetativo del plátano se prolonga 10 días por cada 100 metros de altura sobre el nivel del mar.

- **Temperatura:** La temperatura óptima para el cultivo de plátano es de 26°C. Este factor es el que más afecta la frecuencia de emisión de las hojas y puede alargar o acortar el ciclo vegetativo.
- **Precipitación:** El cultivo de plátano requiere para su normal crecimiento y buena producción de 120 a 150 mm de lluvia mensual o 1.800 mm anuales, bien distribuidos. Las raíces del plátano son superficiales, por lo cual la planta se afecta con el más leve déficit de agua.
- **Vientos:** Cuando éste excede los 20 km/hora produce ruptura o rasgado de las hojas, este fenómeno es común en los cultivos de plátano; el daño que involucra el doblamiento de las hojas activas es un riesgo para la producción de la planta.
- **Humedad relativa:** Afecta al cultivo en forma indirecta, porque favorece la incidencia de enfermedades foliares en especial las de origen fungoso.
- **Luminosidad:** La luz existente en el trópico es suficiente para el cultivo, pero es factor importante, entre otros, para el desarrollo de las yemas o brotes laterales, por lo que cortas distancias de siembra afectan el crecimiento de éstas y prolonga el ciclo vegetativo.

4.3.2. Suelo

El suelo tiene influencia sobre el cultivo de plátano a través de sus características físicas y del suministro oportuno y balanceado de los elementos minerales esenciales requeridos para el metabolismo, crecimiento y producción de las plantas. No obstante el plátano se adapta a una variedad amplia de suelos, esto no significa que todos los suelos sean aptos para su desarrollo equilibrado. La selección de suelos adecuados es un factor fundamental para que el cultivo sea rentable. Es importante, por tanto, conocer las propiedades físicas,

químicas y biológicas del suelo, mediante un muestreo y su análisis de fertilidad natural, ellos son la base de los planes de fertilización a aplicar en las fases de establecimiento, crecimiento y producción, con lo cual se aseguran los buenos resultados económicos.

El manejo orgánico del suelo es la alternativa sostenible que permite vivir en armonía con la tierra, ya que mantiene la productividad del suelo y mejora sus características físicas, químicas y microbiológicas (Gildargo *et al.*, 2006).

4.4. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PLÁTANO

El plátano es un producto tropical de gran importancia económica y de seguridad alimentaria en Centroamérica, es un fruto que se produce en las regiones de poco desarrollo industrial, y se comercializa en fresco y en menor escala, como producto procesado. En el mercado mundial se comercia el 1% de la producción mundial. Estados Unidos y Europa son los principales importadores de plátano fresco. Los plátanos y otras especies para cocción, se producen a lo largo del trópico húmedo, concentradas fundamentalmente en África, América Latina y el Caribe (MIFIC, 2007).

El plátano también es considerado junto con el trigo, el arroz y el maíz, como un producto de primera necesidad en muchos países en desarrollo, de ahí su relevancia como elemento en la seguridad alimentaria.

Algunos de los principales productores mundiales de plátano como el caso de India y Brasil participan muy poco del comercio internacional; de hecho, sólo una quinta parte de la producción mundial es comercializada entre países, no obstante, esta tendencia se está revirtiendo (de aproximadamente 18% en los años 60's y 70's a más de 22% en los 90's y la presente década).

Los grandes productores de plátano son los países Africanos (Uganda, Ruanda, Nigeria, Zaire, Tanzania, Camerún, Ghana y Costa de Marfil). Los segundos mayores productores son Colombia, Ecuador, República Dominicana y Sri Lanka. Por otra parte, Centroamérica y el Caribe son regiones productoras de menor escala, dedicadas a abastecer sus mercados

internos fundamentalmente (Fundación Produce de Guerrero, AC, 2012). Los países productores se esquematizan en la Figura 1.



Figura 1. Países productores de plátano

Fuente: Revista Consumer Frutas. Fundación Eroski, España.

4.5. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL PLÁTANO

Esta modalidad induce a manejar el plátano como un cultivo anual, de tal manera que una vez efectuada la recolección del primer ciclo de producción, se procede a eliminar la plantación. Si bien es cierto que, respecto a las explotaciones tradicionales, este sistema modifica cualitativa y cuantitativamente los parámetros de crecimiento y desarrollo, ello se compensa con los altos rendimientos que pueden ser incrementados hasta en 100% (Belalcázar, 2012)

4.6. PRODUCCIÓN DE PLÁTANO EN COLOMBIA

En Colombia, el cultivo del plátano es un sector tradicional de la economía campesina, de subsistencia para pequeños productores, de alta dispersión geográfica, y de gran importancia socioeconómica desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo (Martínez *et al.*, 2006; Torrado & Castaño, 2009)

Se estima que del área cultivada en plátano en Colombia, un 87% se encuentra como cultivo tradicional asociado con café, cacao, yuca y frutales, y el restante 13%, está como monocultivo tecnificado.

Actualmente, cerca de un 4% de la producción nacional de plátano se destina al mercado de exportación, el restante se destina para el consumo interno en fresco y una muy pequeña proporción, menos del 1%, se destina como materia prima para la agroindustria nacional.

El plátano es cultivado en diferentes zonas agroecológicas, desde el nivel del mar hasta los 2.000 metros de altura y dentro de un rango de temperatura de 17 a 35 grados centígrados. De acuerdo con AUGURA (Asociación de bananeros de Colombia), en Colombia se cultivan y cosechan cinco variedades de plátano: Dominico, Dominico Hartón, Hartón, Cachaco o Popocho, y Pelipita, predominando la variedad hartón.

4.7. PLÁTANO CUATRO FILOS (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*)

El plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) es un frutal cuyo origen cuyo origen se considera del sudeste asiático, incluyendo el norte de la India, Burma, Camboya, y parte de china del sur, así como las islas mayores de Sumatra, Java, Borneo, las Filipinas y Taiwán, es uno de los cultivos frutales más antiguos conocidos y utilizados por el hombre. Se cree que fue domesticado hace más de 7000 años África oriental y central son centros de domesticación secundarios del banano (Nicolax Roux, *et al.*, 2011 & Deulofeutt y Ortiz, 2012).

En Colombia se han realizado estudios sobre muchas especies de plátano en los que encontramos las más populares que son el dominico, harton, Cavendish, FHIA 21, entre otros, por otra parte sobre plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) se han realizado estudios a manera de información sobre su utilización (elaboración de harinas, elaboración de coladas, sopas y alimentación de animales) (Augura, 2011). Este plátano no se utiliza en investigaciones por no ser muy comercial. Lo podemos encontrar en la mayoría de las regiones de Colombia, es una materia prima de fácil acceso y cultivo (FAO 2009).

Tabla 2. Clasificación taxonómica del plátano cuatro filios

NOMBRE CIENTIFICO:	<i>Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe.</i>
CLASE:	<i>Angiosperma</i>
SUBCLASE:	<i>Monocotiledonea</i>
ORDEN:	<i>Escitamineas</i>
FAMILIA:	<i>Musáceas</i>
GENERO:	<i>Musa</i>
SELECCIÓN:	<i>Eumusa</i>
ESPECIES O GRUPO:	<i>M. Balbisiana (BBB)</i>
SUBGRUPO:	<i>Silver bluggoe</i>

Fuente: ICA. Cultivo de plátano, 2001.

4.8. ALMIDÓN

El almidón es la principal fuente de carbohidratos sintetizada por las plantas superiores. En la célula se organiza en partículas discretas (gránulos), cuyo tamaño puede variar de 1 a 100 μm (Freitas *et al.*, 2004; Rivas *et al.*, 2008).

Un gránulo de almidón contiene proporciones variables de amilosa y amilopectina (Munhoz *et al.*, 2004; Rivas *et al.*, 2008). Ambos polisacáridos están constituidos de cadenas de D-glucosa unidos mediante enlaces α (1-4). La amilosa es esencialmente lineal, mientras que la amilopectina está altamente ramificada mediante enlaces α (1-6). La amilopectina forma cristales polimórficos tipo A- y B- que influyen en el arreglo de sus dobles hélices (Imberty & Pérez, 1998; Rivas *et al.*, 2008). Los cristales tipo A producen hélices relativamente compactas con una menor proporción de agua, mientras que los B dan lugar a una estructura más abierta conteniendo un núcleo helicoidal hidratado. Los estudios de difracción rayos X, permiten conocer este tipo de arreglos (Tester *et al.*, 2004; Rivas *et al.*, 2008). La modificación produce una alteración en una o más de las propiedades físicas, químicas o estructurales del almidón, debido a la incorporación de un componente ajeno a su estructura, o a su degradación controlada por una modificación ácida (Rogols, 1986).

