



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES  
MASTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Trabajo de fin de Carrera Titulado:

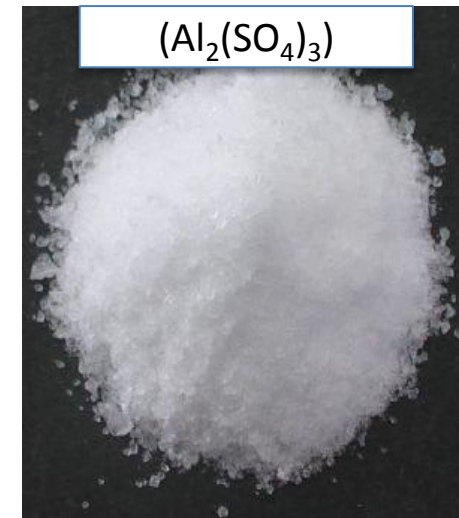
**OBTENCIÓN DEL POLISACÁRIDO (Almidón) DE LA CÁSCARA *Musa Paradisiaca L.*,  
COMO COAGULANTE NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DEL RÍO MONJAS.**

REALIZADO POR:

**FANNY INDALICIA PACA TELENCHANO**

# PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El sulfato de aluminio es uno de los coagulantes más utilizados debido a su efectividad, sin embargo, se ha revela 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. (Freitas et al., 2015). El autor Flaten (2001) 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.





## JUSTIFICACIÓN Y SIGNIFICADO



La presente investigación enfoca al estudio del polisacárido soluble del plátano seda (*Musa paradisiaca* L.), 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. 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.

# ***HIPÓTESIS GENERAL DE TRABAJO***



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.

# OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN



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

# Objetivos Específicos

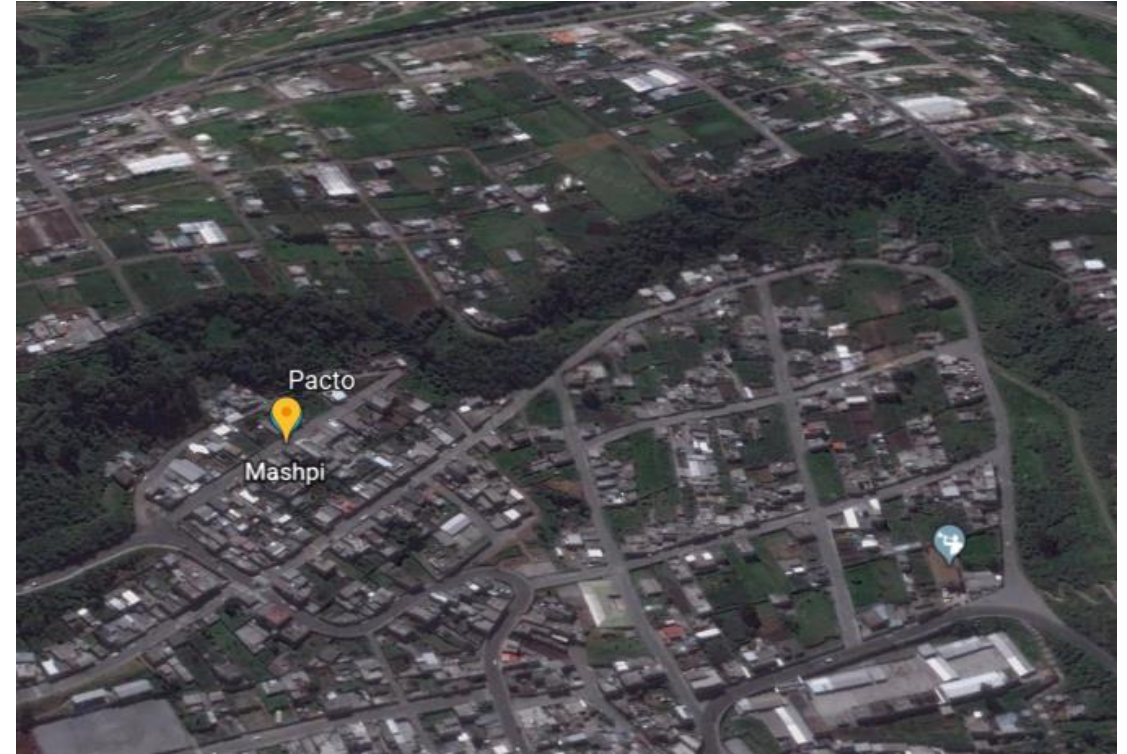


- Obtener la amilosa a partir del almidón del plátano seda en estado verde, con la extracción húmeda, para la utilización como coagulante.
- Caracterizar el polisacárido amilosa con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN, para la comparación de las propiedades físico químicas con estudios verificados.
- Evaluar 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.

# MATERIALES Y MÉTODOS

## Lugar de obtención del plátano seda

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



**Figura 1.** Ubicación de la parroquia de Pacto. Fuente: Google earth, 2017

# 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 adaptado de Flores-Gorosquera et al., (2004)

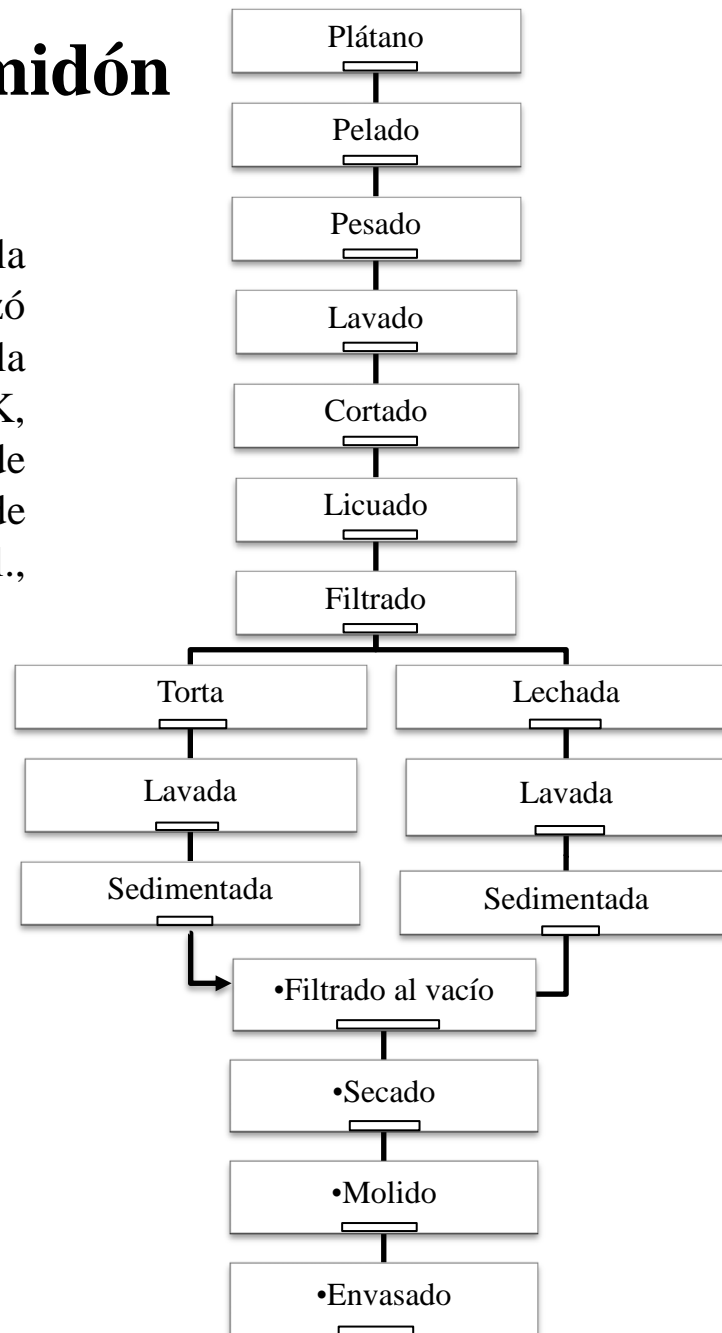


Figura 2. Procedimiento de extracción del almidón



# Extracción de la amilosa

Método adaptado de Campos & Di Bernardo, (1991).

