



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“OBTENCIÓN DEL POLISACÁRIDO (Almidón) DE LA
CÁSCARA Musa Paradisiaca L., COMO COAGULANTE
NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DEL RÍO MONJAS.”**

Realizado por:

FANNY INDALICIA PACA TELENCHANO

Director del proyecto:

Msc. Walberto Gallegos

Como requisito para la obtención del título de:

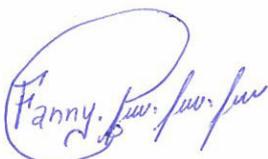
MASTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 7 de marzo de 2018

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, FANNY INDALICIA PACA TELENCHANO, con cédula de identidad # 060387110-4, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA Y CEDULA
060387110-4

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:
**OBTENCIÓN DEL POLISACÁRIDO (Almidón) DE LA CÁSCARA *Musa Paradisiaca*
L., COMO COAGULANTE NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DEL RÍO
MONJAS.**

Realizado por:
FANNY INDALICIA PACA TELENCHANO

como Requisito para la Obtención del Título de:
MASTER EN GESTION AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor
WALBERTO GALLEGOS

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Walberto Gallegos', is written over a horizontal line.

FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Msc. IVONNE CARRILLO

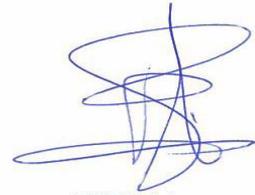
Ph.D. PABLO CASTILLEJO

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



FIRMA

Msc. IVONNE CARRILLO



FIRMA

Ph.D. PABLO CASTILLEJO

QUITO, 5 de Marzo del 2018

DEDICATORIA

A mis padres Juan y María, mis hermanos Diego y Manuel, mis hermanas Gloria, Manuela, Lucia, Flor, por su apoyo en todo momento y por desearme siempre mis triunfos en mis estudios.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi director del trabajo de titulación Walberto Gallegos, a mis revisores Ivonne Carrillo, Johanna Medrano y Pablo Castillejo por el apoyo, dedicación y consejos que han permitido llevar a buena escala este trabajo.

A los profesores de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK, por su dedicación para transmitirnos sus conocimientos.

¡Gracias!

7/3/18 6:55:49 a.55.p.55.

Para ser sometido a: *Revista Iberoamericana de Polímeros*.

To be submitted to: *Iberoamerican Polymer Magazine*.

OBTENCIÓN DEL POLISACÁRIDO (Almidón) DE LA CÁSCARA *Musa Paradisiaca L.*, COMO COAGULANTE NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DEL RÍO MONJAS.

Título en inglés

OBTAINING THE POLYSACCHARIDE (Starch) FROM THE *Musa Paradisiaca L.* SHELL, AS A NATURAL COAGULANT FOR THE TREATMENT OF THE MONJAS RIVER.

Fanny Paca¹ & Walberto Gallegos^{2*}

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: fannypaca27@gmail.com

²Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: walberto.gallegos@uisek.edu.ec.

- Autor de correspondencia: Msc. Walberto Gallegos.
walberto.gallegos@uisek.edu.ec.

Obtención de polisacáridos amilosa como coagulante natural.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general:	3
Objetivos específicos:	3
Hipótesis.....	4
MATERIALES Y MÉTODOS	4
Área de estudio.....	4
Extracción del almidón.....	4
Caracterización del almidón y amilosa de la cáscara de la <i>Musa paradisiaca L.</i>	7
Caracterización del agua a tratar.	8
Determinación de la eficiencia del coagulante amilosa	8
Comprobación estadística de la hipótesis.....	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
Rendimiento de la extracción del polisacárido almidón	9
Caracterización del almidón de la cáscara del plátano seda, en estado verde.....	9
Proceso productivo de amilosa.....	11
Caracterización de la amilosa.....	11
Caracterización del agua cruda del Rio Monjas.....	12
Determinación de la eficiencia de las soluciones coagulantes.....	12
Eficiencia del policloruro de aluminio y sulfato de aluminio en la clarificación del agua.....	13
Índice de Willcomb (I. W.)	14
Eficiencia de la amilosa en la clarificación del agua.	16
Análisis Comparativo entre policloruro de aluminio vs la mezcla amilosa/policloruro de aluminio.....	20
Análisis Comparativo entre sulfato de aluminio vs la mezcla amilosa/sulfato de aluminio....	21
Análisis Comparativo de los cinco tratamientos de las soluciones coagulantes.....	22
CONCLUSIONES	24
RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFÍA.....	26

ANEXOS.....	28
-------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción y rendimiento de plátano en el Ecuador, adaptado de INEC - ESPAC.,2016.	1
Figura 2. Diagrama de flujo para la extracción del almidón de la <i>Musa paradisiaca L.</i> , adaptado de Flores-Gorosquera et al., (2004)	5
Figura 3 Diagrama de flujo para el proceso de extracción de amilosa, adaptado de Campos & Di Bernardo, (1991).	6
Figura 4. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución de policloruro de aluminio para diferentes valores de turbidez inicial.....	13
Figura 5. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución de sulfato de aluminio, para diferentes valores de turbidez inicial.....	15
Figura 6. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución amilosa para diferentes valores de turbidez inicial.....	16
Figura 7. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución amilosa y solución de policloruro de aluminio, para diferentes valores de turbidez inicial.	18
Figura 8. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución amilosa y solución de sulfato de aluminio, para diferentes valores de turbidez inicial.	19
Figura 9. Análisis Bar chart/box plot de turbidez entre PAC y mezcla amilosa/PAC.....	21
Figura 10. Análisis Bar chart/box plot de turbidez entre sulfato de aluminio y mezcla amilosa/sulfato de aluminio.	22
Figura 11. Análisis Bar chart/box plot de turbidez de los tratamientos.	23
Figura 12. Prueba comparativa de Kruskal-Wallis entre los tratamientos.	24
Figura 13. Ubicación de la parroquia de Pacto. Fuente: Google earth, 2017.....	28
Figura 14. Ubicación del punto de muestreo del río Monjas	28
Figura 15. Fécula del plátano seda	29

Figura 16. Color de la fécula del plátano seda.	29
Figura 17. Forma del almidón en el microscopio óptico.....	29
Figura 18. Proceso de Gelatinización del almidón.....	29
Figura 19. Amilosa luego del centrifugado	29
Figura 20. Prueba con Lugol de amilosa.....	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normativa y/o metodología aplicada para determinar almidón y amilosa.	7
Tabla 2. Normativa y/o metodología aplicada para caracterizar el agua del río Monjas.	8
Tabla 3. Características fisicoquímicas del almidón de la <i>Musa paradisiaca L.</i>	10
Tabla 4. Resultados de las características fisicoquímicas de la amilosa.....	11
Tabla 5. Resultados de las características del agua cruda del río Monjas.....	12
Tabla 6. Parámetros evaluados.....	12
Tabla 7. Efectividad del Policloruro de aluminio.	14
Tabla 8. Efectividad del Sulfato de aluminio.....	15
Tabla 9. Efectividad de la amilosa	17
Tabla 10. Efectividad de la amilosa & policloruro de aluminio.	18
Tabla 12. Efectividad de la amilosa & Sulfato de aluminio.....	20
Tabla 13. Ensayo con diferentes dosis para Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$	30
Tabla 14. Ensayo con diferentes dosis para Policloruro de Aluminio	31
Tabla 15 Ensayo con diferentes dosis para Amilosa.....	31
Tabla 16. Ensayo con diferentes dosis para Amilosa & PAC.....	33
Tabla 17. Ensayo con diferentes dosis para Amilosa & Alumbre.	34

Resumen.

Se obtuvo el polisacárido amilosa de la cáscara de plátano seda (*Musa Paradisiaca L.*), que se usó como coagulante para clarificar el agua del río Monjas, con el cumplimiento de la norma NTE INEN 1108 requisitos para agua de consumo humano. Ecuador es un país de producción de plátano cuyo principal subproducto es su cáscara, está representa 391800 Tm/ha y se la considera rica en almidones. Un grupo de agentes coagulantes naturales son los polisacáridos. El almidón es la mezcla de dos polisacáridos con altos contenidos de amilosa y amilopectina. El agua caliente entra en el gránulo de almidón y solubiliza la amilosa, esta se hincha, hidrata, pierde la estructura granular y las moléculas de amilosa salen de manera irreversible, en el proceso conocido como gelatinización. De 3,64 kg de cáscara de la *Musa paradisiaca L.*, se extrajo 93,39 gramos de almidón mediante el método de extracción húmeda de Flores-Gorosquera et al., (2004). Del almidón se extrajo amilosa con la metodología modificada de Campos & Di Bernardo, (1991). Se caracterizó la solución coagulante de amilosa mediante procesos físicoquímicas los parámetros de solubilidad, densidad, pH, color aparente y olor. Para determinar su efectividad se realizó pruebas de jarras y se determinaron parámetros de turbidez, color aparente, pH, conductividad y sólidos suspendidos totales. La solución coagulante de amilosa por sí sola no resulta ser eficiente alcanza un porcentaje de remoción de 75,8% con 600 ppm, pero resulta ser adecuado como mezcla coagulante obteniéndose una eficiencia de remoción de turbiedad de 98,4 % con valores de 810 ppm de amilosa y 70 ppm de policloruro de aluminio. Con 810 ppm de amilosa y 120 ppm de sulfato de aluminio se obtuvo 98,2 % de remoción de turbidez, demostrándose que las mezclas coagulantes a base de aluminio y amilosa tienen un potencial coagulante para aguas con alta turbidez. Además, ambientalmente mitiga desechos de la industria del plátano y ofrecer un valor agregado a esta fruta.

Palabras clave: *coagulante natural, plátano seda, almidón, amilosa, amilopectina, policloruro de aluminio.*

Abstract.

The polysaccharide amylose was obtained from the silk banana peel (*Musa Paradisiaca L.*), which was used as a coagulant to clarify the water of the Monjas River, with compliance with the NTE INEN 1108 standard for water for human consumption. Ecuador is a country of banana production whose main by-product is its shell, it represents 391800 tons / ha and it is considered rich in starches. A group of natural coagulating agents are polysaccharides. Starch is the mixture of two polysaccharides with high amylose and amylopectin contents. The hot water enters the starch granule and solubilizes the amylose, it swells, hydrates, loses the granular structure and the amylose molecules exit irreversibly, in the process known as gelatinization. Of 3.64 kg of husk of the *Musa paradisiaca L.*, 93.39 grams of starch were extracted by the wet extraction method of Flores-Gorosquera et al., (2004). Amylose was extracted from the starch with the modified methodology of Campos & Di Bernardo, (1991). The coagulant solution of amylose was characterized by physicochemical processes, the parameters of solubility, density, pH, apparent color and odor. To determine its effectiveness, jars tests were performed and turbidity parameters, apparent color, pH, conductivity and total suspended solids were determined. The coagulant solution of amylose alone does not turn out to be efficient, reaching a removal percentage of 75.8% with 600 ppm, but it turns out to be suitable as a coagulant mixture, obtaining a turbidity removal efficiency of 98.4% with values of 810 ppm of amylose and 70 ppm of aluminum polychloride. With 810 ppm of amylose and 120 ppm of aluminum sulfate, 98.2% of turbidity removal was obtained, demonstrating that coagulant mixtures based on aluminum and amylose have a coagulant potential for waters with high turbidity. In addition, environmentally mitigate waste from the banana industry and offer added value to this fruit.

Key words: *natural coagulant, silk banana, starch, amylose, amylopectin, aluminum polychloride.*

INTRODUCCIÓN

En el año 2015 la tasa de morbilidad en Ecuador por enfermedades y condiciones relacionadas con el agua a nivel nacional fue de 22,67 % (INEC, 2015). Las plantas de tratamiento de agua potable utilizan coagulantes y floculantes inorgánicos que pueden acarrear problemas de salud si no son utilizados adecuadamente. (Carrasquero et al., 2017)

El sulfato de aluminio es uno de los coagulantes más utilizados debido a su efectividad, sin embargo, se ha revelado que si no es controlado adecuadamente podría dejar en el agua tratada cierta cantidad de aluminio residual poniendo en peligro la salud del ser humano concerniente con enfermedades neurodegenerativas (Freitas et al., 2015). El autor Flaten (2001) citado por Guzmán et al., (2013) evidencia a los coagulantes PAC (policloruro de aluminio) con el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer en los seres humanos, por la presencia de aluminio residual en el agua potable tratada.