4.8.1. Métodos para obtención de almidón

En la literatura se encuentran pocos informes relacionados con el aislamiento de almidón de plátano. Investigaciones recientes han puesto de manifiesto la existencia de un 70 % de almidón en el fruto de plátano (Bello-Pérez *et al.*, 2000). Por lo anterior surge la posibilidad de desarrollar y/o modificar métodos de extracción que permitan un mejor aprovechamiento de esta fuente de almidón, para lo cual se pretende establecer las condiciones más adecuadas del proceso de extracción del almidón de plátano.

4.8.2. Métodos para la modificación de almidones

Los métodos para modificar los almidones nativos pueden clasificarse en físicos o químicos. Los métodos físicos utilizan calor y humedad (pregelatinización); mientras que los métodos químicos involucran la introducción de grupos funcionales dentro de las moléculas constituyentes del almidón mediante reacciones de derivatización (eterificación, esterificación, entrecruzamiento o grafting) o reacciones de descomposición (hidrólisis ácida o enzimática y oxidación). La derivatización química ha sido ampliamente estudiada para producir materiales con baja sensibilidad a la humedad (Fringant *et al.*, 1998; López, 2011). Además, se puede obtener almidones dualmente modificados mediante la combinación de sustitución y entrecruzamiento.

4.9. TRATAMIENTO DE PURIFICACIÓN DE AGUAS

Los tratamientos para la purificación de agua superficial son de suma importancia para la sociedad, ya que de estos depende la calidad del agua para consumo humano, doméstico y usos de diferente índole. Si los tratamientos se aplican de manera correcta cada comunidad podría satisfacer un requerimiento esencial para la vida. Las grandes ciudades dependen de abastecimiento superficial y en la mayoría de los casos sus fuentes son corrientes, lagos o embalses (Guerrero 1962). Para lograr la clarificación del agua, es necesaria la utilización de agentes coagulantes así como coadyuvantes de coagulación, que permiten eliminar un

porcentaje significativo de las partículas en suspensión (típicamente entre 80 y 90 %); este proceso es conocido como coagulación-floculación. (CEPIS, 1983; Solís *et al* 2012).

Además de los agentes convencionales basados en sales metálicas, se emplean polímeros utilizados como coadyuvantes de coagulación los cuales se clasifican en dos categorías: naturales y sintéticos. Los polielectrolitos naturales importantes incluyen polímeros de origen biológico, y los derivados del almidón, de la celulosa y alginatos.

4.10. MÉTODO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

El método de coagulación / floculación es un proceso esencial en el agua y en el tratamiento de aguas residuales industriales (Tatsi *et al.*, 2003).

El proceso de coagulación-floculación puede ser utilizado como un pre-tratamiento, un tratamiento de post-o incluso un tratamiento principal (Dos Santos *et al.*, 2007; Gahr *et al.*, 1994; Zsygula *et al.*, 2009). Este proceso es rentable, es fácil de usar y consume menos energía que los tratamientos alternativos (Choi *et al.*, 2001; Chu, 2001; Zsygula *et al.*, 2009).

Durante los últimos 20 años coagulantes nuevos, tanto inorgánicos como orgánicos, se han utilizado en un intento de mejorar la eliminación de la materia orgánica y los sólidos suspendidos totales durante el tratamiento de las aguas residuales urbanas y efluentes industriales. (Aguilar *et al.*, 2005)

5. ESTADO DEL ARTE

Las siguientes han sido las investigaciones que se han realizado con relación al presente trabajo de investigación.

Englyst y Cummings (1986), Faisant *et al.*,(1995) y Zhang *et al.*,(2005) realizaron una investigación acerca de la obtención del almidón modificado de plátano y concluyeron que este tiene potencial tanto en sus propiedades digestivas y funcionales, así como en la

aplicación en alimentos procesados y convertirlo en un producto comercialmente viable, además de eliminar el gran problema ambiental presentado por el desecho de este fruto.

Otro estudio del almidón modificado de plátano fue realizado por Bello *et al.*, (2002) en el que hicieron un análisis de las propiedades químicas y funcionales del almidón de plátano y determinaron que este era más resistente al fenómeno de retrogradación, además de aumentar su capacidad de retención de agua, hidratación y resistencia al proceso de congelamiento-deshiele.

Además de utilizar almidón modificado de plátano para el tratamiento de potabilización de aguas, el almidón de yuca también fue estudiado, donde su propósito fue comprobar el potencial de coagulación-floculación de la mezcla de un polímero natural basado en almidón extraído de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con sulfato de aluminio comercial, comparando la eficiencia de remoción de partículas suspendidas con la eficiencia alcanzada con solamente sulfato de aluminio grado comercial. Bratby (2006), Colbert (2007) y Solís (2012) mencionan que existe una preocupación creciente de la relación entre el aluminio residual y efectos neurológicos adversos, principalmente manifestado en la enfermedad del Alzheimer.

Laines, (2008), utilizó mezclas con potencial coagulante a base de almidón de plátano, mezclado con sulfato de aluminio de grado comercial, sólo que en lugar de aguas superficiales, utiliza lixiviados de rellenos sanitarios. En el presente estudio se utiliza el almidón con coagulante, y no con mezclas de alumbre.

Según Bolto & Gregory (2007), la modificación de los polisacáridos naturales se ha explorado como una manera de combinar sus mejores atributos con las de los polímeros sintéticos (Pal *et al.*, 2006). Los polisacáridos son bastante estables al cizallamiento, en contraste con cadena larga PAMs, y son biodegradables. Sin embargo, tienen una menor eficiencia por lo que deben utilizarse en concentraciones más altas.

Crini (2005), menciona que la modificación de los polisacáridos existentes es un posible método de obtención de solventes más polares. La derivatización química posible de

almidón y quitina es también una propiedad interesante, ya que es bien sabido que el injerto de ligandos puede mejorar sus propiedades de adsorción.

En cuanto a las investigaciones realizadas de los fenómenos de coagulación floculación encontramos los estudios realizados por Amuda y Amoo (2007) para examinar la eficacia de este fenómeno usando cloruro férrico y polielectrolito (no iónico de poliacrilamida) para el tratamiento de aguas residuales industriales. La eliminación de la materia orgánica (expresada como demanda química de oxígeno, DQO), fósforo total (PT) y sólidos totales en suspensión (TSS) con cloruro férrico y polielectrolito orgánico durante el proceso de coagulación / floculación, además de las condiciones óptimas para el proceso de coagulación / floculación, como dosis de coagulante, la dosificación de polielectrolito, y el pH de la solución mediante la prueba de jarras.

Otros estudios de coagulación-floculación que involucran el empleo de coagulantes de origen vegetal están orientados al tratamiento de aguas industriales. Beltrán-Heredia *et al.*, (2009) emplearon dos agentes coagulantes naturales, uno de ellos es un agente basado en taninos y el segundo es un extracto de la semilla de Moringa oleifera. Ambos agentes demostraron altas eficiencias de remoción de colorantes sintéticos aunque sugirieron que la concentración del colorante es un factor clave en el desempeño del proceso de coagulación-floculación. Anastasakis *et al.*, (2010) evaluaron el poder floculante del mucílago de plantas herbáceas de la familia Malvaceae (mal-vas e hibiscos) al emplear como agente coagulante sales de aluminio en el tratamiento de efluentes de diversa naturaleza. Los resultados demostraron que el mucílago de hibiscos requiere de menores dosis para obtener las mismas eficiencias de remoción de partículas suspendidas, aunque ambos floculantes fueron incapaces de disminuir el contenido de carbono orgánico disuelto. Los autores sugieren que la misma naturaleza orgánica de los floculantes propuestos evita la disminución de este parámetro de calidad del agua.

En Latinoamérica, actualmente se realiza investigación sobre el nopal mexicano (*Opuntia ficus-indica*) en la clarificación de suspensiones coloidales y así como de diversos productos naturales en la clarificación de agua para consumo humano (Almendárez, 2004). Martínez *et al.*, (2003) utilizaron *Cactus lefaria* en la clarificación de aguas superficiales que

actúa como un coagulante removiendo turbiedad y color. Un año más tarde Almendárez (2004) comprobó la efectividad de coagulación de un polímero natural extraído de las pencas de *Opuntia cochinellifera* (planta nativa de Centroamérica) en aguas superficiales. Navarro *et al.*, (2006) emplearon biopolímeros naturales que tienen la capacidad de adsorber metales pesados de aguas industriales (Laynes *et al.*, 2012).