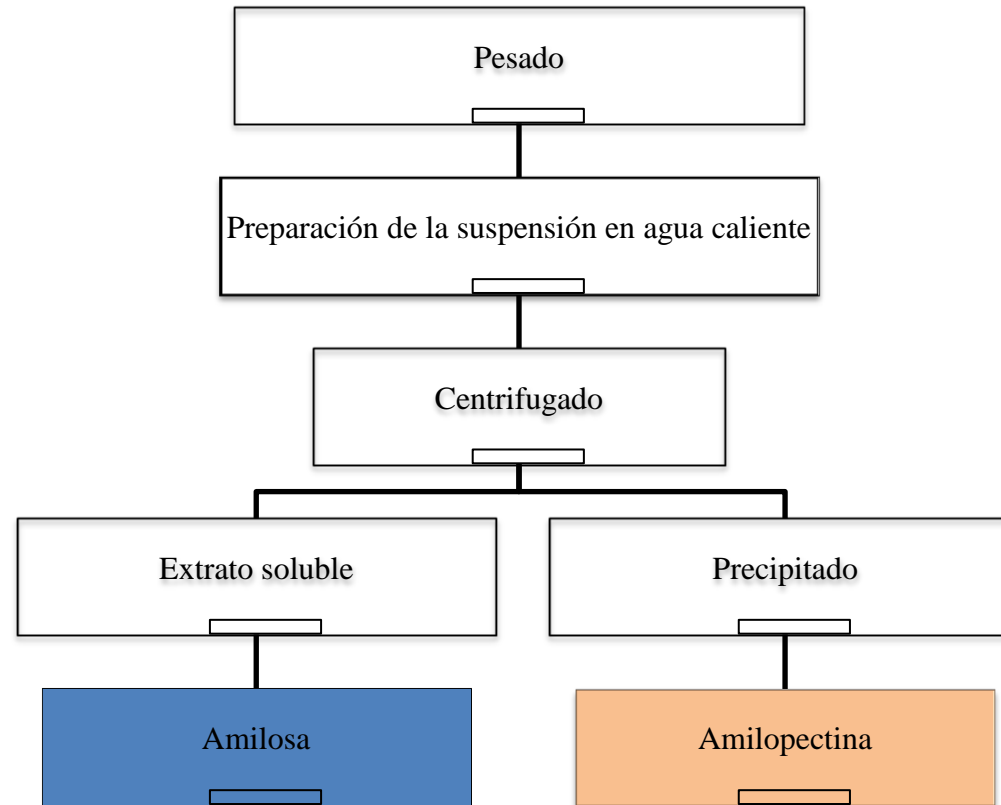


Figura 3. procedimiento de extracción



Figura 4. Prueba con Lugol de amilosa



Figura 5. solución amilosa



Figura 6. Amilopectina



Figura 7. Prueba con Lugol de amilopectina

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Caracterización del almidón de la cáscara del plátano seda (*Musa paradisiaca* L.)

Tabla 1. Características fisicoquímicas del almidón de la *Musa paradisiaca* L.

Características	Resultado	Comparación
<b>Humedad</b>	10,43 %	Valerio, (2014) obtuvo 40% de la pulpa <i>Musa paradisiaca</i> . Soto, (2010) indica 5,72 % en harina de <i>Musa paradisiaca</i> . López et al., (2014) obtuvieron 11.91% para la cáscara de la <i>Musa paradisiaca</i>
<b>Ceniza</b>	0,59 %	Valerio, (2014) obtuvo 0,84% de porcentaje de ceniza en base húmeda de la <i>Musa paradisiaca</i> .
<b>pH</b>	7,81	Valerio, (2014) obtuvo un pH de 5,93 de la pulpa <i>Musa paradisiaca</i> .
<b>solubilidad en agua caliente</b>	18%	Ana et al., (2007) en variedades de musáceas obtuvieron 0,80 y 3,83% de solubilidad.
<b>Color</b>	Leche de almendra	-
<b>Olor</b>	Aroma propio del plátano.	-
<b>Forma vista en el microscopio óptico.</b>	Ovalada.	-

NTE INEN 518.