Ecuador es el primer exportador de plátano a nivel mundial y el cuarto país de producción de plátano, cuyo principal subproducto del proceso industrial del plátano es la cáscara que representa aproximadamente el 30% del peso del fruto. (Blasco y Gómez, 2014)

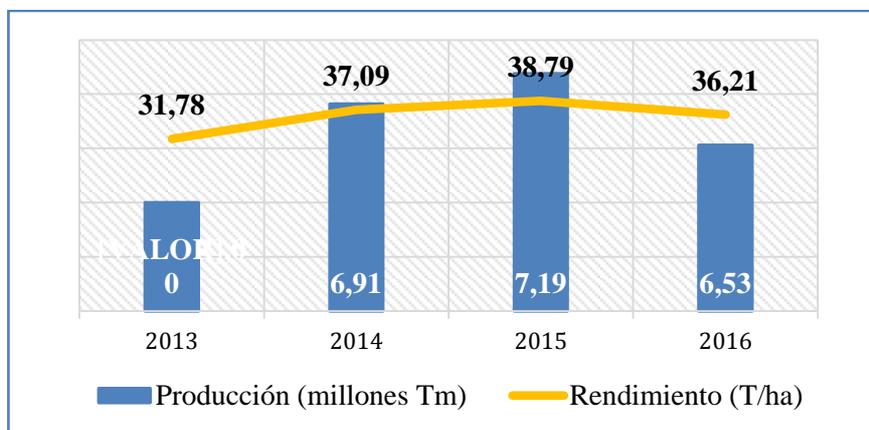


Figura 1. Producción y rendimiento de plátano en el Ecuador, adaptado de INEC - ESPAC.,2016.

La producción del plátano en el año 2016 fue de 6,53 millones Tm con un rendimiento de 36,21 Tm/ha (INEN, 2016). En este punto radica el desperdicio en un 10% a 20% que es desechado por no cumplir con los estándares de calidad, de acuerdo a este dato y tomando el valor más alto, se conseguiría un 1306000 Tm/ha de desperdicio y solo de cáscara 391800 Tm/ha como una oportunidad para industrializarse para la obtención de coagulante.

La presente investigación enfoca al estudio del polisacárido soluble del plátano seda (*Musa paradisiaca L.*), también conocido como banano, banana, plátano, cambur, topocho y guineo. Como una alternativa para mitigar los desechos de las actividades industriales del plátano especialmente en la región Costa, se sugiere extraer un coagulante natural como un recurso en el tratamiento para clarificar aguas superficiales con fines para consumo humano.

Los autores Ramírez y Jaramillo, (2015) mencionan que el uso de coagulantes naturales obtenidos a partir de especies de plantas y semillas son seguros para la salud humana en el proceso de potabilización de las aguas debido a que tienen propiedades coagulantes y antimicrobianas.

Los autores Kakoi et al. (2016) citado por Bravo, (2017) han realizado estudios utilizado en forma de polvo de la médula de plátano para la coagulación de muestras de aguas de ríos con altos índices de contaminación mediante la prueba de jarra con la Normativa ASTM D2035. El agente coagulante activo son los polisacáridos y la médula de plátano es un polielectrolito natural el cual interacciona con los contaminantes del agua generalmente por los mecanismos de coagulación: neutralización de la carga y puente entre partículas. Estudios realizados evaluaron la médula del plátano como una alternativa a los agentes de coagulación de metales convencionales. (Bravo, 2017)

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero pueden contener agua al aumentar la temperatura, cuando el gránulo alcanza esta temperatura pierde su birrefringencia, la amilosa se difunde hacia el agua y la amilopectina queda dentro del gránulo para finalmente perder su estructura, formar una malla y produce un gel. En general la solubilización de las moléculas de almidón, el hinchamiento e hidratación y la pérdida de la estructura granular son colectivamente definidos por el término gelatinización. (Canónico, 2003)

Los polisacáridos (almidón) conforman aproximadamente el 20% en la fruta fresca. El almidón es la mezcla de dos polisacáridos: el contenido de amilosa y amilopectina, varían en cantidad dependiendo de la especie proveniente. (Guadrón, 2013)

La amilosa o almidón lineal, consta de unas 200 glucosas con enlaces entre el carbono 1 de una glucosa y el 4 de la siguiente. Es insoluble en agua y sólo se solubiliza en condiciones drásticas como altas temperaturas o rompiendo los puentes de H con álcalis. Se dice que algunas veces se comporta como la amilopectina debido a moléculas que se modifican, por lo

que confiere características fisicoquímicas como la tendencia a producir geles más firmes y claros. El peso molecular de esta estructura oscila de una orden de un millón y su porcentaje en almidones se encuentra entre 15% y 20%, su estructura es helicoidal no ramificada, responsable del color que adquiere con el yodo (coloración azul).(Guadrón, 2013)

La amilopectina o almidón ramificado son unidades de glucosa unidos por enlaces α (1-4) en las cadenas y por enlaces α (1-6) en los puntos de ramificación, estas ramificaciones se localizan aproximadamente en cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente, se hidrata muy mal en agua fría, pero cuando son sometidas al calor pueden formar soluciones viscosas. Se encuentra entre un 80 y 85% en el almidón, dando como resultado un peso molecular entre 10 millones y 500 millones (Hernández-Medina et al., 2008). La amilopectina pura no da color azul con el yodo, pero da un débil color entre naranja y amarillo. (Guadrón, 2013)

Según la SFN Floerger los polímeros se clasifican de acuerdo al peso molecular:

- bajo peso molecular: de 1 a 3 millones
- peso molecular medio: de 3 a 6 millones
- peso molecular estándar: de 6 a 10 millones
- alto peso molecular: de 10 a 15 millones
- muy alto peso molecular: mayor que 15 millones. (Floerger, 2017)

El peso molecular de la amilosa fluctua de un millón, por lo que esta dentro de la clasificación de polimeros de bajo peso molecular y la amilopectina por su mayor peso molecular esta dentro de la clasificación de muy alto peso molecular.

Bajo este contexto se han planteado los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Obtener el polisacárido (almidón) de la cáscara *Musa paradisiaca L.*, como coagulante natural para el tratamiento del Río Monjas.

Objetivos específicos:

Obtener la amilosa a partir del almidón del plátano seda en estado verde, con la extracción húmeda, para la utilización como coagulante.

Caracterizar el polisacárido amilosa con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN, para la comparación de las propiedades físico químicas con estudios verificados.

Evaluar la efectividad del coagulante natural amilosa, mediante la normativa ASTM D 2035 (Jar Test) para la demostración de la eficiencia de la amilosa en el agua del río Monjas.

Hipótesis.

La hipótesis planteada para el presente trabajo es, probar si el polisacárido del plátano seda tiene la capacidad de coagular-flocular el agua del río Monjas y pueda reemplazarse o disminuir el consumo o dosificación de los coagulantes inorgánicos a base de aluminio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio.

Se utilizó plátano seda (*Musa paradisiaca L.*), de la parroquia Pacto ubicado al noroccidente de Quito (Anexo A).

Extracción del almidón

La extracción del almidón de la *Musa paradisiaca L.*, se realizó en el Laboratorio de la universidad Internacional SEK, mediante el método de extracción húmeda de Flores-Gorosquera et al., (2004)

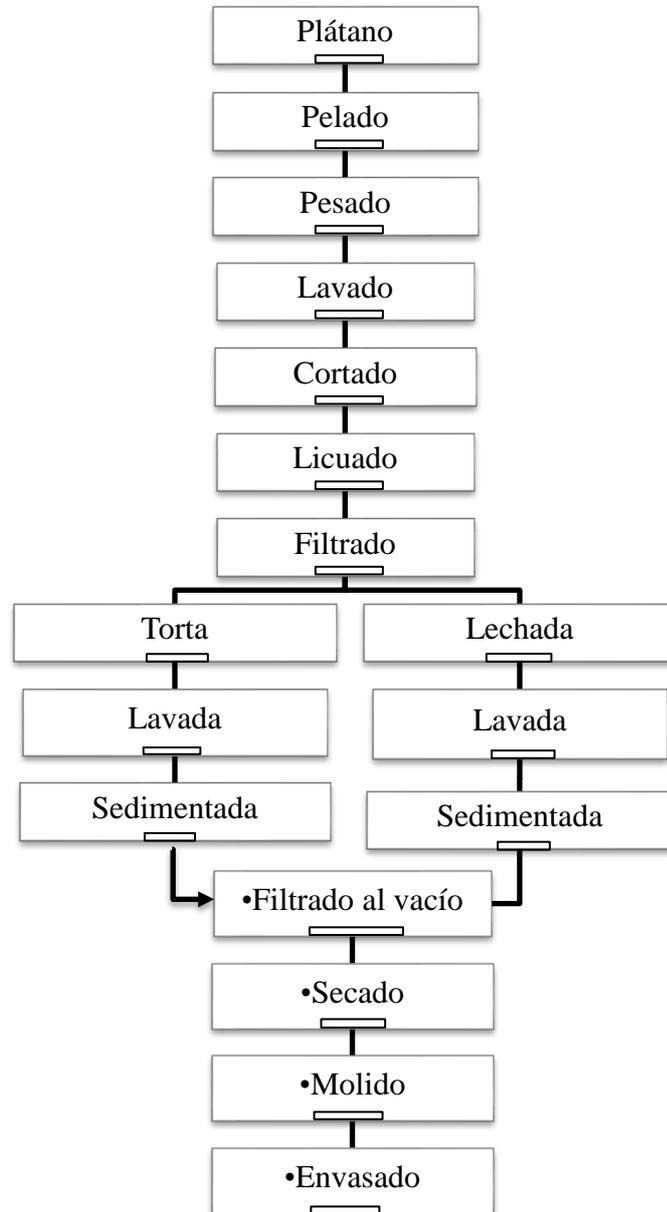


Figura 2. Diagrama de flujo para la extracción del almidón de la *Musa paradisiaca L.*, adaptado de Flores-Gorosquera et al., (2004)

Porcentaje de rendimiento del almidón.

$$\%R = \frac{PA}{PP} * 100 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

%R= Porcentaje de rendimiento de la extracción

PA= Peso del almidón seco (g)

PP= Peso de la cáscara de plátano (g)

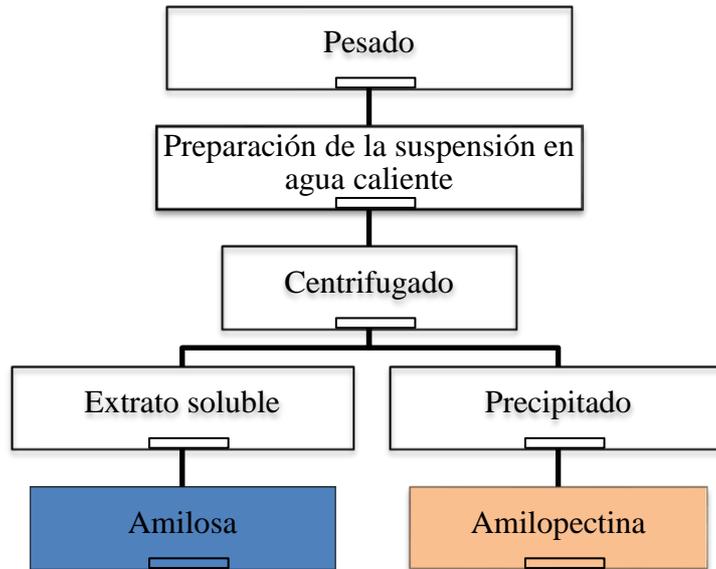


Figura 3 Diagrama de flujo para el proceso de extracción de amilosa, adaptado de Campos & Di Bernardo, (1991).