Aguilar *et al.*, (2005) analizaron un tratamiento físico-químico (coagulación-floculación) que se aplicó a un matadero de aguas residuales, utilizando poliacrilamida aniónica como coadyuvante de coagulación para mejorar la velocidad de sedimentación de los flóculos formados con los coagulantes utilizados que fueron: sulfato férrico, sulfato de aluminio y cloruro de polialuminio.

El procedimiento de prueba de jarras se utiliza para encontrar el rendimiento del mejor coagulante y tasa de dosis y para determinar el pH óptimo del proceso (Kim *et al.*, 2001; Franceschia *et al.*, 2002; Guida *et al.*, 2007; Tzfaty *et al.*, 2011).

6. METODOLOGÍA

6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de carácter experimental, debido a que se manipularán variables como la dosis de almidón agregado, así como los parámetros de caracterización de la calidad del agua (turbiedad, color, pH, alcalinidad, dureza, carga microbiana y DQO), para demostrar la efectividad del proceso.

6.2. MUESTRA

La materia prima fue plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) obtenido en el mercado de la ciudad de Cartagena del departamento de Bolívar. Este estudio recolectó la muestra del Canal del Dique a la altura de Puerto Badel, corregimiento de Arjona – Bolívar. A las 7:00 am el día 12 de septiembre del año 2013, que corresponde a

la época invernal. La muestra fue recolectada en envases plásticos de 20 Lt, para las pruebas se utilizaron 40 Lt.

La extracción de almidón nativo y la modificación del mismo se realizó en los laboratorios de la facultad de ciencias farmacéuticas de la Universidad de Cartagena. El análisis de prueba de jarras se realizó en los laboratorios de servicio ambientales de la facultad de ciencias farmacéuticas de la Universidad de Cartagena.

Las pruebas de fisicoquímicas de las muestras se realizaron en los laboratorios de servicio ambientales de la facultad de ciencias farmacéuticas de la Universidad de Cartagena.

6.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se empleó un diseño experimental factorial general, de dos factores: Tipo de Coagulante usado y Concentración de Coagulante usado; con cinco niveles para el primero (Alumbre, Almidón Nativo sin Gelificar (ANSG), Almidón Nativo Gelificado (ANG), Almidón Modificado sin Gelificar (AMSG) y Almidón Modificado Gelificado (ANM)) y seis para el segundo (5, 10, 15, 20, 25 y 30 ppm). En el experimento se realizaron 60 corridas experimentales, y los análisis por duplicado. Las corridas experimentales se pueden ver en la Tabla 3.

Tabla 3. Corridas experimentales

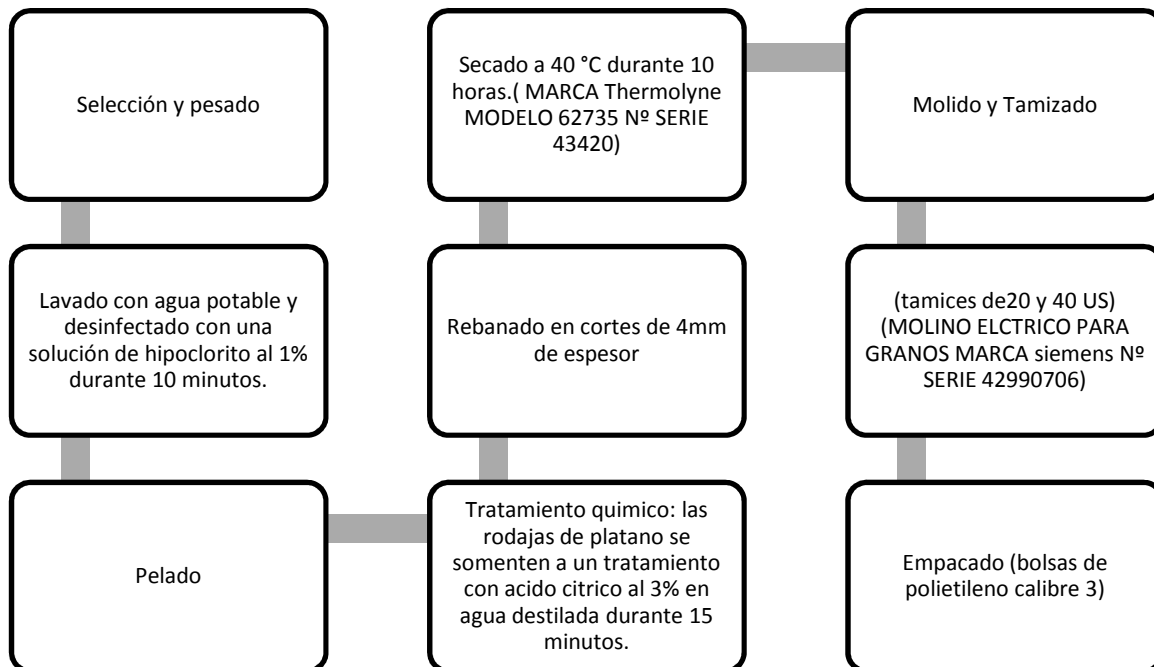
Corrida	Tipo de Coagulante	Conc.	Corrida	Tipo de Coagulante	Conc.	Corrida	Tipo de Coagulante	Conc.
1	Alumbre	5	21	Alumbre	15	41	Alumbre	25
2	Alumbre	5	22	Alumbre	15	42	Alumbre	25
3	ANSG	5	23	ANSG	15	43	ANSG	25
4	ANSG	5	24	ANSG	15	44	ANSG	25
5	ANG	5	25	ANG	15	45	ANG	25
6	ANG	5	26	ANG	15	46	ANG	25
7	AMSG	5	27	AMSG	15	47	AMSG	25
8	AMSG	5	28	AMSG	15	48	AMSG	25
9	AMG	5	29	AMG	15	49	AMG	25
10	AMG	5	30	AMG	15	50	AMG	25
11	Alumbre	10	31	Alumbre	20	51	Alumbre	30

12	Alumbre	10	32	Alumbre	20	52	Alumbre	30
13	ANSG	10	33	ANSG	20	53	ANSG	30
14	ANSG	10	34	ANSG	20	54	ANSG	30
15	ANG	10	35	ANG	20	55	ANG	30
16	ANG	10	36	ANG	20	56	ANG	30
17	AMSG	10	37	AMSG	20	57	AMSG	30
18	AMSG	10	38	AMSG	20	58	AMSG	30
19	AMG	10	39	AMG	20	59	AMG	30
20	AMG	10	40	AMG	20	60	AMG	30

6.5. PROCEDIMIENTO

6.5.1. Obtención de almidón nativo

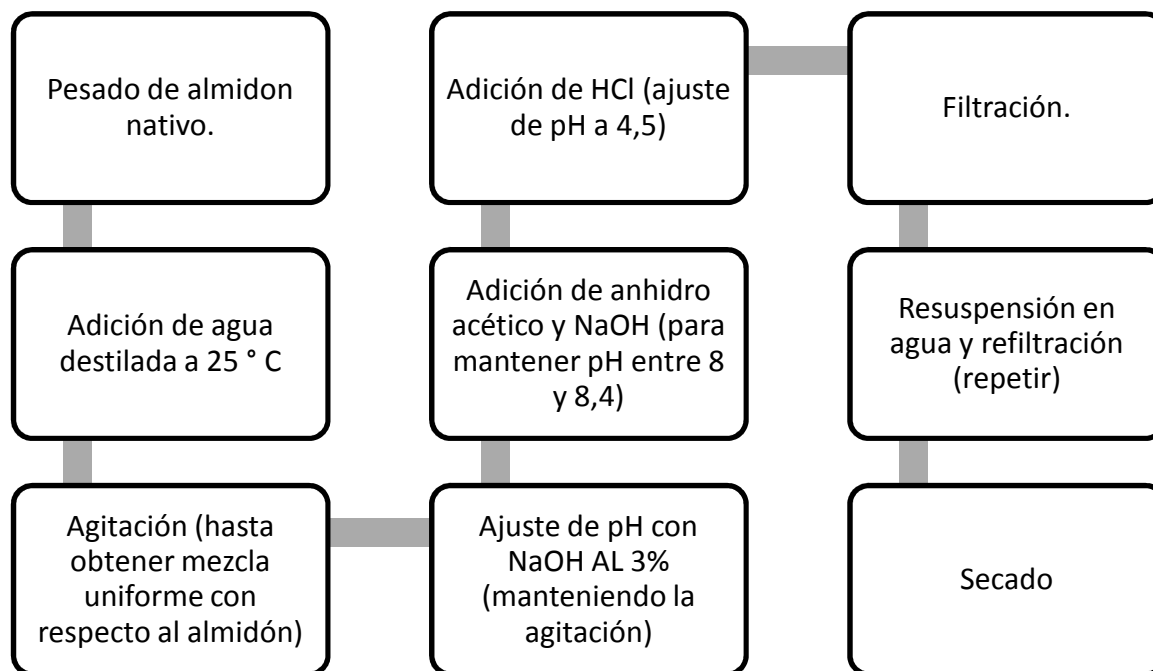
Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de obtención de almidón nativo



Fuente: Los autores

6.5.2. Obtención de almidón modificado

Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de obtención de almidón modificado



Fuente: Los autores

6.5.3. Prueba de jarras

Las muestras se sometieron a una mezcla rápida a 100 rpm de 1 minuto, luego a una mezcla lenta a 40 rpm durante 30 minutos y finalmente se le dio un reposo de 30 minutos.