NTE INEN 520.

NTE INEN-ISO 1842.

Metodología de Anderson et al. (1969)

Pantone color 12-4301 TCX.

Microscopía Óptica de Salas J. (2007).

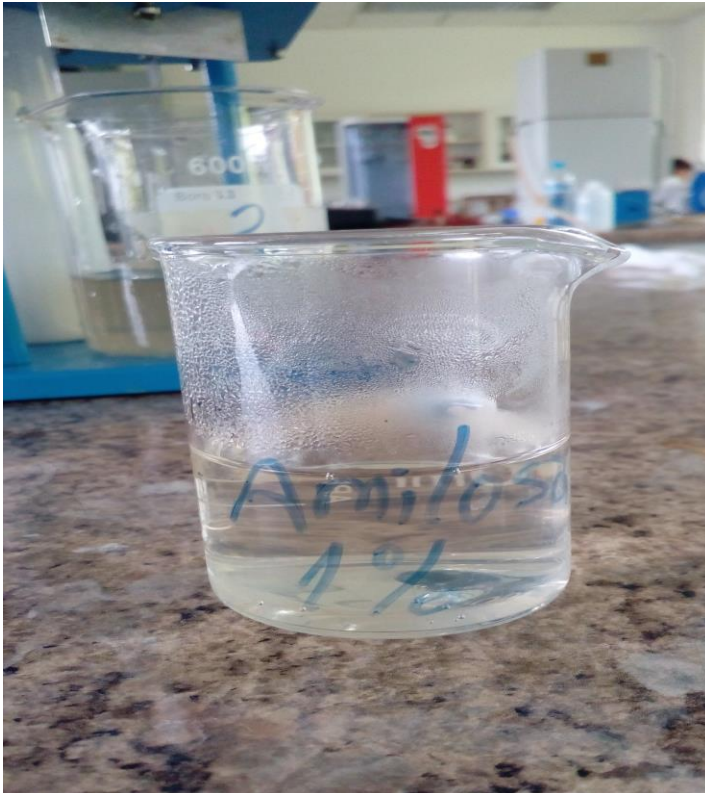


Figura 8. Fécula de la *Musa paradisiaca* L.

# Caracterización de la amilosa

**Tabla 2.** Resultados de las características fisicoquímicas de la amilosa.

Estandar Métodos.  
Estandar APHA de platino-cobalto.  
Evaluación sensorial



**Figura 9.** Amilosa de la *Musa paradisiaca* L.

Características	Resultado	Comparación
Solubilidad en agua fría	Miscible	-
Densidad (g/mL)	0,99	Villabona, Paz & Martínez, (2013) obtienen densidad de 0,626 g/mL del coagulante en polvo extraído de la tuna.
pH	7,36	Carrasquero et al., (2017) obtuvieron un pH de 7,12 de solución coagulante a partir del almidón de la <i>Musa paradisiaca</i> .
Color aparente (Pt-Co)	74	Carrasquero et al., (2017), quien obtuvo un color aparente de 20 unidades de Pt-Co de la solución almidón de la <i>Musa paradisiaca</i> .
Olor	Ninguno	-

# Caracterización del agua cruda del Rio Monjas.

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.

**Tabla 3.** 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

NTE INEN 2169.  
Standard Methods.  
EPA 800.  
Estándar APHA de  
platino-cobalto.  
Gravimétrico del  
Standard Methods.