El simple tratamiento del almidón con agua caliente, permite la extracción de una sustancia soluble denominada amilosa y una parte insoluble que precipita (amilopectina). El agua caliente entra en el gránulo de almidón y solubiliza a la amilosa. El gránulo se hincha, las moléculas de amilosa salen de manera irreversible (lixiviación). Los autores Sherman & Baker (1930) efectuaron la separación de las fracciones por medio de la centrifugación de una pasta de almidón de papa preparada con agua a 85°C. Las temperaturas de gelatinización reportadas para algunos almidones son: papa: 55-66°C; trigo: 52-63°C; maíz (con 25% de amilosa) 62-72°C, arroz 66-77°C y yuca 61-71°C (Canónico, 2003). Los autores Millan-Testa et al. (2005) reportaron que la temperatura de gelatinización del almidón de plátano es 77.6 °C.

Para extraer la amilosa se disolvió 1000 mg de almidón en 100 mL de agua destilada fría en un vaso de precipitación. Se procedió a calentar la muestra hasta que alcance la temperatura de 77,6 °C con constante agitación para evitar la formación de grumos. Dejar enfriar la muestra hasta la temperatura ambiente. Finalmente realizar la centrifugación a 3000 rpm durante 30 minutos.

Inmediatamente se comprobó la presencia de amilosa (color azul) y amilopectina (color naranja) mediante la prueba de yodo, con solución de Lugol, método de Rodríguez, (1987).

Se tomó 1 mL de amilosa y se añadió 2 gota de la solución de Lugol, que no es más que una disolución de yodo molecular I_2 y yoduro potásico KI en agua destilada.

Caracterización del almidón y amilosa de la cáscara de la *Musa paradisiaca L.*

Tabla 1. Normativa y/o metodología aplicada para determinar almidón y amilosa.

Producto	Parámetro	Normativa y/o Metodología	Ecuación
ALMIDÓN	Porcentaje de humedad	NTE INEN 518	$\% \text{Humedad} = \frac{w_2 - w_3}{w_2 - w_1} * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$ Donde: w1= masa del recipiente vacío (g). w2 = masa del recipiente con la muestra antes del secado (g). W3= masa del recipiente con la muestra después del secado (g).
	Ceniza	NTE INEN 520	$\% \text{Ceniza} = \frac{w_f - w_c}{m} * 100 \quad (\text{Ecuación 3})$ Donde: wf= peso final (crisol + ceniza). wc= peso inicial (crisol vacío). m= peso de la muestra.
	Solubilidad en agua caliente.	Metodología modificada de Anderson et al. (1969).	$X \text{gramos de soluto} = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_3} * 100 \text{g solvente} \quad (\text{Ecuación 4})$ Donde: M1=Masa de la cápsula vacía M2=Masa de la cápsula + solución M3=Masa de la cápsula + soluto
	pH	NTE INEN-ISO 1842:2013	-
	Color	Pantone Colours	-
	Olor	Evaluación sensorial	-
	Forma vista en el microscopio óptico	Microscopía óptica de Salas J. (2007)	-
AMILOSA	Solubilidad en agua fría	Norma estándar	-
	Densidad (g/mL),	Norma estándar	$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Ecuación 5})$ Donde: ρ: densidad m: masa V: volumen.
	pH	Standard Methods.	-
	Color aparente (Pt-Co)	Estándar APHA de platino-cobalto.	-
	Olor	Evaluación sensorial	-

Caracterización del agua a tratar.

El muestreo del agua superficial del río Monjas se realizó en las coordenadas 0°5'17.35'S, 78°29'2.99'W a una altura de 2635 m.s.n.m. (Anexo B).

Tabla 2. Normativa y/o metodología aplicada para caracterizar el agua del río Monjas.

Parámetros	Unidades	Normativa y/ o metodología
Muestreo de agua	-	NTE INEN 2169:2013
Conductividad eléctrica	uS/cm	Standard Methods.
Temperatura	°C	Standard Methods.
Turbidez	NTU	EPA 800
Color aparente y verdadero	Pt-Co	Estándar APHA de platino-cobalto, 8025
pH	-	Standard Methods.
Sólidos suspendidos totales	mg/L	Gravimétrico del Standard Methods.

Determinación de la eficiencia del coagulante amilosa

En el equipo de jarras marca Velp Scientific se determinó la efectividad de la amilosa para clarificar el agua del río Monjas, aplicando la norma ASTM D2035 – 08. Para la dosificación en un volumen de 200 mL se utilizó las siguientes ecuaciones.

$$\text{ppm} = \frac{\text{concentración de la solución} * \text{mL de producto a dosificar}}{\text{mL de producto a tratar}} * 1000000 \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$\text{mL de producto a dosificar} = \frac{\text{ppm} * \text{mL de producto a tratar}}{\text{concentración de la solución} * 1000000} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Las pruebas de efectividad de mezcla coagulante se llevaron a cabo bajo criterios comparativos con relación a los resultados obtenidos por la coagulación lograda con el sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ grado comercial conocido también como alumbre y el policloruro de aluminio (PAC) grado reactivo.

La eficiencia del coagulante PAC, alumbre, amilosa, mezcla amilosa/PAC, amilosa/mezcla sulfato de aluminio fue determinada mediante el porcentaje de remoción de turbidez de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$AC = \frac{t_i - t_f}{t_i} * 100\% \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

AC: actividad coagulante.

ti: Turbidez inicial

tf: Turbidez final

Se realizaron varios ensayos de pruebas de jarra hasta hallar la efectividad de la amilosa. La amilosa utilizada en los ensayos de coagulación fue pre-gelatinizada mediante calentamiento.

Análisis estadístico comparativa.

Para la comprobación de la hipótesis los datos se analizaron a través del estadístico de prueba Kruskal-Wallis al 95% de confianza, para determinar si la turbidez del coagulante sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, amilosa, la mezcla amilosa/PAC y amilosa/alumbre son diferentes estadísticamente. Para lo cual se usó el programa Past versión 3.06.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de la extracción del polisacárido almidón

Se obtuvo el polisacárido almidón en polvo de una cantidad de 3,64 kg de cáscara de la *Musa paradisiaca L.*, obteniéndose 93,3983 gramos de almidón (Anexo C). Mediante el método de extracción húmeda de Flores-Gorosquera et al., (2004) que consiste en operaciones unitarias sencillas como triturado, lavado, secado y tamizado los cuales no representan un alto costo.

Se obtuvo un rendimiento de 2,56% de almidón en base húmedo, este dato se calculó mediante la Ecuación 1.

$$\%R = \frac{93,3983g}{3640g} * 100$$

Según los autores Lambis et al.,(2016) el rendimiento del proceso de extracción húmeda varió entre 2 y 2,5 % en base húmeda de almidón a partir de residuos de pieles de plátano. Estos datos también son comparativos con los estudios realizados por Valerio, (2014), el mayor rendimiento obtenido fue de 23.54% de la pulpa *Musa paradisiaca*.

Caracterización del almidón de la cáscara del plátano seda, en estado verde.

Tabla 3. Características fisicoquímicas del almidón de la *Musa paradisiaca* L.

Características	Resultado
Humedad	10,43 %
Ceniza	0,59 %
pH	7,81
solubilidad en agua caliente	18%
Color	Leche de almendra (Ver anexo D)
Olor	Aroma propio del plátano.
Forma vista en el microscopio óptico.	Ovalada. (Ver anexo E)

Según Valerio, (2014) obtuvo 40% de porcentaje de humedad en base húmeda de la pulpa *Musa paradisiaca*. El autor Soto, (2010) indica humedad del 9,45 %, en harina del plátano verde (*Musa cavendishii*) y 5,72 % en harina de *Musa paradisiaca*. Los autores López et al., (2014) obtuvieron 11.91% de humedad para la cáscara de la *Musa paradisiaca*. Además afirma que la *Musa paradisiaca* en su proceso de maduración realiza un proceso osmótico donde el agua de la cáscara es transferida a la pulpa del fruto, por lo que su valor varía de acuerdo con el estado de maduración en que se encuentre la cáscara y las condiciones ambientales de la zona que propician este fenómeno.

El autor Valerio, (2014) obtuvo 0,84% de porcentaje de ceniza en base húmeda de la *Musa paradisiaca*.

La *Musa paradisiaca* L. de Pacto presenta un pH levemente alcalino. A diferencia de los estudios realizados por Valerio, (2014) que obtuvo un pH de 5,93 de la pulpa *Musa paradisiaca*. Los autores López et al., (2014) aseguran que en el caso de la cáscara de la *Musa paradisiaca* el pH varía de acuerdo con el grado de maduración del fruto, cuando éste se encuentra inmaduro (cáscara verde) el pH será alcalino o básico, mientras que al estar maduro (cáscara amarilla) su pH disminuye significativamente, esto se debe posiblemente a que los ácidos orgánicos disminuyen conforme se da el proceso de maduración de la fruta al transformarlos en azúcares.

Mediante la ecuación 4 se determinó la solubilidad del almidón, resultando ser soluble en un 18%. El porcentaje de solubilidad varían con respecto a los resultados presentados por los autores Ana et al., (2007) quienes caracterizaron químicamente el almidón proveniente de diversas variedades de musáceas, encontrando porcentajes de solubilidad comprendidos entre 0,80 y 3,83%. Hernández et al., (2008) mencionan que la solubilidad de los almidones aumenta conforme se incrementa la temperatura, este incremento se da a partir de los 60-70°C. Carrasquero et al., (2017) establecen que las soluciones coagulantes obtenidas a partir

de almidones tienen una baja solubilidad y el problema que presentan es que no generan compuestos solubles en agua a las temperaturas a las cuales se realizan los procesos de coagulación-floculación.

Proceso productivo de amilosa

A partir de la fécula se extrajo la amilosa que es la parte soluble del polisacárido mediante calentamiento. Se obtuvo un volumen de 70 a 80 mL de disolución amilosa. Durante los ensayos se visualizó la homogeneidad de la amilosa, se dejó en reposo durante 3 días y no hay separación de fases. (Anexo F)

La prueba con Lugol resultó un teñido color azul profundo (Anexo G). Este producto puede ser almacenada hasta por dos días después de este tiempo no se recomienda su uso, incluso cambia el teñido con Lugol de color azul a morado.

Caracterización de la amilosa.

Se caracterizó la amilosa de fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$ de acuerdo a la normativa y/o metodología de la tabla 1.

Tabla 4. Resultados de las características fisicoquímicas de la amilosa.

Características	Resultado
Solubilidad en agua fría	Miscible
Densidad (g/mL)	0,99
pH	7,36
Color aparente (Pt-Co)	74
Olor	Ninguno

No existen estudios comparativos de la densidad y pH de la amilosa de la cáscara de la *Musa paradisiaca* L, pero se evidencia investigaciones con almidones. Los valores de pH se encuentran dentro del rango reportado por los autores Carrasquero et al., (2017) obtuvieron un pH de 7,12 de solución coagulante a partir del almidón de la *Musa paradisiaca*. Existen investigaciones de los autores Villabona, Paz & Martínez, (2013) quienes reporta datos de densidad de 0,626 g/mL del coagulante en polvo extraído de la tuna. La disolución de amilosa presenta un color aparente de 74 UPt-Co, notamos que existe diferencia con los estudios de Carrasquero et al., (2017), quien obtuvo un color aparente de 20 unidades de Pt-Co de la solución almidón de la *Musa paradisiaca*. Esta diferencia podría variar al método de

obtención, Carrasquero et al., (2017) que sometió a una temperatura de 40 °C siguiendo el procedimiento utilizado por Trujillo et al., (2014).

Caracterización del agua cruda del Rio Monjas.

La tabla 5, indica los resultados de los parámetros iniciales del agua cruda del río Monjas en diferentes fechas.

Tabla 5. Resultados de las características del agua cruda del río Monjas.

Parámetros Iniciales	Unidades	16/10/2017	05/12/2017	09/01/2018
Temperatura	°C	21,2	17,6	15
Conductividad	(uS/cm)	647	772	649
pH	-	7,66	8,25	7,7
Turbidez	NTU	111	142	104
Color Aparente	Pt-Co	583	646	520
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	120	140	86

Determinación de la eficiencia de las soluciones coagulantes.