6.5.4. Operacionalización de variables

Tabla 4. Variables involucradas en el procedimiento.

Variable	Definición	Unidades	Equipo/Método
Turbidez	Es la medida del grado de transparencia aparente del agua.	NTU	Turbi Quant 3000 IR
	Está asociado a sustancias que se	Pt/Co	ELICH

Color	encuentran disueltas o suspendidas en el agua.		AQUATESTER.
Dureza	Concentración de iones alcalinos no metalico presentes	mg/L de CaCO ₃	Titulación de complejación usando ácido tetracético de etilendiamina (EDTA),
Alcalinidad	Capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden ser tituladas.	mg/L de CaCO ₃ .	Titulación en H ₂ SO ₄
pH	Nivel de acidez o alcalinidad.	Unidad de pH	HI 9126 de Hanna Instruments
DQO	Cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte	mg/Lt	Método de dicromato de potasio.
Coliformes totales	Bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados. Del grupo <<coliforme>> forman parte varios géneros: <i>Escherichia</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Citrobacter</i> , etc.	UFC/100mL	NMP (numero más probable)
	Bacilos Gram-negativos		

Coliformes fecales	no formadores de esporas Fermentadores de lactosa produciendo gas y ácido luego de 48 hrs a 32 – 35 °C	UFC/100mL	UFC (método de filtración de membrana).
Concentración de coagulante	Relación de la masa del agente activo por volumen de solución	mg/Lt	-
Tipo de coagulante usado	Relacion entre el coagulante usado y el volumen de la solucion.	mg/Lt	-

6.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Fue desarrollado en el programa estadístico *Statgraphics Centurion XVI.I* con análisis de varianza y correlación entre variables. Los valores de P-value prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando este valor fue menor que 0,05, el análisis de la varianza indicó que el factor manipulado tiene una influencia estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95% en la variable de respuesta. El valor de P-value por debajo de 0,01 indica que existe una correlación altamente significativa a un nivel de confianza del 95%.

Primero se aplicó un ANOVA multifactorial debido a la existencia de dos factores: Tipo de coagulante usado y Concentración usada de este. Luego se tomaron los tratamientos denominados como mejores y los resultados del agua cruda (Sin tratamiento), y se aplicó un análisis estadístico ANOVA simple, para evidenciar si había o no diferencia estadística entre un tratamiento y otro.

7. RESULTADOS

7.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

7.1.1. ANOVA Multifactorial

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para cada una de las variables de respuesta: Dureza, pH, Turbidez, Color y Alcalinidad. Esta prueba determinó que factores tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre estas. También evaluó la significancia de las interacciones entre los factores (Tipo de coagulante y concentración de este). Las pruebas-F en la tabla ANOVA permitieron identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples dijeron cuales medias son significativamente diferentes de otras.

La Tabla ANOVA descompone la variabilidad de cada variable de respuesta en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores.

7.1.1.1. Alcalinidad

Los resultados del ANOVA multifactorial para la alcalinidad se muestra en la Tabla 4. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Alcalinidad con un 95,0% de nivel de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se verifica la Pruebas de Múltiples Rangos, la cual se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis de Varianza Multifactorial para Alcalinidad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Coagulante	1449,57	4	362,392	329,45	0,0000
B:Concentración	348,533	5	69,7067	63,37	0,0000
INTERACCIONES					
AB	1146,63	20	57,3317	52,12	0,0000
RESIDUOS	33,0	30	1,1		
TOTAL (CORREGIDO)	2977,73	59			

Tabla 6. Pruebas de Múltiple Rangos para Alcalinidad por Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Coagulante</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	
Alumbre	12	34,1667	0,302765	X	
Almidón Modificado Gelificado	12	45,75	0,302765	X	
Almidón Modificado	12	45,75	0,302765	X	
Almidón Nativo	12	47,0	0,302765	X	
Almidón Nativo Gelificado	12	47,0	0,302765	X	
<i>Contraste</i>			<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón Modificado - Almidón Modificado Gelificado				0	0,874451
Almidón Modificado - Almidón Nativo			*	-1,25	0,874451
Almidón Modificado - Almidón Nativo Gelificado			*	-1,25	0,874451
Almidón Modificado - Alumbre			*	11,5833	0,874451
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo			*	-1,25	0,874451
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado			*	-1,25	0,874451
Almidón Modificado Gelificado - Alumbre			*	11,5833	0,874451

Almidón Nativo - Almidón Nativo Gelificado		0	0,874 451
Almidón Nativo - Alumbre	*	12,8333	0,874 451
Almidón Nativo Gelificado - Alumbre	*	12,8333	0,874 451

* indica una diferencia significativa.

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 8 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

7.1.1.2. Color

Los resultados del ANOVA multifactorial para Color se muestra en la Tabla 6. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Color con un 95,0% de nivel de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se verifica la Pruebas de Múltiples Rangos, la cual se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Análisis de Varianza Multifactorial para Color

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Coagulante	81000,0	4	20250,0	*****	0,0000
B:Concentración	58653,3	5	11730,7	*****	0,0000

INTERACCIONES					
AB	56280,0	20	2814,0	*****	0,0000
RESIDUOS	3,81988E-11	30	1,27329E-12		
TOTAL (CORREGIDO)	195933,	59			

Tabla 4. Pruebas de Múltiple Rangos para Color por Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Coagulante</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Alumbre	12	33,3333	3,25742E-7	X
Almidón Nativo	12	91,6667	3,25742E-7	X
Almidón Nativo Gelificado	12	91,6667	3,25742E-7	X
Almidón Modificado	12	133,333	3,25742E-7	X
Almidón Modificado Gelificado	12	133,333	3,25742E-7	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón Modificado - Almidón Modificado Gelificado		0	9,40812E-7
Almidón Modificado - Almidón Nativo	*	41,6667	9,40812E-7
Almidón Modificado - Almidón Nativo Gelificado	*	41,6667	9,40812E-7
Almidón Modificado - Alumbre	*	100,0	9,40812E-7
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo	*	41,6667	9,40812E-7
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado	*	41,6667	9,40812E-7
Almidón Modificado Gelificado - Alumbre	*	100,0	9,40812E-7
Almidón Nativo - Almidón Nativo Gelificado		0	9,40812E-7
Almidón Nativo - Alumbre	*	58,3333	9,40812E-7
Almidón Nativo Gelificado - Alumbre	*	58,3333	9,40812E-7

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los

8 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

7.1.1.3. Turbidez

Los resultados del ANOVA multifactorial para Turbidez se muestra en la Tabla 8. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores ó interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Turbidez con un 95,0% de nivel de confianza. La Pruebas de Múltiples Rangos, que muestra la homogeneidad de datos se muestra en la Tabla 9.

Tabla 5. Análisis de Varianza Multifactorial para Turbidez

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Coagulante	2,31866E6	4	579665,	0,56	0,6925
B:Concentración	5,70216E6	5	1,14043E6	1,10	0,3789
INTERACCIONES					
AB	2,11046E7	20	1,05523E6	1,02	0,4684
RESIDUOS	3,09859E7	30	1,03286E6		
TOTAL (CORREGIDO)	6,01113E7	59			

Tabla 6. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Coagulante</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Almidón Nativo	12	178,517	293,38	X

Gelificado				
Almidón Nativo	12	178,517	293,38	X
Almidón Modificado Gelificado	12	184,277	293,38	X
Almidón Modificado	12	184,277	293,38	X
Alumbre	12	672,808	293,38	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón Modificado - Almidón Modificado Gelificado		0	847,345
Almidón Modificado - Almidón Nativo		5,76	847,345
Almidón Modificado - Almidón Nativo Gelificado		5,76	847,345
Almidón Modificado - Alumbre		-488,532	847,345
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo		5,76	847,345
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado		5,76	847,345
Almidón Modificado Gelificado - Alumbre		-488,532	847,345
Almidón Nativo - Almidón Nativo Gelificado		0	847,345
Almidón Nativo - Alumbre		-494,292	847,345
Almidón Nativo Gelificado - Alumbre		-494,292	847,345

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

7.1.1.4. pH

Los resultados del ANOVA multifactorial para pH se muestra en la Tabla 10. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores ó interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre pH con un 95,0% de nivel de confianza. La Pruebas de Múltiples Rangos, que muestra la homogeneidad de datos se muestra en la Tabla 11.