# Determinación de la eficiencia de las soluciones coagulantes.

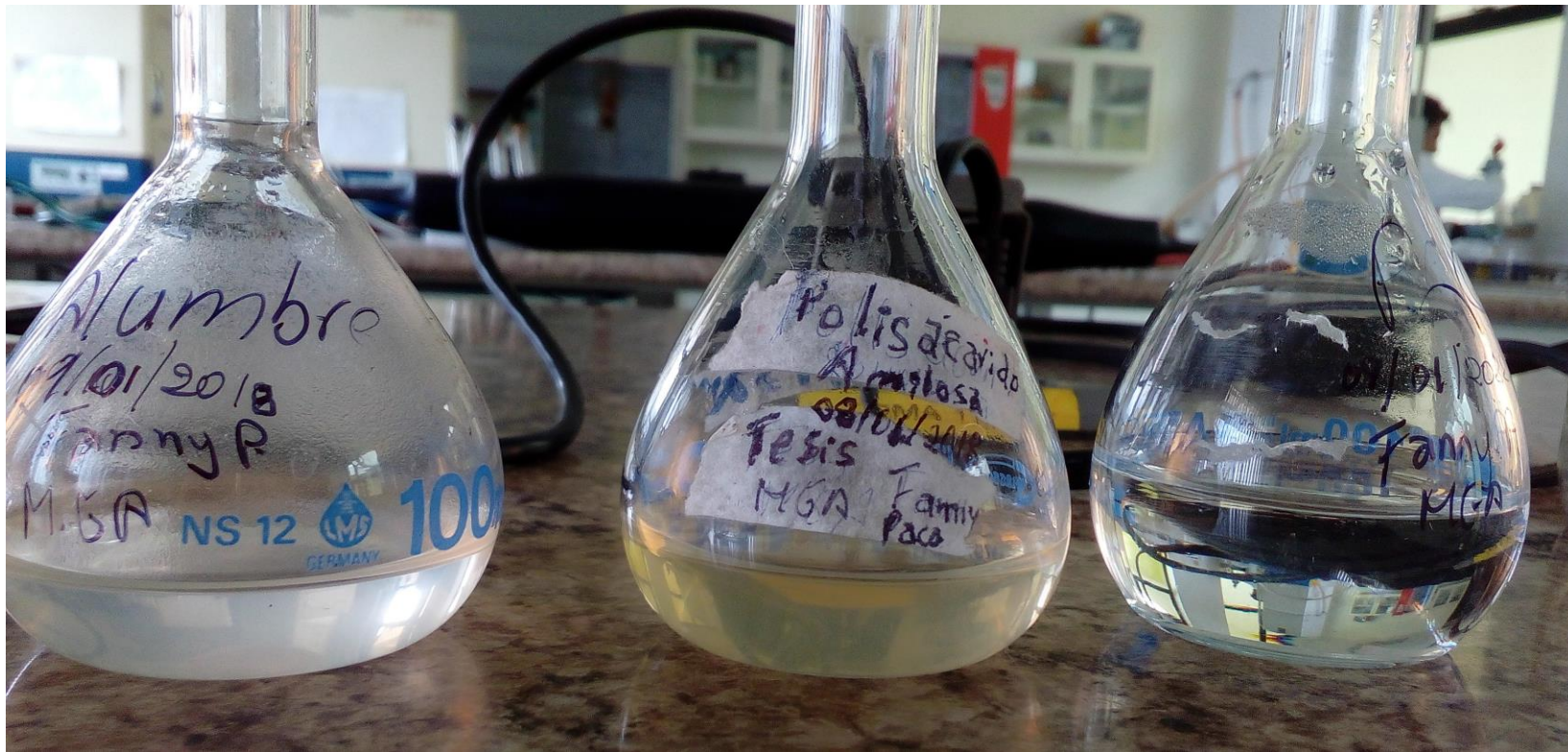


Figura 10. Soluciones coagulantes: Alumbre, Polisacárido, PAC.