Los ensayos se llevaron a cabo en dosis de 10 a 360 ppm para el sulfato de aluminio y dosis de 10 a 120 ppm con el policloruro de aluminio. Para el análisis de cada una de las muestras fue necesaria la ejecución de aproximadamente 20-35 ensayos de pruebas de jarra para los coagulantes a base de aluminio y 79 ensayos de ("jar-test") para hallar la efectividad de la amilosa (Anexo I, J, K). Con el objetivo de conocer la efectividad con la combinación policloruro de aluminio-amilosa y sulfato de aluminio-amilosa se realizaron 109 ensayos. Por lo tanto, las conclusiones presentadas en este trabajo están basadas en los resultados de cerca de 223 ensayos de coagulación-floculación. (Anexo L, M)

Durante los ensayos se estudiaron los siguientes parámetros:

Tabla 6. Parámetros evaluados

Parámetros	Agua inicial	Agua coagulada	Agua decantada en dosis óptima
Temperatura	X		
conductividad,	X		X
pH	X	X	X
turbidez,	X	X	X
color aparente	X		X
Sólidos suspendidos totales.	X		X

Los resultados obtenidos de las pruebas de jarra fueron recopilados y seleccionados para determinar la efectividad de la amilosa se escogió la turbidez y color como parámetro de respuesta. La turbidez del agua potable no debe sobre pasar los 5 NTU y el color aparente 15 unidades Pt-Co según la NTE INEN 1108 del 2014 para la calidad del agua potable. El comportamiento del pH fue evaluado con el fin de identificar si el coagulante modificaba el pH de la muestra de agua cruda tratada.

Eficiencia del policloruro de aluminio y sulfato de aluminio en la clarificación del agua.

La figura 4, muestra todos los ensayos de jarra realizados usando el agua cruda del río Monjas con policloruro de aluminio obteniéndose como variable respuesta la turbidez a diferentes dosis.

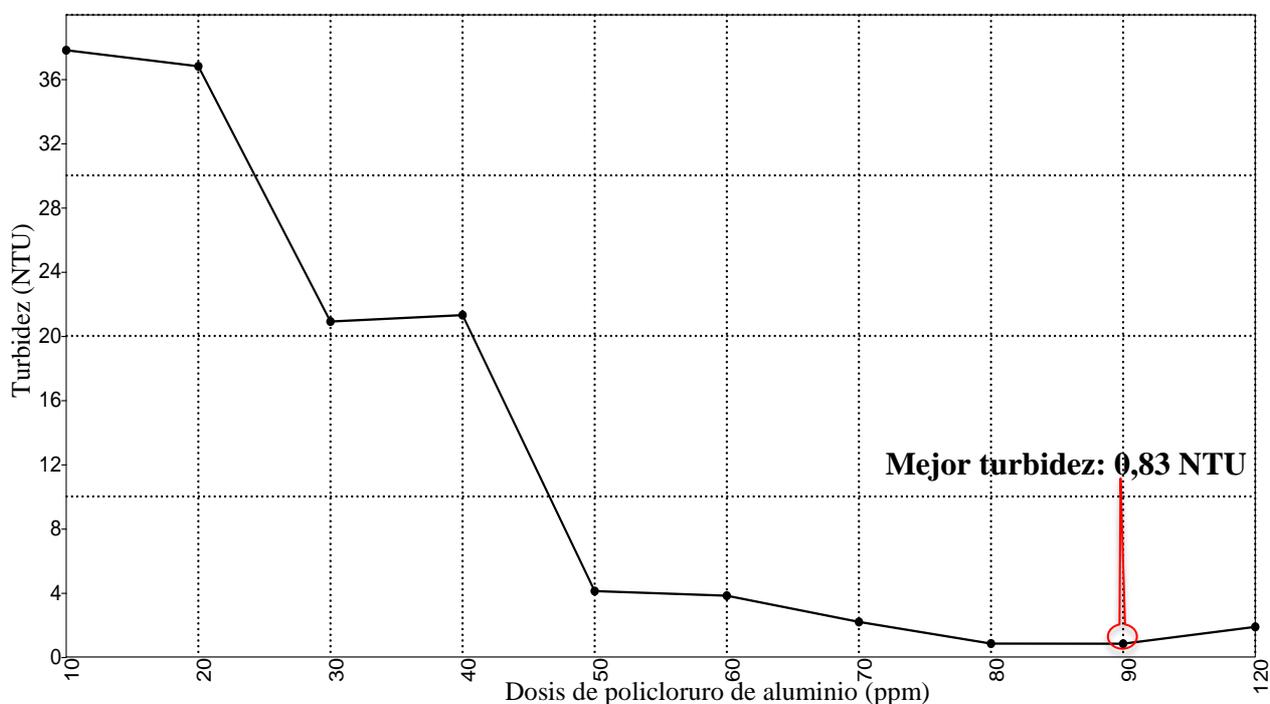


Figura 4. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución de policloruro de aluminio para diferentes valores de turbidez inicial.

Se observa que la turbidez presentó un mínimo valor de 0,83 NTU usando como dosis 90 ppm de policloruro de aluminio. La turbidez más alta fue de 37,8 NTU cuando la dosis fue de 10 ppm de policloruro de aluminio. Los mejores tratamientos se realizaron pruebas por triplicado para validar los resultados (Tabla 7).

Índice de Willcomb (I. W.)

Este parámetro se determinó con el fin de evaluar las características de flóculos que se forman en los tratamientos con los coagulantes.

0 Floc. coloidal, ningún signo de aglutinamiento.

2 Floc. visible, muy pequeño casi imperceptible.

4 Floc. disperso, bien formado sedimenta muy lento o no sedimenta.

6 Floc. claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento.

8 Floc. bueno, sedimenta fácil pero no completamente.

10 Floc. excelente, se deposita todo dejando el agua clara.

Tabla 7. Efectividad del Policloruro de aluminio.

Policloruro de aluminio (PAC)	70 ppm $\bar{X} \pm DE$	80 ppm $\bar{X} \pm DE$	90 ppm $\bar{X} \pm DE$	120 ppm $\bar{X} \pm DE$
Turbidez (NTU)	1,9 ± 0,3	1,3 ± 0,4	2,1 ± 1,4	2,3 ± 0,3
pH	8,36 ± 0,8	7,60 ± 0,1	7,59 ± 0,0	6,75 ± 0,1
Conductividad (uS/cm)	547,0 ± 105,0	594,0 ± 78,2	668,3 ± 88,3	743,3 ± 18,0
Color aparente (Pt-Co)	9,3 ± 0,6	8,0 ± 1,7	7,0 ± 1,7	8,0 ± 1,0
SST (mg/L)	0,7 ± 0,6	0,3 ± 0,6	0,3 ± 0,6	0,3 ± 0,6
% Eficiencia	98,1 ± 0,27	98,8 ± 0,40	98,0 ± 1,37	97,8 ± 0,32
I.W.	10	10	8	8

DE= desviación estándar. \bar{X} = Media

La efectividad alcanzada es decir menor a 5 NTU cuando la dosis fue de 70 a 120 ppm con policloruro de aluminio. Los resultados fisicoquímicos para color y turbidez cumplen con la norma INEN 1108:2014 para agua potable. El pH del río Monjas disminuye significativamente debido al pH del PAC (pH=3,97).

De acuerdo a la literatura el índice de Willcomb indica flóculos buenos, de tamaños grandes, redondos y agrupados durante la mezcla lenta. Al minuto de sedimentación son visibles la formación de dos fases, después de 10 minutos el 75% de los sólidos precipitan y el otro 25% sigue sedimentándose muy lentamente, hasta dejar el agua clara.

La figura 5, muestra todos los ensayos realizados con sulfato de aluminio, obteniéndose como variable respuesta la turbidez a diferentes dosis.

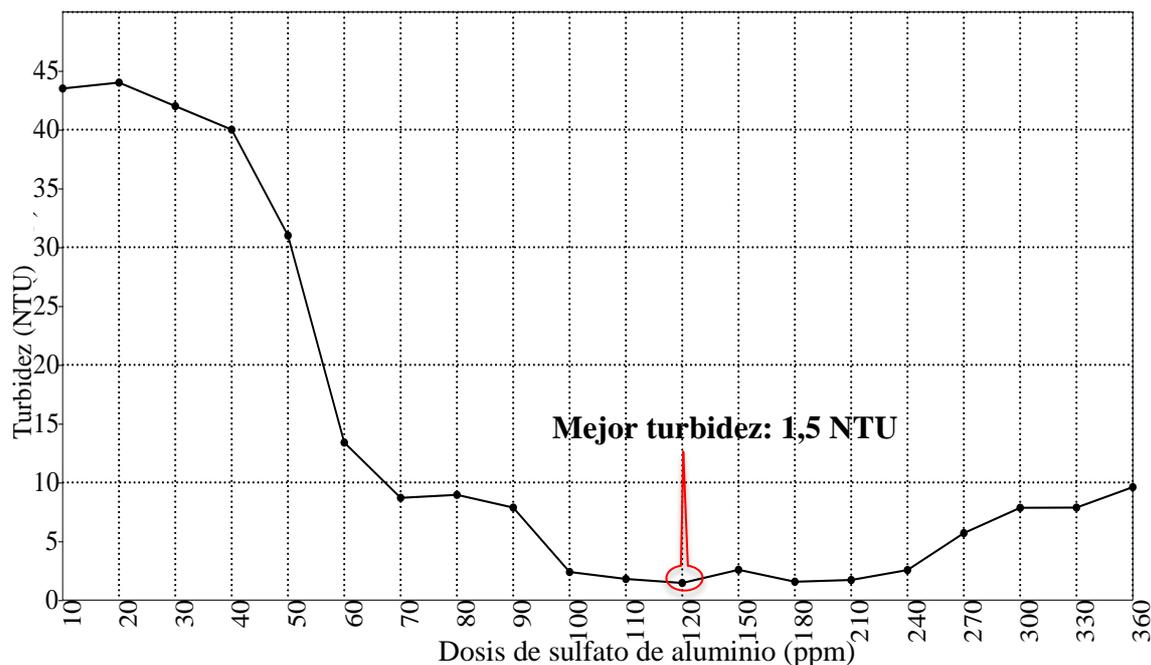


Figura 5. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución de sulfato de aluminio, para diferentes valores de turbidez inicial.

La turbidez presentó un mínimo valor de 1,5 NTU usando como dosis 120 ppm de sulfato de aluminio, mientras que el valor máximo fue de 44 NTU con dosis de 20 ppm de sulfato de aluminio.

Tabla 8. Efectividad del Sulfato de aluminio.

$(Al_2(SO_4)_3)$	120 ppm $\bar{X} \pm DE$	150 ppm $\bar{X} \pm DE$	180 ppm $\bar{X} \pm DE$	210 ppm $\bar{X} \pm DE$
Turbidez (NTU)	2,6 ± 1,4	2,9 ± 1,3	4,1 ± 1,8	3,5 ± 1,5
pH	6,9 ± 0,5	6,7 ± 0,0	6,2 ± 0,5	5,7 ± 1,1
Conductividad (uS/cm)	656,4±10,6	679,3±36,7	629,5±99,2	692,1±42,4
Color aparente (Pt-Co)	16,5 ± 9,1	14,2 ± 0,4	17,0 ± 0,4	19,8 ± 0,5
SST (mg/L)	1,7 ± 0,6	1,7 ± 0,6	2,0 ± 1,0	2,7 ± 0,6
% Eficiencia	97,5 ± 1,3	97,2 ± 1,2	96,0 ± 1,7	96,7 ± 1,4
I.W.	8	8	6	8

\bar{X} = Media ; DE= desviación estándar.

La tabla 8, indica los resultados más bajos de turbidez con sulfato de aluminio. Los resultados para color y turbidez con respecto a los que se registran en la norma INEN 1108:2014 el parámetro turbidez está dentro de los rangos de la norma. Los resultados de color no cumplen con lo establecido por la norma para agua potable, a excepción de un valor 14 U Pt-Co con 150 ppm de sulfato de aluminio que cumple con la norma.