Tabla 7. Análisis de Varianza Multifactorial para pH

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Coagulante	524,68	4	131,17	0,84	0,5123
B:Concentración	1715,94	5	343,189	2,19	0,0816
INTERACCIONES					
AB	2478,63	20	123,932	0,79	0,7039
RESIDUOS	4699,28	30	156,643		
TOTAL (CORREGIDO)	9418,54	59			

Tabla 8. Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Coagulante</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Almidón Nativo	12	6,31333	3,61297	X
Almidón Nativo Gelificado	12	6,31333	3,61297	X
Alumbre	12	6,365	3,61297	X
Almidón Modificado Gelificado	12	12,3667	3,61297	X
Almidón Modificado	12	12,3667	3,61297	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón Modificado - Almidón Modificado Gelificado		0	10,435
Almidón Modificado - Almidón Nativo		6,05333	10,435

Almidón Modificado - Almidón Nativo Gelificado		6,05333	10,435
Almidón Modificado - Alumbre		6,00167	10,435
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo		6,05333	10,435
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado		6,05333	10,435
Almidón Modificado Gelificado - Alumbre		6,00167	10,435
Almidón Nativo - Almidón Nativo Gelificado		0	10,435
Almidón Nativo - Alumbre		-0,0516667	10,435
Almidón Nativo Gelificado - Alumbre		-0,0516667	10,435

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

7.1.1.5. Dureza

Los resultados del ANOVA multifactorial para Dureza se muestra en la Tabla 12. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Dureza con un 95,0% de nivel de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se verifica la Pruebas de Múltiples Rangos, la cual se muestra en la Tabla 13.

Tabla 9. Análisis de Varianza Multifactorial para Dureza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
---------------	--------------------------	--------------	-----------------------	----------------	----------------

EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Coagulante	484,1	4	121,025	11,04	0,0000
B:Concentración	1178,13	5	235,627	21,49	0,0000
INTERACCIONES					
AB	1201,7	20	60,085	5,48	0,0000
RESIDUOS	329,0	30	10,9667		
TOTAL (CORREGIDO)	3192,93	59			

Tabla 10. Pruebas de Múltiple Rangos para Dureza por Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Coagulante</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Alumbre	12	58,5	0,955975	X
Almidón Nativo	12	59,5	0,955975	X
Almidón Nativo Gelificado	12	59,5	0,955975	X
Almidón Modificado Gelificado	12	64,9167	0,955975	X
Almidón Modificado	12	64,9167	0,955975	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Modificado Gelificado		0	2,76106
Almidón Modificado - Almidón Nativo	*	5,41667	2,76106
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado	*	5,41667	2,76106
Almidón Modificado - Alumbre	*	6,41667	2,76106
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo	*	5,41667	2,76106
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado	*	5,41667	2,76106
Almidón Modificado Gelificado - Alumbre	*	6,41667	2,76106
Almidón Nativo - Almidón Nativo Gelificado		0	2,76106
Almidón Nativo - Alumbre		1,0	2,76106
Almidón Nativo Gelificado - Alumbre		1,0	2,76106

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

7.1.2. ANOVA Simple

Se tomaron los tratamientos denominados como mejores y se aplicó un análisis estadístico ANOVA simple, para evidenciar si había o no diferencia estadística entre un tratamiento y otro.

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para cada variable de respuesta: Dureza, pH, Turbidez, Color y Alcalinidad. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de cada una de estas. La prueba-F en Tabla ANOVA determinó si había diferencias significativas entre las medias. Si las hubo, las Pruebas de Rangos Múltiples dijeron cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La Tabla ANOVA descompuso la varianza de cada variable de respuesta en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos.

7.1.2.1. Alcalinidad por Coagulante

El análisis ANOVA simple para Alcalinidad se muestra en la Tabla 14. La razón-F, que en este caso es igual a 10,0316, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado

dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Alcalinidad entre un nivel de Coagulante y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se verifica la Pruebas de Múltiples Rangos, la cual se muestra en la Tabla 15.

Tabla 11. ANOVA Simple para Alcalinidad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	317,667	5	63,5333	10,03	0,0071
Intra grupos	38,0	6	6,33333		
Total (Corr.)	355,667	11			

Tabla 12 Pruebas de Múltiple Rangos para Alcalinidad por Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>			
Alumbre	2	35,0	X			
Sin Tto	2	42,0	X			
Almidón modificado	2	45,0	XX			
Almidón Nativo Gelificado	2	48,0	XX			
Almidón Modificado Gelificado	2	49,0	X			
Almidón nativo	2	50,0	X			
<i>Contraste</i>				<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado					1,0	6,15794
Almidón Modificado Gelificado - Almidón modificado					4,0	6,15794
Almidón Modificado Gelificado - Almidón nativo					-1,0	6,15794
Almidón Modificado Gelificado - Alumbre				*	14,0	6,15794
Almidón Modificado Gelificado - Sin Tto				*	7,0	6,15794
Almidón Nativo Gelificado - Almidón modificado					3,0	6,15794
Almidón Nativo Gelificado - Almidón nativo					-2,0	6,15794

Almidón Nativo Gelificado - Alumbre	*	13,0	6,15794
Almidón Nativo Gelificado - Sin Tto		6,0	6,15794
Almidón modificado - Almidón nativo		-5,0	6,15794
Almidón modificado - Alumbre	*	10,0	6,15794
Almidón modificado - Sin Tto		3,0	6,15794
Almidón nativo - Alumbre	*	15,0	6,15794
Almidón nativo - Sin Tto	*	8,0	6,15794
Alumbre - Sin Tto	*	-7,0	6,15794

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 7 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

7.1.2.2. Color por Coagulante

El análisis ANOVA simple para Color se muestra en la Tabla 16. La razón-F, que en este caso es igual a 11,05, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Color entre un nivel de Coagulante y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se verifica la Pruebas de Múltiples Rangos, la cual se muestra en la Tabla 17.

Tabla 13. ANOVA Simple para Color por Coagulante

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	23375,0	5	4675,0	11,05	0,0083
Intra grupos	0	6	0		
Total (Corr.)	23375,0	11			

Tabla 14. Pruebas de Múltiple Rangos para Color por Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Alumbre	2	10,0	X
Almidón Nativo Gelificado	2	50,0	X
Almidón nativo	2	50,0	X
Almidón modificado	2	75,0	X
Almidón Modificado Gelificado	2	100,0	X
Sin Tto	2	150,0	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado	*	50,0	0
Almidón Modificado Gelificado - Almidón modificado	*	25,0	0
Almidón Modificado Gelificado - Almidón nativo	*	50,0	0
Almidón Modificado Gelificado - Alumbre	*	90,0	0
Almidón Modificado Gelificado - Sin Tto	*	-50,0	0
Almidón Nativo Gelificado - Almidón modificado	*	-25,0	0
Almidón Nativo Gelificado - Almidón nativo		0	0
Almidón Nativo Gelificado - Alumbre	*	40,0	0
Almidón Nativo Gelificado - Sin Tto	*	-100,0	0
Almidón modificado - Almidón nativo	*	25,0	0
Almidón modificado - Alumbre	*	65,0	0
Almidón modificado - Sin Tto	*	-75,0	0
Almidón nativo - Alumbre	*	40,0	0

Almidón nativo - Sin Tto	*	-100,0	0
Alumbre - Sin Tto	*	-140,0	0

* indica una diferencia significativa.

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 14 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 5 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

7.1.2.3. pH por Coagulante

El análisis ANOVA simple para pH se muestra en la Tabla 18. La razón-F, que en este caso es igual a 1,02561, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de pH entre un nivel de Coagulante y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. En la Tabla 19 se evidencia la homogeneidad de datos mediante la Pruebas de Múltiples Rangos.