# Eficiencia del policloruro de aluminio en la clarificación del agua.

Norma ASTM D2035 – 08. (Jar test)

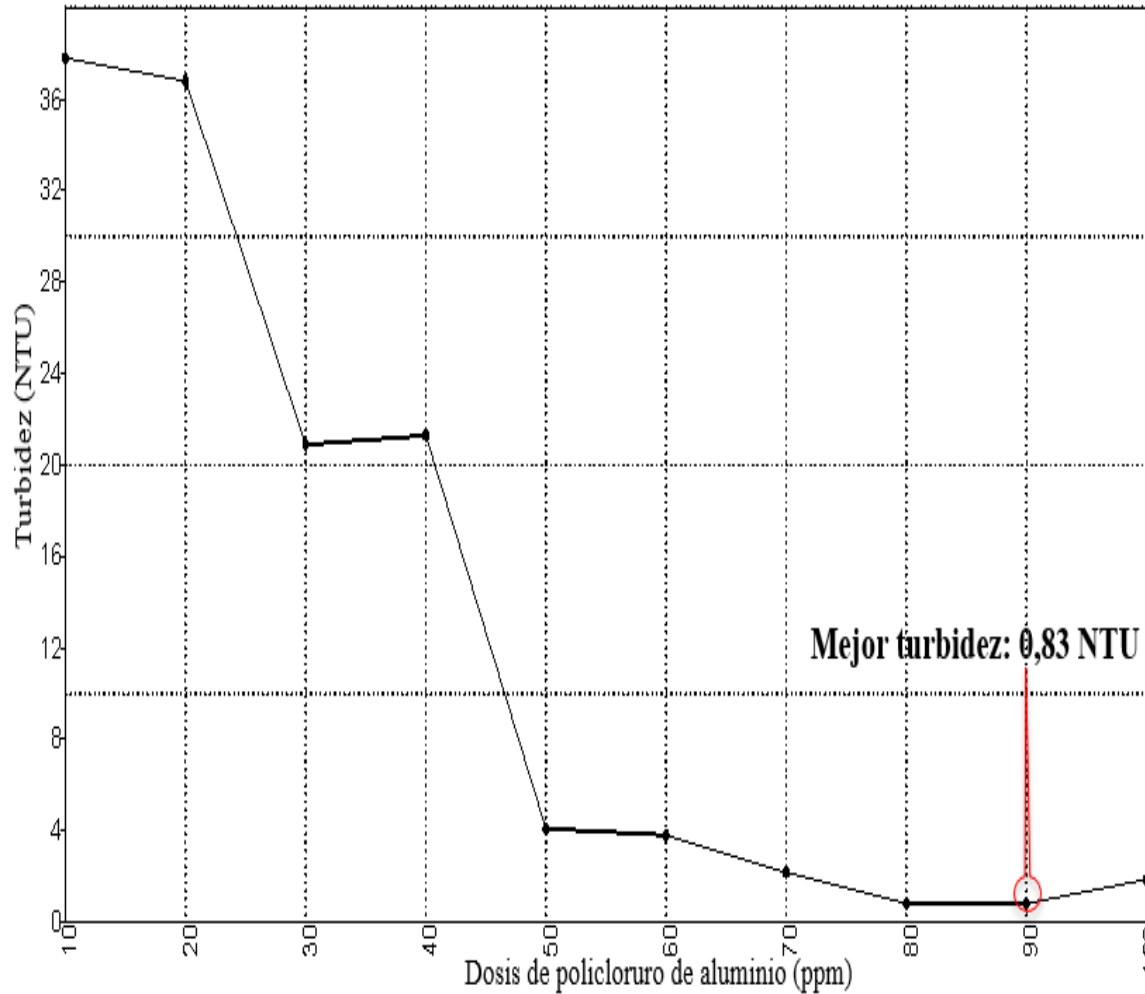


Tabla 4. Efectividad del Policloruro de aluminio.

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

Figura 11. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución de policloruro de aluminio para diferentes valores de turbidez inicial.