El pH de entrada del agua cruda fue ligeramente alcalino con un promedio de 7,87. Con la dosificación de sulfato de aluminio se acidificó levemente por el pH del Alumbre (pH=3,85). Durante los 5-8 minutos de mezcla lenta el índice de Willcomb indica flóculos claros, agrupados, de tamaños medianos y grandes. Se observa dos fases al minuto de sedimentación, después de 10 minutos el 25% de los sólidos precipitan y el otro 75% sigue sedimentándose muy lentamente, hasta dejar el agua clara.

Eficiencia de la amilosa en la clarificación del agua.

La figura 6, muestra todos los ensayos realizados con amilosa a diferentes dosis usando el agua cruda del río Monjas.

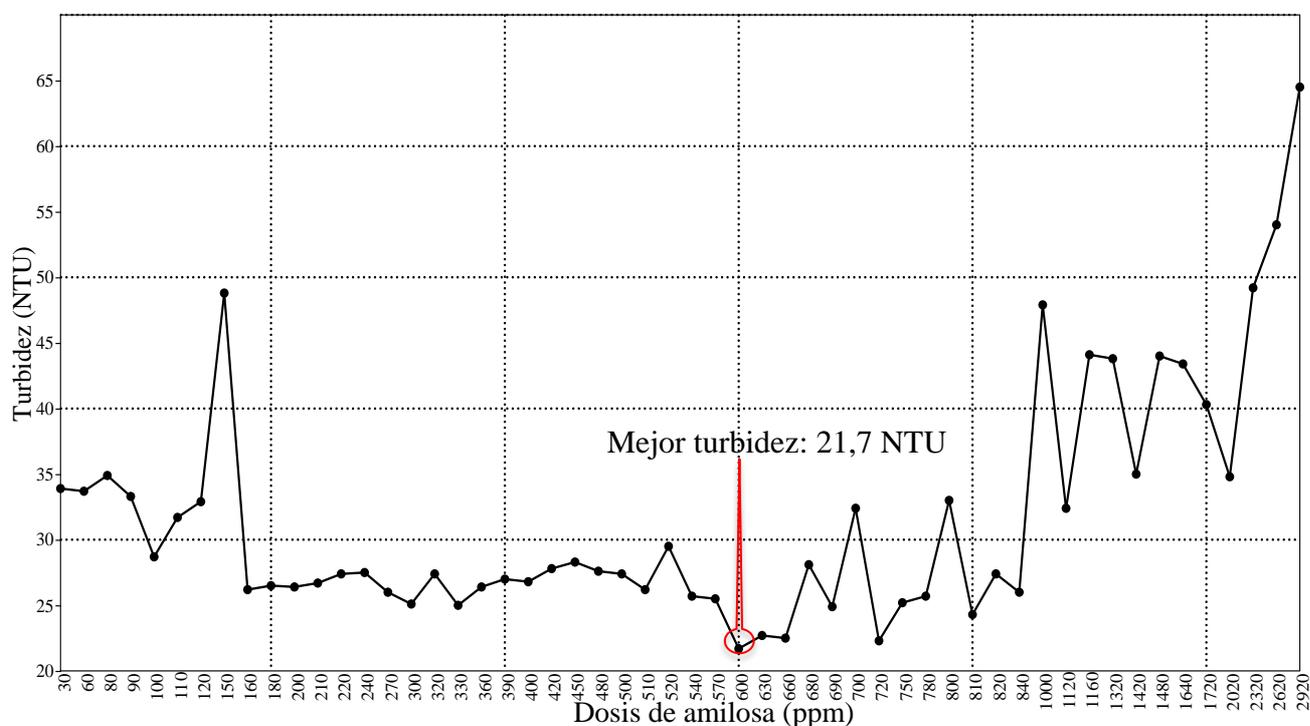


Figura 6. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución amilosa para diferentes valores de turbidez inicial.

Se observa una turbidez con un mínimo valor de 21,7 NTU usando como dosis 600 ppm de amilosa, mientras que el valor máximo fue de 64,5 NTU con una dosis de 2920 ppm de amilosa.

La tabla 9, indica la efectividad alcanzada por la amilosa evaluándose los parámetros en dosis entre 600-840 ppm.

Tabla 9. Efectividad de la amilosa

Amilosa	600 ppm $\bar{X} \pm DE$	750 ppm $\bar{X} \pm DE$	780 ppm $\bar{X} \pm DE$	810 ppm $\bar{X} \pm DE$
Turbidez (NTU)	25,2 ± 3,6	26,3 ± 2,3	27,0 ± 2,5	26,5 ± 4,1
pH	6,06 ± 0,4	7,41 ± 0,5	7,68 ± 0,4	7,80 ± 0,2
Conductividad (uS/cm)	612,1 ± 63,2	661,7 ± 15,7	662,4 ± 33,6	672,0 ± 48,5
Color aparente (Pt-Co)	72 ± 4,7	89 ± 5,8	97 ± 13,6	95 ± 3,7
SST (mg/L)	13 ± 2,9	17 ± 3,6	17 ± 3,8	18 ± 3,9
% Eficiencia	75,8 ± 3,5	74,7 ± 2,2	74,0 ± 2,4	74,6 ± 3,9
I.W.	4	2	2	4

\bar{X} = Media ; DE= desviación estándar.

Realizando una comparación de los datos obtenidos para color y turbidez con respecto a los que se registran en la norma INEN 1108:2014 ambos parámetros fisicoquímicos no cumplen con lo establecido por la norma para agua potable, los requisitos que deben cumplir son 15 unidades de Pt-Co de color aparente y para turbiedad 5 NTU.

Con la dosificación de amilosa el pH del agua del río Monjas se alcalinizó levemente por el pH de la amilosa (pH=7,36).

El índice de Willcomb indica flóculos de tamaños muy pequeños y dispersos. No se observan dos fases, después de 10 minutos de sedimentación el 25% de los sólidos precipitan y el otro 75 % sigue sedimentándose muy lentamente.

Los resultados obtenidos en esta investigación en cuanto a la remoción de turbiedad no tienen estudios comparativos con prueba de amilosa, pero si hay producción de coagulante almidón con el que se realizan test de jarra. Los autores Carrasquero et al., (2017) obtienen 99,5% de remoción de turbidez utilizando la solución coagulante de la cáscara de residuos de la *Musa paradisiaca* en el agua de 200 UNT con dosis de 25 mg/L.

Por si sola la amilosa no resulta ser tan efectiva la mejor eficiencia alcanzada es de 75,8 % de acuerdo a los resultados presentados (Tabla 9), por lo que se realizó una combinación de los coagulantes inorgánicos a base de aluminio y la amilosa. Las efectividades obtenidas a partir de la mezcla amilosa/PAC se presenta en la figura 7.

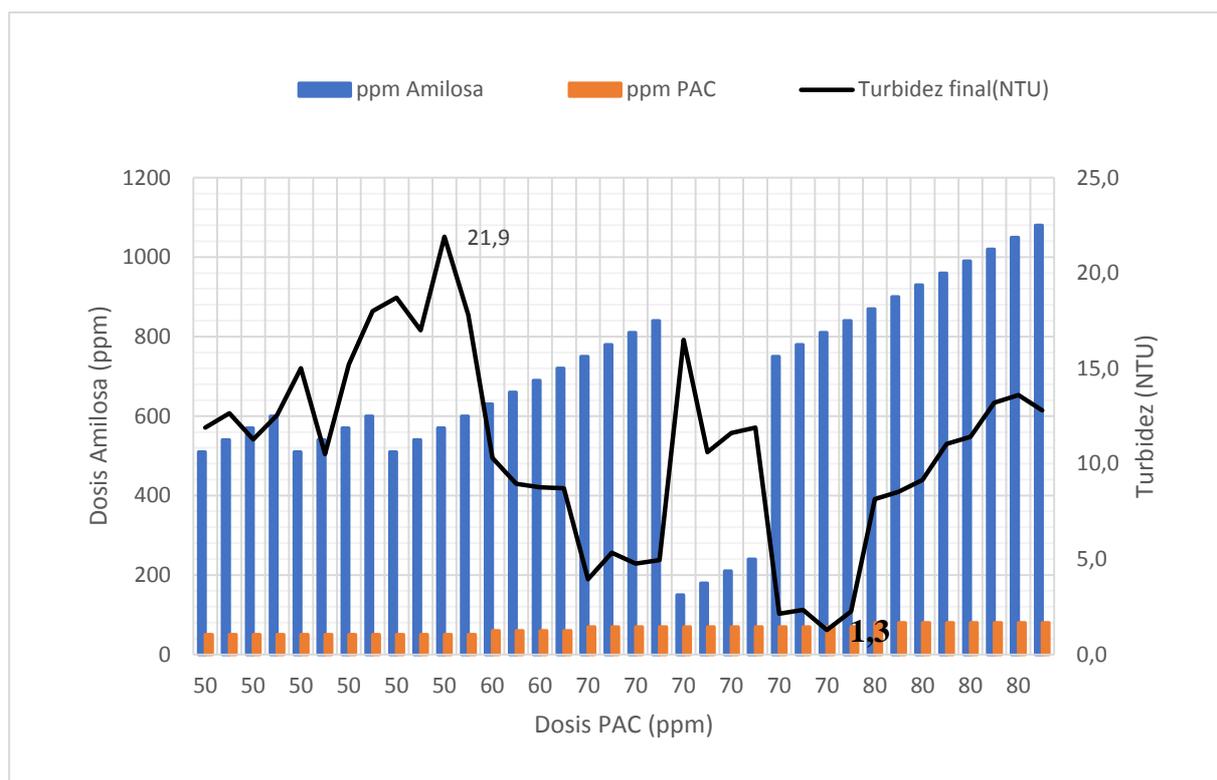


Figura 7. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución amilosa y solución de policloruro de aluminio, para diferentes valores de turbidez inicial.

La turbidez presentó un mínimo valor de 1,3 NTU usando como dosis 810 ppm de amilosa y 70 ppm de policloruro de aluminio, mientras que el valor máximo fue de 21,9 NTU cuando la dosis fue de 570 ppm de amilosa y 50 ppm de policloruro de aluminio.

Tabla 10. Efectividad de la amilosa & policloruro de aluminio.

ppm PAC	70	70	70	70
ppm Amilosa	750	780	810	840
	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$
Turbidez (NTU)	2,7±1,1	2,9±1,1	2,3±1,7	3,0±1,3
pH	7,50 ± 0,5	7,64 ± 0,4	7,67 ± 0,2	7,82 ± 0,2
Conductividad (uS/cm)	717 ± 11,0	733 ± 9,3	752 ± 25,6	771 ± 43,1
Color aparente (Pt-Co)	62,0 ± 35,7	57,7 ± 16,9	53,7 ± 22,9	56,0 ± 20,4
SST (mg/L)	4,0 ± 1,7	4,2 ± 2,3	4,9 ± 1,9	6,0 ± 3,6
% Eficiencia	98,1±0,7	97,9±0,8	98,4±1,2	97,9±0,9
I.W.	8	8	8	8

\bar{X} = Media ; DE= desviación estándar.

La tabla 10, indica los rangos de dosis donde la mezcla amilosa/PAC alcanzó la efectividad.

La turbidez cumple con los requisitos de la norma INEN 1108:2014. El parámetro fisicoquímico color no cumplen con lo establecido por la norma para agua potable.

Después de los 1-4 minutos de mezcla lenta de acuerdo al índice de Willcomb hay muchos flóculos buenos de tamaños grandes redondos y agrupados, después de 10 minutos de sedimentación el 75% de los sólidos precipitan y el otro 25% sigue sedimentándose muy lentamente.

La figura 8, muestra los resultados de turbidez alcanzada con la mezcla amilosa/sulfato de aluminio en la clarificación del agua del río Monjas.