Tabla 15. ANOVA Simple para pH por Coagulante

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2002,24	5	400,448	1,03	0,4782
Intra grupos	2342,7	6	390,45		
Total (Corr.)	4344,94	11			

Tabla 16. Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Almidón Nativo Gelificado	2	6,215	X
Alumbre	2	7,085	X
Almidón nativo	2	7,355	X
Sin Tto	2	7,505	X
Almidón modificado	2	7,515	X
Almidón Modificado Gelificado	2	41,775	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado		35,56	48,3506
Almidón Modificado Gelificado - Almidón modificado		34,26	48,3506
Almidón Modificado Gelificado - Almidón nativo		34,42	48,3506
Almidón Modificado Gelificado - Alumbre		34,69	48,3506
Almidón Modificado Gelificado - Sin Tto		34,27	48,3506
Almidón Nativo Gelificado - Almidón modificado		-1,3	48,3506
Almidón Nativo Gelificado - Almidón nativo		-1,14	48,3506
Almidón Nativo Gelificado - Alumbre		-0,87	48,3506
Almidón Nativo Gelificado - Sin Tto		-1,29	48,3506
Almidón modificado - Almidón nativo		0,16	48,3506
Almidón modificado - Alumbre		0,43	48,3506
Almidón modificado - Sin Tto		0,01	48,3506
Almidón nativo - Alumbre		0,27	48,3506
Almidón nativo - Sin Tto		-0,15	48,3506
Alumbre - Sin Tto		-0,42	48,3506

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para

discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

7.1.2.4. Dureza por Coagulante

El análisis ANOVA simple para Dureza se muestra en la Tabla 20. La razón-F, que en este caso es igual a 8,64186, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Dureza entre un nivel de Coagulante y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se verifica la Pruebas de Múltiples Rangos, la cual se muestra en la Tabla 21.

Tabla 17. ANOVA Simple para Dureza por Coagulante

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	309,667	5	61,9333	8,64	0,0103
Intra grupos	43,0	6	7,16667		
Total (Corr.)	352,667	11			

Tabla 18. Pruebas de Múltiple Rangos para Dureza por Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Almidón nativo	2	54,0	X
Alumbre	2	56,0	X
Sin Tto	2	59,0	XX
Almidón modificado	2	60,0	XX
Almidón Modificado Gelificado	2	63,5	XX
Almidón Nativo Gelificado	2	69,5	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado		-6,0	6,55055
Almidón Modificado Gelificado - Almidón modificado		3,5	6,55055
Almidón Modificado Gelificado - Almidón nativo	*	9,5	6,55055
Almidón Modificado Gelificado - Alumbre	*	7,5	6,55055
Almidón Modificado Gelificado - Sin Tto		4,5	6,55055
Almidón Nativo Gelificado - Almidón modificado	*	9,5	6,55055
Almidón Nativo Gelificado - Almidón nativo	*	15,5	6,55055
Almidón Nativo Gelificado - Alumbre	*	13,5	6,55055
Almidón Nativo Gelificado - Sin Tto	*	10,5	6,55055
Almidón modificado - Almidón nativo		6,0	6,55055
Almidón modificado - Alumbre		4,0	6,55055
Almidón modificado - Sin Tto		1,0	6,55055
Almidón nativo - Alumbre		-2,0	6,55055
Almidón nativo - Sin Tto		-5,0	6,55055
Alumbre - Sin Tto		-3,0	6,55055

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

7.1.2.5. Turbidez por Coagulante

El análisis ANOVA simple para Turbidez se muestra en la Tabla 22. La razón-F, que en este caso es igual a 107,726, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Turbidez entre un nivel de Coagulante y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se verifica la Pruebas de Múltiples Rangos, la cual se muestra en la Tabla 23.

Tabla 19. ANOVA Simple para Turbidez por Coagulante

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	141966,	5	28393,2	107,73	0,0000
Intra grupos	1581,41	6	263,568		
Total (Corr.)	143547,	11			

Tabla 20. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Alumbre	2	0,01	X
Almidón Modificado Gelificado	2	145,55	X
Almidón Nativo Gelificado	2	164,0	XX
Almidón modificado	2	199,5	X
Almidón nativo	2	250,5	X
Sin Tto	2	359,0	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Almidón Modificado Gelificado - Almidón Nativo Gelificado		-18,45	39,7251
Almidón Modificado Gelificado - Almidón modificado	*	-53,95	39,7251
Almidón Modificado Gelificado - Almidón nativo	*	-104,95	39,7251

Almidón Modificado Gelificado - Alumbre	*	145,54	39,7251
Almidón Modificado Gelificado - Sin Tto	*	-213,45	39,7251
Almidón Nativo Gelificado - Almidón modificado		-35,5	39,7251
Almidón Nativo Gelificado - Almidón nativo	*	-86,5	39,7251
Almidón Nativo Gelificado - Alumbre	*	163,99	39,7251
Almidón Nativo Gelificado - Sin Tto	*	-195,0	39,7251
Almidón modificado - Almidón nativo	*	-51,0	39,7251
Almidón modificado - Alumbre	*	199,49	39,7251
Almidón modificado - Sin Tto	*	-159,5	39,7251
Almidón nativo - Alumbre	*	250,49	39,7251
Almidón nativo - Sin Tto	*	-108,5	39,7251
Alumbre - Sin Tto	*	-358,99	39,7251

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 13 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 5 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 24. Variables de respuesta de mejores tratamientos

Coagulante	Conc.	Dureza	pH	Turbidez	Color	Alcalinidad
Agua Cruda (T ₀)		58	7,51	359	150	44
Alumbre (T ₁)	15	56	7,08	0.01	10	35
Almidón nativo (T ₂)	15	69,5	6,21	164	50	48
Almidón modificado (T ₃)	25	63,5	7,57	145,5	100	49

7.2 Resultados de DQO y análisis microbiológico.

En la Tabla 25 se muestran los resultados obtenidos para las pruebas de DQO y análisis microbiológico aplicado a los tratamientos denominados como mejores.

Tabla 25. Resultados de DQO y análisis microbiológico.

MUESTRA	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
D.Q.O, mg/L	74,40	44,64	33,48	89,28
Coliformes totales, UFC/100 mL	36000	100	110000	32000
Coliformes fecales, UFC/100 mL	50	0	100	200

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos planteados en el estudio se puede verificar que no es necesario modificar el almidón ya que los datos obtenidos por el almidón nativo tuvieron menos diferencia significativa con respecto a la prueba de alumbre y más diferencia significativa con la muestra patrón.

Los datos de rendimiento fueron de un 42,47%, para almidón nativo y a partir de este 80% para almidón modificado, los cuales se pueden comparar con los resultados obtenidos por Bello (2002) el cual obtuvo un rendimiento de 43,8 % para almidón nativo y un 87,6% para almidón acetilado de plano macho.

Con respecto a los parámetros de turbidez y pH, estos fueron los únicos sin diferencia significativa, los datos altos obtenidos en la turbidez pueden ser el resultado de una turbidez inicial muy alta dada por la muestra patrón. Para el color, dureza y alcalinidad si hubo diferencia significativa, aunque los datos sobre el color no fueron satisfactorios, es posible que se obtengan mejores resultados si se aplica un tratamiento de filtración luego del proceso de coagulación floculación.

Realizando una comparación de los datos reportados para color y turbidez con respecto a los que se registran en el decreto 2115 de 2007, encontramos que ambos parámetros fisicoquímicos no cumplen con lo establecido por el decreto para agua potable, ya que los valores mínimos para color son de 15 UPC, y para turbiedad 2 UNT. En cuanto al olor y sabor durante el proceso de coagulación floculación, se pueden apreciar como aceptables.

Las mejores muestras se evaluaron de acuerdo a los datos reportados por el color y la turbidez, teniendo en cuenta costo-beneficio, por lo cual para alumbre se eligió la muestra de 15 ppm, para almidón nativo también se eligió la muestra de 15ppm, a diferencia del almidón modificado en el cual se eligió la muestra de 25ppm.

Para los tipos de almidón gelificados y no gelificados tampoco hubo diferencia significativa, por lo que esta condición no afectó los resultados.

Para el análisis de DQO y carga microbiana, el almidón nativo presentó mejores resultados ya que el crecimiento de bacterias en esta muestra redujo el material orgánico disponible en el agua.