# Eficiencia del sulfato de aluminio en la clarificación del agua.

Norma ASTM D2035 – 08. (Jar test)

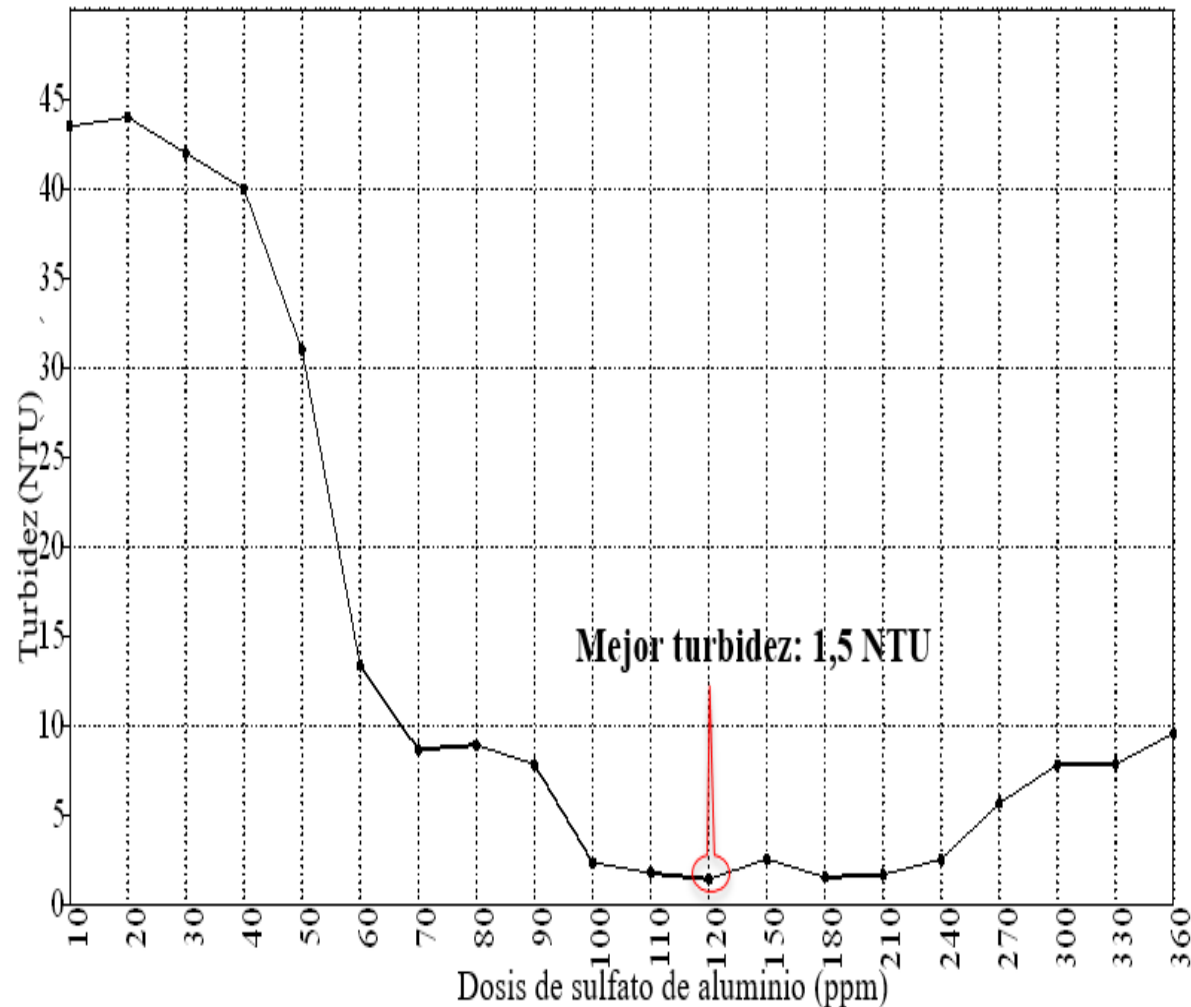


Tabla 5. Efectividad del Sulfato de aluminio.

$(Al_2(SO_4)_3)$	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

Figura 12. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución de sulfato de aluminio, para diferentes valores de turbidez inicial.