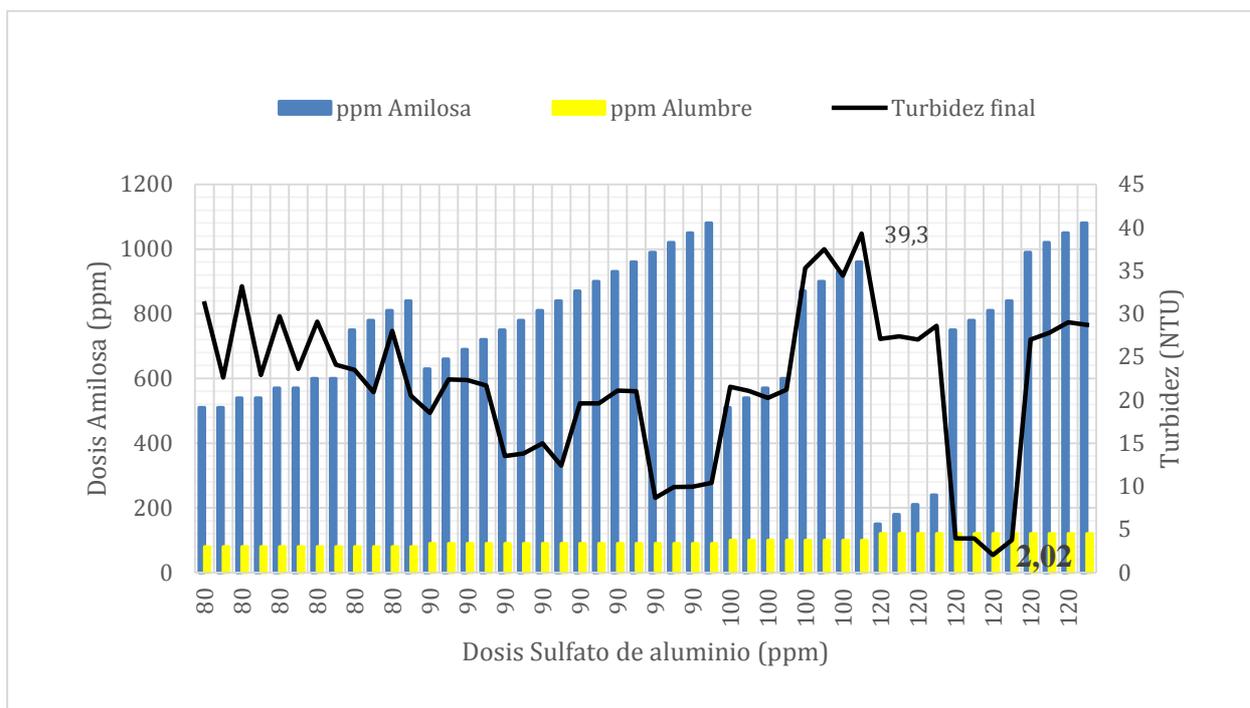


Figura 8. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución amilosa y solución de sulfato de aluminio, para diferentes valores de turbidez inicial.

La turbidez presentó un mínimo valor de 2,02 NTU usando como dosis 810 ppm de amilosa y 120 ppm de sulfato de aluminio, mientras que el valor máximo fue de 39,3 NTU cuando la dosis fue de 960 ppm de amilosa y 100 ppm de sulfato de aluminio.

La tabla 12, indica los rangos de dosis entre 750-840 ppm de amilosa y 120 ppm de sulfato de aluminio con la que alcanza la eficiencia la mezcla amilosa/sulfato de aluminio

Tabla 12. Efectividad de la amilosa & Sulfato de aluminio.

ppm Sulfato de aluminio	120	120	120	120
ppm Amilosa	750	780	810	840
	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$
Turbidez (NTU)	2,91 ± 0,9	2,53 ± 0,3	2,52 ± 0,5	3,19 ± 0,6
pH	6,78 ± 0,5	6,87 ± 0,3	7,00 ± 0,0	7,28 ± 0,6
Conductividad (uS/cm)	657,3 ± 48,4	692,5 ± 22,6	693,4 ± 67,3	707,7 ± 6,8
Color aparente (Pt-Co)	77 ± 8,5	82 ± 14,6	74 ± 17,7	83 ± 6,7
SST (mg/L)	4 ± 1,2	3 ± 0,1	3 ± 0,6	2 ± 0,6
% Eficiencia	98,0 ± 0,6	98,2 ± 0,2	98,2 ± 0,3	97,8 ± 0,4
I.W.	8	8	8	6

\bar{X} = Media ; DE= desviación estándar.

Los resultados para color y turbidez con respecto a los que se registran en la norma INEN 1108:2014 los valores de turbidez ingresan en los rangos de la normativa, mientras que los valores de color aparente no cumplen con lo establecido por la normativa.

Después de los 1-4 minutos de mezcla lenta son visibles pocos flóculos buenos de tamaños grandes redondos y agrupados, después de 10 minutos de sedimentación el 75% de los sólidos precipitan y el otro 25% sigue sedimentándose muy lentamente.

Los resultados obtenidos en cuanto a la remoción de turbiedad son comparables con los estudios realizados por Trujillo et al., (2014) que utiliza mezclas con potencial coagulante a base de almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) mezclado con sulfato de aluminio. La mejor eficiencia de remoción de turbiedad se obtuvo para el valor combinado de 50% de sulfato de aluminio con 50% de almidón de plátano.

Análisis Comparativo entre policloruro de aluminio vs la mezcla amilosa/policloruro de aluminio.

En la figura 9, indica un análisis comparativo Bar chart/box plot de turbidez media entre PAC y la mezcla Amilosa/PAC al 95 % de confianza.

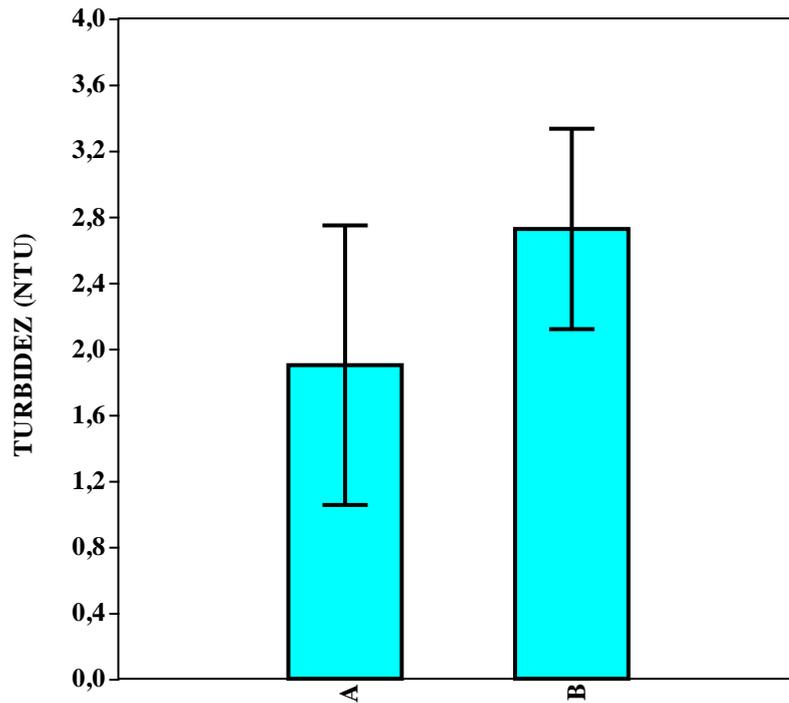


Figura 9. Análisis Bar chart/box plot de turbidez entre policloruro de aluminio (A) y mezcla amilosa/policloruro de aluminio (B)

El mejor promedio de porcentaje de remoción alcanzado por el tratamiento solo con PAC es 98,8% de 1,3 NTU con 80 ppm. Al realizar la mezcla Amilosa/PAC hay 98,4% de remoción de 2,3 NTU con 810 ppm de amilosa y 70 ppm de PAC se aproxima al valor alcanzado por el tratamiento solo con PAC, haciendo uso de menos cantidad de este coagulante.

Análisis comparativo entre sulfato de aluminio vs la mezcla amilosa/sulfato de aluminio.

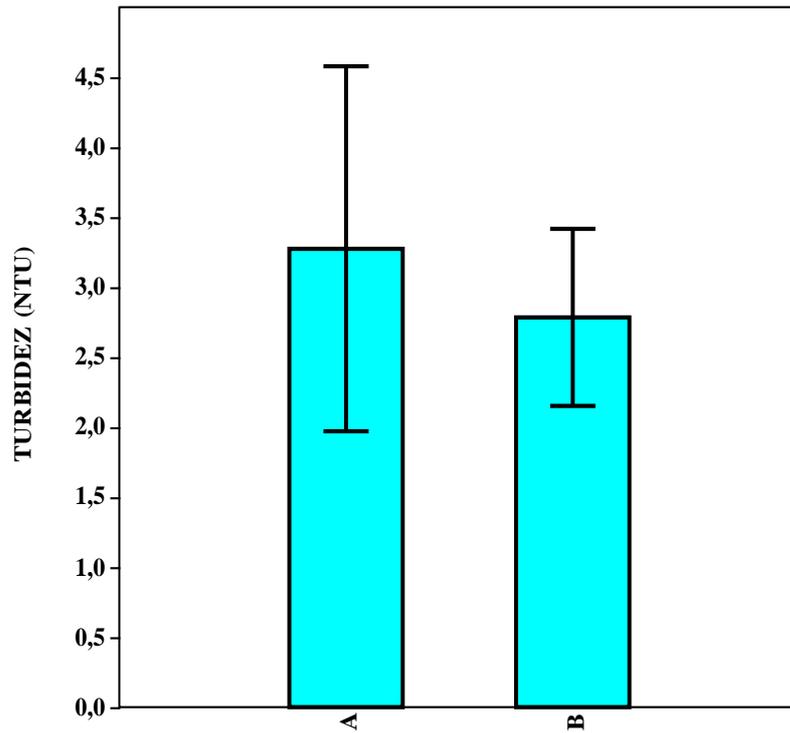


Figura 10. Análisis Bar chart/box plot de turbidez entre sulfato de aluminio (A) y mezcla amilosa/sulfato de aluminio (B).

El mejor porcentaje de remoción alcanzado por el tratamiento con Sulfato de aluminio es 97,5% al realizar la mezcla Amilosa/sulfato de aluminio hay 98,2% de remoción con igual cantidad de sulfato de aluminio.

Análisis Comparativo de los cinco tratamientos de las soluciones coagulantes.

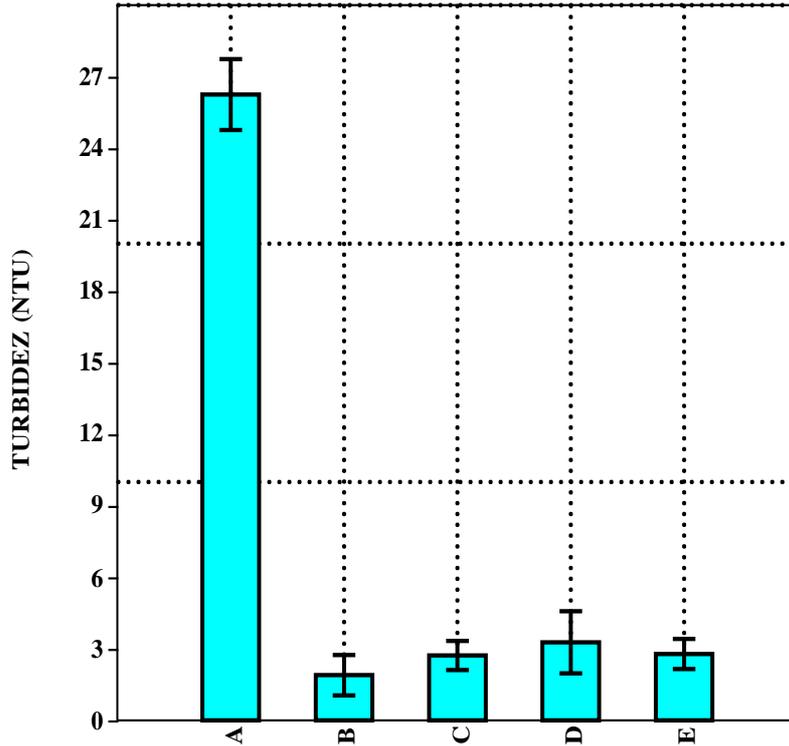


Figura 11. Análisis Bar chart/box plot de turbidez de los tratamientos: amilosa (A), policloruro de aluminio (B), mezcla amilosa/policloruro de aluminio (C), sulfato de aluminio (D), mezcla amilosa/sulfato de aluminio (E).