De acuerdo a estudios anteriores el uso de coagulantes naturales en proceso de floculación coagulación en el tratamiento de aguas ha dado buenos resultados, en este estudio se demuestra que el almidón de plátano cuatro filos no es suficiente para ser utilizado como coagulante, por lo que es necesario realizar estudios con otra variedad del fruto o utilizar mezclas con otros coagulantes tal como lo hace Laines (2008) en su estudio con almidón de plátano en mezclas con sulfato de aluminio, además de evaluar el contenido de amilosa y amilopectina del almidón tanto nativo como modificado para verificar la efectividad de la amilopectina con respecto al poder coagulante debido a su estructura ramificada.

En cuanto a los resultados obtenidos por Martínez y Gonzales (2012) donde se evalúa el poder coagulante de la tuna, se puede deducir que se obtuvieron datos parecidos en el color, pero en cuanto a la turbiedad los datos fueron diferentes, ya que la acción coagulante para la tuna fue de 85,4 % en una dosis de 50ppm, mientras que para el almidón modificado gelificado con dosis de 20ppm fue de 43%.

Sin embargo a pesar de no tener resultados satisfactorios se debe tener en cuenta que esto solo se está evaluando la etapa de coagulación floculación, y que con un proceso posterior de filtración se podría obtener mejores resultados.

Otra condición que se debe tener en cuenta dado los resultados obtenidos es el pH, ya que haciendo una variación en este se podría cambiar los efectos en la coagulación.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se extrajo y se modifico el almidón de plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) para determinar su posible uso como coagulante en el tratamiento de potabilización de aguas en donde dio resultado máximo de 43% de poder coagulante usando dosis de 25%ppm de almidón modificado gelificado.
- Durante el proceso de extracción del almidón nativo se obtuvo un rendimiento de 42,47%, a partir del mismo se obtuvo un porcentaje de 80% de almidón modificado.
- Los tratamientos denominados como mejores fueron 15 ppm para el alumbre, 15ppm para almidón nativo y 25ppm para almidón modificado, ya que presentaron mejor remoción de turbidez y color.
- El análisis estadístico multifactorial arrojó que no hubo diferencia significativa en cuanto a la turbidez y el pH, y mediante el análisis estadístico simple se concluyó que no hubo diferencias significativas entre un tratamiento y otro para la dureza y el pH.
- Dado los resultados se determino que no existe la necesidad de modificar el almidón ni de gelificarlo, ya que son pocas las diferencias estadísticas entre un tratamiento y otro para la mayoría de las variables de respuesta.
- La DQO y la carga bacteriana se tuvieron una relación directa. El almidón nativo obtuvo una DQO más baja con respecto al modificado.

En términos generales el almidón de plátano cuatro filos (*Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe*) resulto con un poder coagulante bajo, por lo cual es necesario realizar estudio en donde se utilice con coadyuvantes en mezclas con coagulantes, o realizar otro tratamiento posterior al de floculación coagulación que permita una mayor remoción de color y turbidez en el agua.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar.M.; . Sáez, J.; Lloréns, M.; Soler, A.; Ortuño, JF .; .Meseguer, V.; Fuentes, A.(2005) *Improvement of coagulation–flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid*. Chemosphere v.58, n.1, 47–56p.

Amuda, AS y Amoo, IA. (2007). *Coagulación / floculación proceso y acondicionamiento de lodos en la bebida industrial tratamiento de aguas residuales*. Diario de Materiales Peligrosos.v.141, n.3 , 778-783p.

Bello, L.; Contreras, S.; Romero, R.; Solorza, J.; Jiménez, A. (2002.).*Propiedades químicas y funcionales del almidón de plátano musa paradisiaca L.(var macho)*.Agrociencia v.36 n.2, 169-180p.

Bolto, B. (1995).*Los polímeros solubles en agua purificación*. Prog Polym Sci, v.20, 987-1041p.

Bolto, B.; Gregory, J. (2007).*Polielectrolitos orgánicos en el tratamiento de aguas*.Water Res., v.4, 2301-2324p.

Bratby, J. (2007).*La coagulación y floculación en el agua y tratamiento de aguas residuales*. (2^a ed.) IWA Publishing.

Brian Bolto B, y Gregory J. (2007). *Review Organic polyelectrolytes in water treatment*. Water Research. v.41, n.11, 2301–2324p.

Carmona, R.; Sanchez, M.; Guadalupe Méndez-Montevalvo.; Garza, B.; Pérez, L.(2007). *Effect of the cross-linked reagent type on some morphological, physicochemical and functional characteristics of banana starch (Musa paradisiacal*. Carbohydrate Polymers v.76, n.1, 117–122p.

Crini, G.(2007). *Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment*. Progress in Polymer Science. v.0, n.1, 38–70p.

CORPOICA (*Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*). (2012). Variedades de plátano.

DEFENSORIA DEL PUEBLO. (2010). Informe de Seguimiento a la Calidad del Agua 2010

Deulofeutt, J.; Ortiz, R .Determinación del coeficiente de transferencia de masa durante la fritura de trozos de plátano cuatro filos (*Musa abb del subgrupo Silver bluggoe*).Trabajo de grado. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería; (2012)15-21p.

Franceschia M., Girou, A.;Carro-Díaz, AM.; Maurette, MT.(2002)*Optimización del proceso de coagulación-floculación de agua cruda por el método de diseño óptimo*.Agua Res., 36 , 3561-3572p.

Fundación Produce De Guerrero, Ac.El Plátano Introducción. México. Agenda De Innovacion.2012. 248-249p.

Guida,M.; Mattei M;. Rocca, CD, Mellus, G.; S, Meriç.(2007).*Optimización de alum-coagulation/flocculation para la DQO y SST eliminación de cinco aguas residuales municipales*. Desalinización, 211), 113-127p.

Ismail, I.; Fawzy, A.; M. Abdel-Monem, N.;Mahmoud, M.; Mohamed A. Halwany, E.(2012). *Combined coagulation flocculation pre treatment unit for municipal. Wastewater*.Journal of Advanced Research.v. 3, n.4, 331–336p.

Kim, SH.; Luna, BH.; Lee, HL.(2001).*Efectos del pH y la dosis de la eliminación de contaminantes y la estructura de flóculos durante la coagulación*. Microchem. J., 68 , 197-203p.

López, O. *Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de Almidón*. Tesis doctoral. La Plata: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de ciencias exactas;(2012).4-8p.

Laines, J.; Goñi, JA; Adams Schroeder, RH.;Camacho W.(2008). *Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario*. Interciencia. v.33 n.1, 22-28p.

Martínez, J.; Gonzalez, L.*Evaluación del poder coagulante de la tuna (opuntia ficus indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas*. Trabajo de grado. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería; (2012) 49-84p.

Mazzeo, M.; Alzate, A.; Marín. (2008).*Obtención de almidón a partir de residuos de postcosecha de plátano Dominico Hartón (Mussa AAB Simmonds)*.vector v.3, 57-69p.

MIFIC (*Ministerio De Fomento, Industria Y Comercio*), Mayo (2012).Producción mundial de plátano.

Mukherjee, M.; Swami, A.; Ramteke, DS.; Mogue, CA.; Sarin, R. (2004) *Papel de coagulantes convencionales y no convencionales con y sin polielectrolito en el tratamiento de las aguas residuales de refinería*. Contami Res., v.23, 417-426p.

Ortega, J.;Laines, J.; Aparicio, M.; Trápala. *Almidón modificado de plátano: Posible uso en el tratamiento de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios*.87-94p.

Palencia G, Gómez R, Martín Je. Manejo Sostenible Del Cultivo del Plátano: Ecología Del Cultivo. Bucaramanga. Editorial Produmeditas.2006; 8-10p.

Rivas, M.; Méndez–Montealvo, M.; Sánchez, M.; Núñez, M.; Bello, L.(2008). *Caracterización morfológica, molecular y fisicoquímica del almidón de plátano oxidado y lintnerizado*. Agrociencia v.42 n.5 487-497p.

Rodríguez, C. Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. Trabajo de grado. Montería. Universidad de Sucre. Facultad de ingeniería; (2008) 14- 18 p.

Solís, R.; Laines, J. y Hernández Jr. (2012). *Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales*. Int. Contam. Ambie.v. 28 n.3 229-236p.

Sylvio Belalcázar Carvajal, Ph. D. El cultivo del plátano en altas densidades de siembra Una nueva concepción tecnológica de producción. Instituto colombiano agropecuario, ICA Programa de plátano y banano, Armenia,(2012)

Szyguła, A.; Guibal, E.; Palcain, M.; Ruiz, M.; Sastre, A.(2009). *La eliminación de un colorante aniónico (Acid Blue 92) por coagulación-floculación usando quitosano*. Diario de Gestión Ambiental.v.90, n.10, 2979-2986p.