De los 5 tratamientos la turbidez de PAC, Alumbre, mezcla Amilosa/PAC y Amilosa/Alumbre son significativamente semejantes. A diferencia con la turbidez de la Amilosa. Como resultado el mejor tratamiento a elegir es el de menor costo. El precio estimado de Policloruro de aluminio es 0.50 ctvs./Kilogramos y de sulfato de aluminio es de 0.37ctvs./Kilogramos. Esto implica un ahorro económico asociado a la dosificación de coagulantes inorgánicos.

La figura 12, indica un análisis comparativo de la turbidez media entre los cinco tratamientos.

H (chi ²): 15,12 Hc (tie corrected): 15,17 p(same): 0,004352 Mann-Whitney pairwise comparisons, Bonferroni corrected \ uncorrected:					
	A	B	C	D	E
A		0,03038	0,03038	0,03038	0,03038
B	0,3038		0,04207	0,03038	0,03038
C	0,3038	0,4207		0,3836	1
D	0,3038	0,3038	1		0,2454
E	0,3038	0,3038	1	1	

Figura 12. Prueba comparativa de Kruskal-Wallis entre los tratamientos: amilosa (A), policloruro de aluminio (B), mezcla amilosa/policloruro de aluminio (C), sulfato de aluminio (D), mezcla amilosa/sulfato de aluminio (E).

Esta prueba nos indica que existen similitudes entre los tratamientos entre amilosa y PAC, mezcla amilosa/PAC, sulfato de aluminio y mezcla amilosa/sulfato de aluminio.

Entre PAC y mezcla PAC/Amilosa, sulfato de aluminio y mezcla amilosa/ sulfato de aluminio.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a las características fisicoquímicas los residuos del plátano seda (*Musa paradisiaca L*) son idóneas de ser usados para obtener amilosa como coagulante.
- La solución coagulante amilosa no confiere olor al agua del río Monjas, por lo que se puede utilizar para agua de consumo humano.
- La amilosa para conseguir su acción coagulante requiere concentraciones más altas, es decir se necesita mayor cantidad de amilosa con respecto a los coagulantes inorgánicos.
- La amilosa a pesar de su baja efectividad en el tratamiento de aguas superficiales de alta turbidez por a su bajo coste puede ser útil para usarse como mezcla coagulante.
- La amilosa como mezcla coagulante reduce el uso de policloruro de aluminio e incrementa su acción coagulante al sulfato de aluminio.

- El empleo de amilosa como coagulante orgánico en la remoción de la turbidez combinado con coagulantes a base de aluminio reduce el costo económico, el impacto ambiental y los efectos a la salud pública.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir paso a paso la metodología de extracción de la amilosa, ya que cualquier cambio afectará los resultados finales, como obtener un contenido de amilosa impuro.
- Se recomienda la continuidad de estudio en especies que contengan amilosa.
- Para las próximas investigaciones se recomienda realizar más caracterizaciones de la amilosa.
- Es recomendable realizar un protocolo de la obtención de la amilosa por calentamiento realizando ensayos de mezcla almidón/agua de partida en agua fría hasta su punto de gelatinización o a una vez que el agua alcanza la temperatura de gelatinización.
- También se recomienda trabajar a nivel de laboratorio en el tema de la filtración con carbón activado para que disminuya el color y ubicarlo dentro del parámetro que exige la NTE INEN 1108.

BIBLIOGRAFÍA

- Ana, O. Cabrera, M. Laura, V. Madrigal, A. Vázquez, J. (2007). Extracción y caracterización química de almidón de plátano y banano de las variedades FHIA-01, 20, 21 y 23. In *XXV Aniversario de la Carrera de Ingeniería en Alimentos en el Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato* (pp. 307–314). México: Universidad de Guanajuato.
- Blasco, G. y Gómez, F. J. (2014). Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp.*). *Universidad Veracruz, 1*, 24.
- Bravo, M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Universidad Distrital Francisco José de caldas.
- Campos, J. R., & Di Bernardo, L. (1991). *Uso de polímeros naturales en el tratamiento de agua para abastecimiento*. (Ultratextos.LTDA, Ed.) (CINARA). Sao Paulo-Brasil. Retrieved from <http://es.ircwash.org/sites/default/files/253-91US-8949.pdf>
- Canónico, M. (2003). *Agregación en gránulos de almidón*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Carrasquero, J. S., Montiel, S., Faría, E. D., Parra, P. M., Marín, J. C., & Díaz, A. R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*sonalum tuberosum*) y plátano (*musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Facultad de Ciencias Básicas, 13*(2), 90–99. Retrieved from <http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb%0AVol>.
- Floerger, S. N. F. (2017). Preparation of organic polymers. Retrieved from floerger@snf.fr
- Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F.J., Flores-Huicochea, E., Núñez-Santiago, M.C., González-Soto, R.A. y Bello-Pérez, L. A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. In *Acta Científica Venezolana* (Vol. 55 pp. 86–90). México.
- Freitas, T.K.F.S. Oliveira, V.M. de Souzaa, M.T.F. Geraldino, H.C.L. Almeida, V.C. Fávaro, S.L. Garcia, J. C. (2015). Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. *Industrial Crops and Products, 76*(October 2016), 538–544. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.027>
- Guadrón, E. N. (2013). *Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir de guineo majoncho verde (musa sp. variedad cuadrado), para su uso en la industria de alimentos*. Universidad de el Salvador. Universidad de el Salvador.

- Guzmán, L. Villabona, A. Tejada, C. García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales. *U.D.C.A Act. & Div. Cient*, 16(1), 253–262. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>
- Hernández-Medina, M. Torruco-Uco, J.G. Chel-Guerrero, L. Betancur-Ancona, D. (2008). *Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán , México. Universidad Autónoma de Yucatán.*
- Lambis et al. (2016). Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano. In *XXVIII Congreso Colombiano de Ingeniería Química* (pp. 62–66). Bogotá D.C., Colombia.
- López, J. Cuarán, J.C. Arenas, L.V. Flórez, L. M. (2014). Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales.*, 1(1), 7–21.
- Ramírez, H. Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Universidad Militar Nueva Granada*, 11(2), 136–153. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Rodríguez, J. (1987). *Manual de practicas de bioquímica*. (4a. Edició). Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo Leon.
- Soto, V. S. (2010). Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa Cavendishii*) y banana verde (*Musa paradisiaca*). *Revista Bolivariana de Química*, 27(2), 94–99. Retrieved from <http://www.scielo.org>.
- Trujillo, D. Duque, L.F. Arcila, J.S. Rincón, A. Pacheco, S. 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. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=pt
- Valerio, F. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), 23–28.
- Villabona, A. Paz, I.C. & Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Rev. Colombiana. Biotecnología.*, 15(1), 137–144.

ANEXOS

ANEXO A

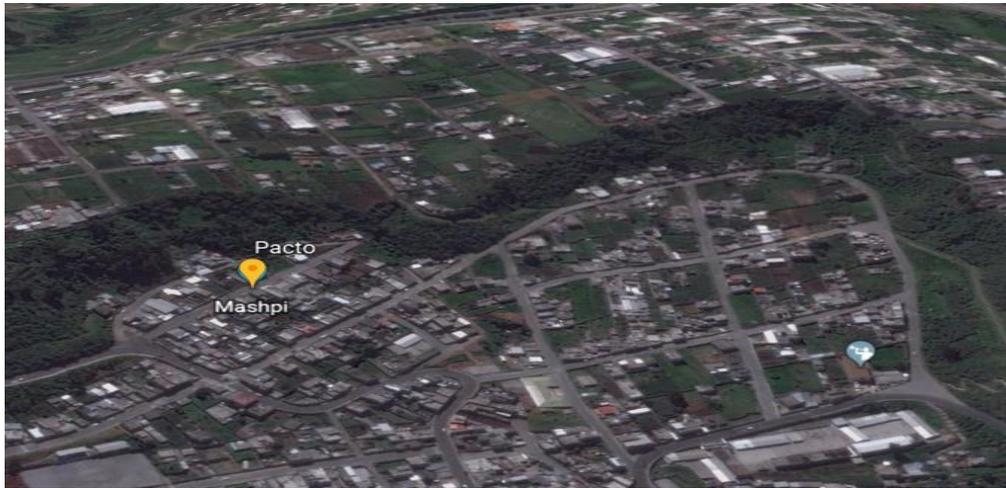


Figura 13. Ubicación de la parroquia de Pacto. Fuente: Google earth, 2017

ANEXO B

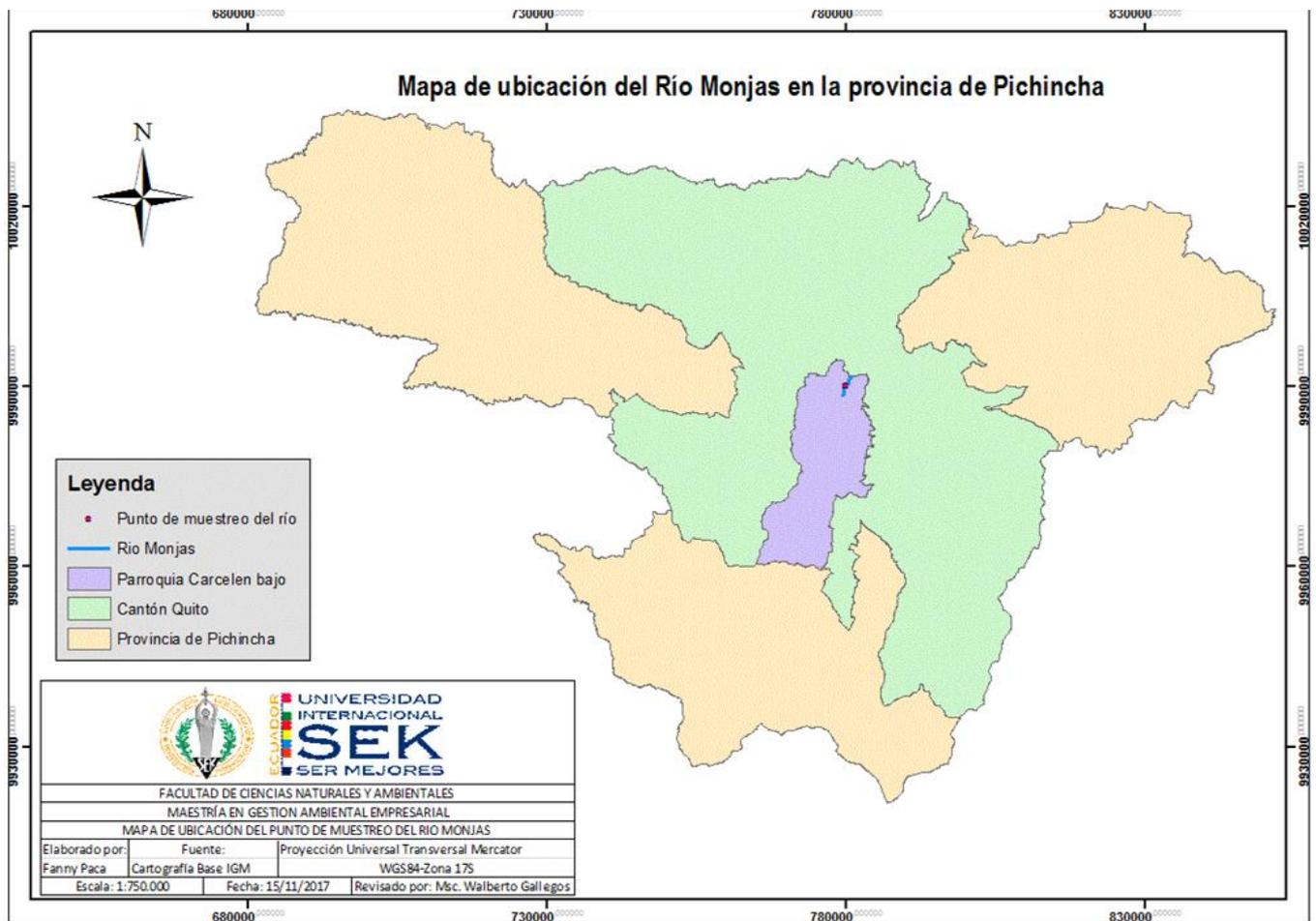


Figura 14. Ubicación del punto de muestreo del río Monjas

ANEXO C



Figura 15. Fécula del plátano seda

ANEXO D



Figura 16. Color de la fécula del plátano seda.

ANEXO E



Figura 17. Forma del almidón en el microscopio óptico.

ANEXO F



Figura 18. Proceso de Gelatinización del almidón.

ANEXO G



Figura 19. Amilosa luego del centrifugado

ANEXO H



Figura 20. Prueba con Lugol de amilosa

ANEXO I

Tabla 13. Ensayo con diferentes dosis para Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$

N° Jarra	ppm Alumbre	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	16/10/2017	
1	10	43,5	7,32				Temperatura inicial	21,2
2	20	44	7,31				conductividad inicial	647
3	30	42	7,3				pH inicial	7,66
4	40	40	7,29				Turbidez inicial	111
1	50	31	7,22				SST inicial	40
2	60	18,2	7,25					
3	70	8,7	7,24					
4	80	8,95	7,14					
1	90	3,975	6,9	648	47	4		
2	100	2,61	6,99	668	41	2		
3	110	2,2	7,03	666	41	3		
4	120	1,85	7,02	675	34	1		
N° Jarra	ppm alumbre	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	5/12/2017	
1	30	24,3	7,66	699			Temperatura inicial	17,6
2	60	13,4	7,53	708			conductividad inicial	649
3	90	6,57	7,5	706			pH inicial	8,25
4	120	6,09	7,39	718			Turbidez inicial	104
1	150	4,09	7,18	779	23	3	SST inicial	86
2	180	4,04	6,97	744	20	3		
3	210	4,39	6,81	741	27	3		
4	240	3,91	6,76	763	25	2		
1	270	5,7	6,63	807				
2	300	7,85	6	776				
3	330	7,87	5,1	804				
4	360	9,61	4,84	830				
N° Jarra	ppm alumbre	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	9/1/2018	
1	30	31,7	7,2				Temperatura inicial	15
2	60	22,2	7,18				conductividad inicial	772
3	90	7,87	7,17				pH inicial	7,7
4	120	4,51	7,16				Turbidez inicial	142
1	150	2,58	7,14	712	47	3	SST inicial	120
2	180	1,56	7,05	705	34	1		
3	210	1,71	6,99	720	42	1		
4	240	2,56	6,95	725	41	2		

ANEXO J

Tabla 14. Ensayo con diferentes dosis para Policloruro de Aluminio

N° Jarra	ppm PAC	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	16/10/2017	
1	10	37,8	7,46				Temperatura inicial	21,2
2	20	36,8	7,47				conductividad inicial	647
3	30	25,3	7,48				pH inicial	7,66
4	40	21,3	7,48				Turbidez inicial	111
1	50	3,815	7,37	667	14	3	SST	40
2	60	2,395	7,405	670	12	2		
3	70	2,09	7,415	664	9	2		
4	80	1,105	7,41	673	8	1		
N° Jarra	ppm PAC	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	5/12/2017	
1	30	8,51	7,58	709	24	3	Temperatura inicial	17,6
2	60	2,98	7,4	721	12	1	conductividad inicial	649
3	90	0,83	7,55	734	9	0	pH	8,25
4	120	1,41	7,47	750	9	1	Turbidez inicial	104
							SST inicial (mg/L)	86
N° Jarra	ppm PAC	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	9/1/2018	
1	30	20,9	7,65	684	34	3	Temperatura inicial	15
2	60	3,82	7,68	699	14	2	conductividad inicial	772
3	90	3,64	7,75	703	14	2	pH	7,7
4	120	1,88	7,63	723	9	1	Turbidez inicial	142
							SST inicial (mg/L)	120

ANEXO K

Tabla 15 Ensayo con diferentes dosis para Amilosa

N° Jarra	ppm amilosa	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	16/10/2017	
1	30	26,5					Temperatura inicial	21,2
2	60	25,5					conductividad inicial	647
1	80	34,9					pH	7,66
2	90	28,7					Turbidez inicial	111
3	100	28,7					SST inicial (mg/L)	40
4	110	31,7						
1	120	25,8	7,53	669	408	5		
2	160	26,2	7,56	673	119	6		
3	200	26,4	7,6	673	407	6		
1	220	27,4	7,62	676	426	6		
4	240	27,5						
3	300	25,1						
2	320	27,4						
4	400	26,8						

3	420	27,8					
1	500	27,4					
4	520	29,5					
2	600	28,9					
3	700	32,4					
4	800	33,0					
1	820	27,4					
2	1120	32,4					
3	1420	35,0					
4	1720	40,3					
1	2020	34,8					
2	2320	49,2					
3	2620	54,0					
4	2920	64,5					
N° Jarra	ppm amilosa	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)			5/12/2017
1	30	33,9	7,44				Temperatura inicial 17,6
2	60	33,7	7,66				conductividad inicial 649
3	90	33,3	7,65				pH 8,25
4	120	32,5	7,96				Turbidez inicial 104
1	150	27,0	8,08				SST inicial (mg/L) 86
2	180	26,5	8,15				
3	210	26,7	8,16				
4	240	26,4	8,17				
1	270	26,0	8,12				
2	300	25,1	8,18				
3	330	25,0	8,21				
4	360	26,4	8,22				
1	390	27,0	8,19				
2	420	27,9	8,2				
3	450	28,3	8,22				
4	480	27,6	8,24				
1	510	26,2	7,52	656			
2	540	25,7	7,65	657			
3	570	25,5	7,86	658			
4	600	24,9	7,88	653			
1	630	22,7	7,82	628			
2	660	22,5	7,91	627			
3	690	21,7	7,93	621			
4	720	22,3	7,91	622			
1	750	25,2	7,625	655,5	96	10	
2	780	25,7	7,89	643	113	12	
3	810	24,3	7,925	644	99	11	
4	840	26,0	7,925	643,5	100	11	9/1/2018
N° Jarra	ppm amilosa	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)			Temperatura inicial 15
1	30	31,0	7,82	671			conductividad inicial 772

2	60	32,3	7,79	678			pH	7,7
3	90	31,7	7,85	681			Turbidez inicial	142
4	120	32,9	7,77	682			SST inicial (mg/L)	120
1	150	48,8	7,36	756				
2	180	51,1	7,36	752				
3	210	48,3	7,24	763				
4	240	52,3	7,16	743				
1	270	52,9	7,43	758				
2	300	52,2	7,6	761				
3	330	54,1	7,63	763				
4	360	51,8	7,71	763				
1	520	49,1	7,68	758				
2	680	48,9	7,79	756				
3	840	48,4	7,82	755				
4	1000	47,9	7,89	753				
1	1160	44,1	7,81	745				
2	1320	43,8	7,94	739				
3	1480	44,0	8	735				
4	1640	43,4	8,02	732				

ANEXO L

Tabla 16. Ensayo con diferentes dosis para Amilosa & PAC.

N° Jarra	ppm amilosa	ppm PAC	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	16/10/2017	
								Temperatura inicial	
1	510	50	15,0	7,76	717			21,2	
2	540	50	10,5	7,83	718			647	
3	570	50	15,2	7,81	715			7,66	
4	600	50	18,0	7,85	712			111	
1	630	60	10,3	7,81	715			40	
2	660	60	8,9	7,81	710				
3	690	60	8,8	7,82	721				
4	720	60	8,7	7,82	719				
1	750	70	4,0	7,97	729	43	3		
2	780	70	5,3	8,01	723	45	2		
3	810	70	4,8	7,93	723	50	3		
4	840	70	5,0	7,99	721	49	2		
N° Jarra	ppm amilosa	ppm PAC	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	5/12/2017	
								Temperatura inicial	
1	510	50	18,7			71		17,6	
2	540	50	17			47		649	
3	570	50	21,9			61		8,25	
4	600	50	17,8			49		104	
1	750	70	11,1	7,7		138		86	
2	780	70	7,9	7,7		111			
3	810	70	9,6	7,8		117			

4	840	70	9,4			40			
1	870	80	8,1	7,69	712,00	41	2		
2	900	80	8,5	7,58	710,00	58	2		
3	930	80	9,15	7,64	710,50	62	4		
4	960	80	11,03	7,79	710,50	68	3		
1	990	80	11,4	7,37	715				
2	1020	80	13,2	7,67	711				
3	1050	80	13,6	7,71	710				
4	1080	80	12,8	7,72	709				
N° Jarra	ppm amilosa	ppm PAC	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)		
1	150	70	16,5	8				Temperatura inicial	15
2	180	70	10,6	8				conductividad inicial	772
3	210	70	11,6	7				pH	7,7
4	240	70	11,9	8				Turbidez inicial	142
1	510	50	11,9	7,5		262		SST inicial(mg/L)	120
2	540	50	12,7	7,6		249			
3	570	50	11,3	7,6		270			
4	600	50	12,6	7,65		284			
1	750	70	2,1	7,65		83	2		
2	780	70	2,3	7,75		92	3		
3	810	70	1,4	7,7		73	2,5		
4	840	70	2,3	7,75		87	4,5		

ANEXO M

Tabla 17. Ensayo con diferentes dosis para Amilosa & Alumbre.

N° Jarra	ppm amilosa	ppm alumbre	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	16/10/2017	
1	510	80	22,6	7,44	706			Temperatura inicial	21,2
2	540	80	22,9	7,51	707			conductividad inicial	647
3	570	80	23,6	7,49	707			pH	7,66
4	600	80	24,1	7,52	707			Turbidez inicial	111
1	630	90	18,5	7,54	706			SST inicial (mg/L)	40
2	660	90	22,4	7,56	708				
3	690	90	22,3	7,53	712				
4	720	90	21,7	7,57	710				
1	750	80	23,5	7,73	713				
2	780	80	20,9	7,71	771				
3	810	80	28	7,74	718				
4	840	80	20,5	7,74	713				
1	870	90	19,6	7,57	728				
2	900	90	19,6	7,67	711				
3	930	90	21,1	7,63	713				
4	960	90	21	7,6	713				
1	990	90	8,67	7	657	62	5		

2	1020	90	9,9	6,91	657	56	3		
3	1050	90	9,94	7,59	664	58	3		
4	1080	90	10,4	7,12	653	68	4		
N° Jarra	ppm amilosa	ppm alumbre	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	5/12/2017	
1	510	80	31,2	7,5		84		Temperatura inicial	17,6
2	540	80	33,2	7,4		94		conductividad inicial	649
3	570	80	29,7	7,5		85		pH	8,25
4	600	80	29,1	7,7		84		Turbidez inicial	104
1	750	90	13,5	7,6		57		SST inicial (mg/L)	86
2	780	90	13,8	7,5		56			
3	810	90	15	7,2		60			
4	840	90	12,4	7,7		54			
1	870	100	35,3	7,23	703				
2	900	100	37,5	7,32	705				
3	930	100	34,4	7,32	703				
4	960	100	39,3	7,36	703				
1	990	120	27	7,3		394			
2	1020	120	27,8	7,3		412			
3	1050	120	29	7,3		424			
4	1080	120	28,7	7,3		446			
N° Jarra	ppm amilosa	ppm alumbre	Turbidez (NTU)	pH	conductividad (uS/cm)	Color Aparente (Pt-Co)	SST (mg/L)	9/1/2018	
1	150	120	27,1	7,8				Temperatura inicial	15
2	180	120	27,4	7,7				conductividad inicial	772
3	210	120	27	7,7				pH	7,7
4	240	120	28,6	7,7				Turbidez inicial	142
1	510	100	21,55	7,3		365		SST inicial (mg/L)	120
2	540	100	21,05	7,3		368			
3	570	100	20,25	7,35		327			
4	600	100	21,2	7,3		373			
1	750	120	3,94	7,05	706	78	3		
2	780	120	3,96	7,05	707	83	5		
3	810	120	2,83	7,55	755	70	3		
4	840	120	3,77	7	702	81	3		