Tatsi, A.; Zouboulis, I.; Matis, KA; Samaras, P.(2003). *Coagulation–floculation pretreatment of sanitary landfill leachates*. Chemosphere.v. 53, n.7, 737–744p.

Torrado, M. Castaño, J. (2009). *Incidencia de nematodos en plátano en distintos estados fenológicos*. Agron. colomb. v.27 n.2

Tzfati E.; Sein, M.; Rubinov, A.; Raveh, A.; Bick A. (2011). *Pretreatment of wastewater: Optimal coagulant selection using Partial Order Scaling Analysis (POSA)*. Journal of Hazardous Materials.v.190, n.1–3, 15, 51–59p.

Zamudio, P.; Vargas, A.; Gutiérrez, F.; Bello, L. (2009). *Caracterización fisicoquímica de almidones doblemente modificados de plátano*. Agrocienca 44: 283-295p.

Zhang, P.; Whistler, RL.; JaBeMiller, JN.; Hamaker, BR.(2004). *Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review*. Carbohydrate Polymers.v.59, n.4, 443–458p.

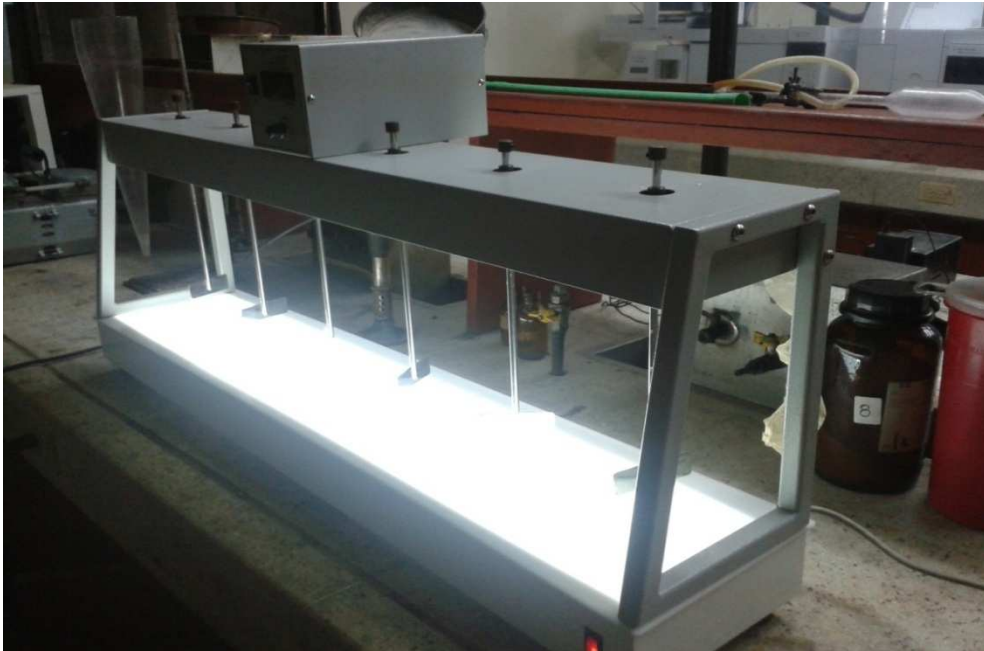
ANEXOS

Figura 4. Platano cuatro filos



Fuente: Los autores

Figura 5. Floculador utilizado para la prueba de jarras.



Fuente: Los autores

Figura 6. Prueba de jarras para agua con alumbre



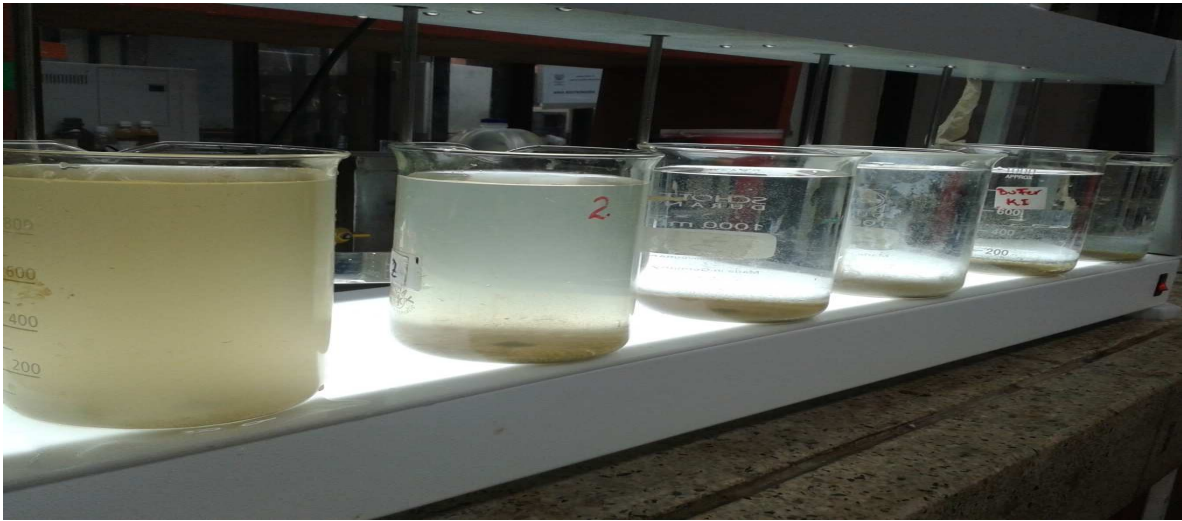
Fuente: Los autores

Figura 7. Formacion de flocs en prueba de jarras para agua con alumbre



Fuente: Los autores

Figura 8. Resultados de prueba de jarras de agua con alumbre



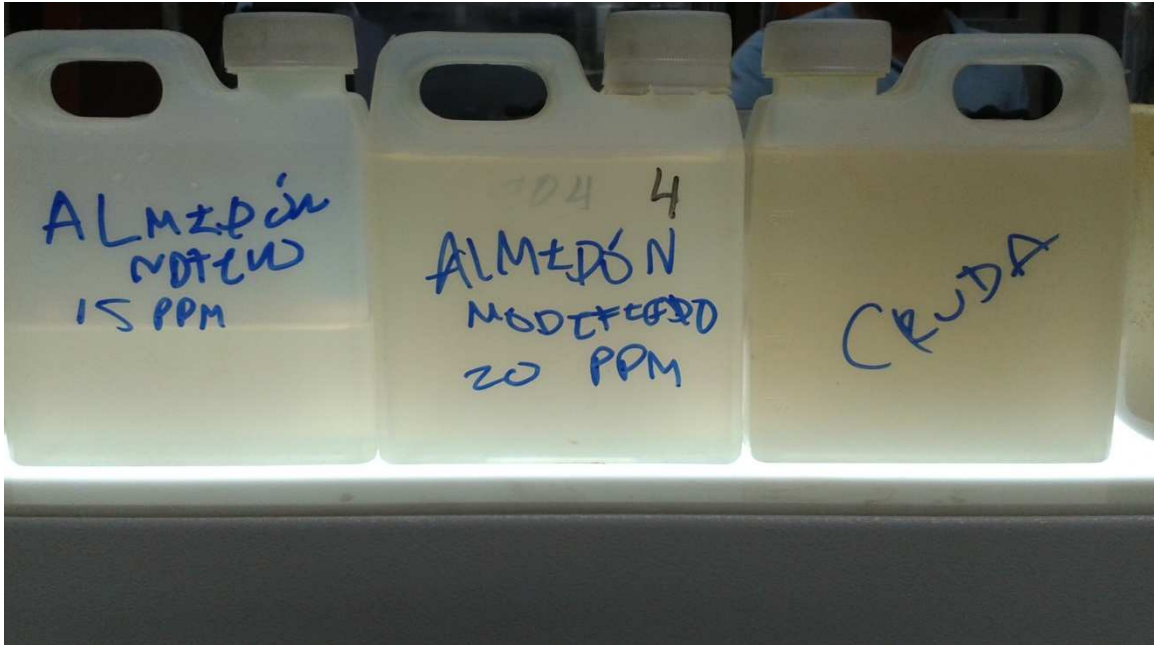
Fuente: Los autores

Figura 9. Resultado de prueba de jarras para almidón nativo sin gelificar



Fuente: Los autores

Figura 10. Muestras con mejores resultados para alumbre, almidón nativo y almidón modificado sin gelificar.



Fuente: Los autores

Figura 11. Muestras de agua cruda, agua mas alumbre, almidón nativo y modificado



Fuente: Los autores

Figuran 12. Almidón nativo



Fuente: Los autores