# Eficiencia de la amilosa en la clarificación del agua.

Norma ASTM D2035 – 08. (Jar test)

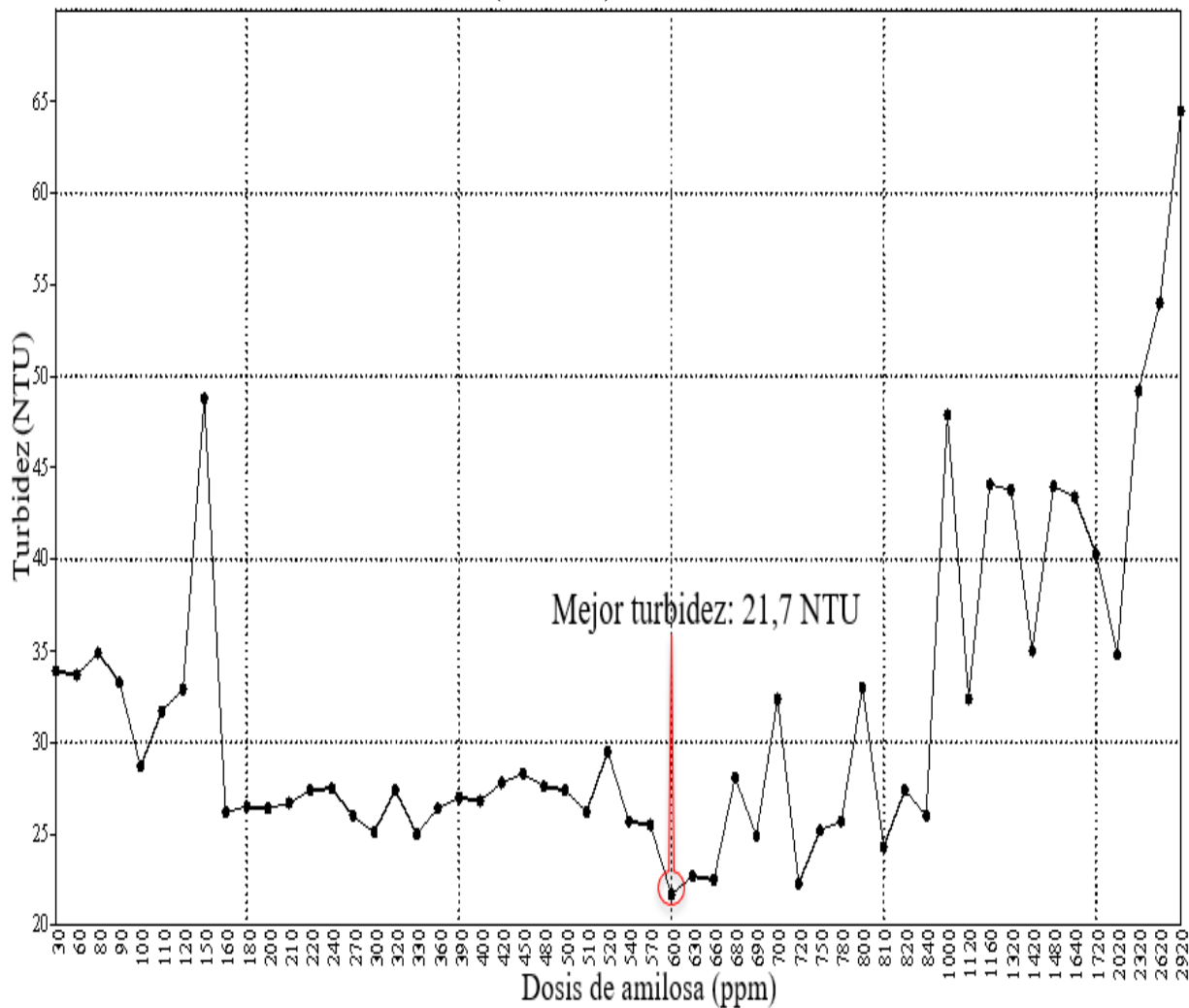


Tabla 6. Efectividad de la amilosa

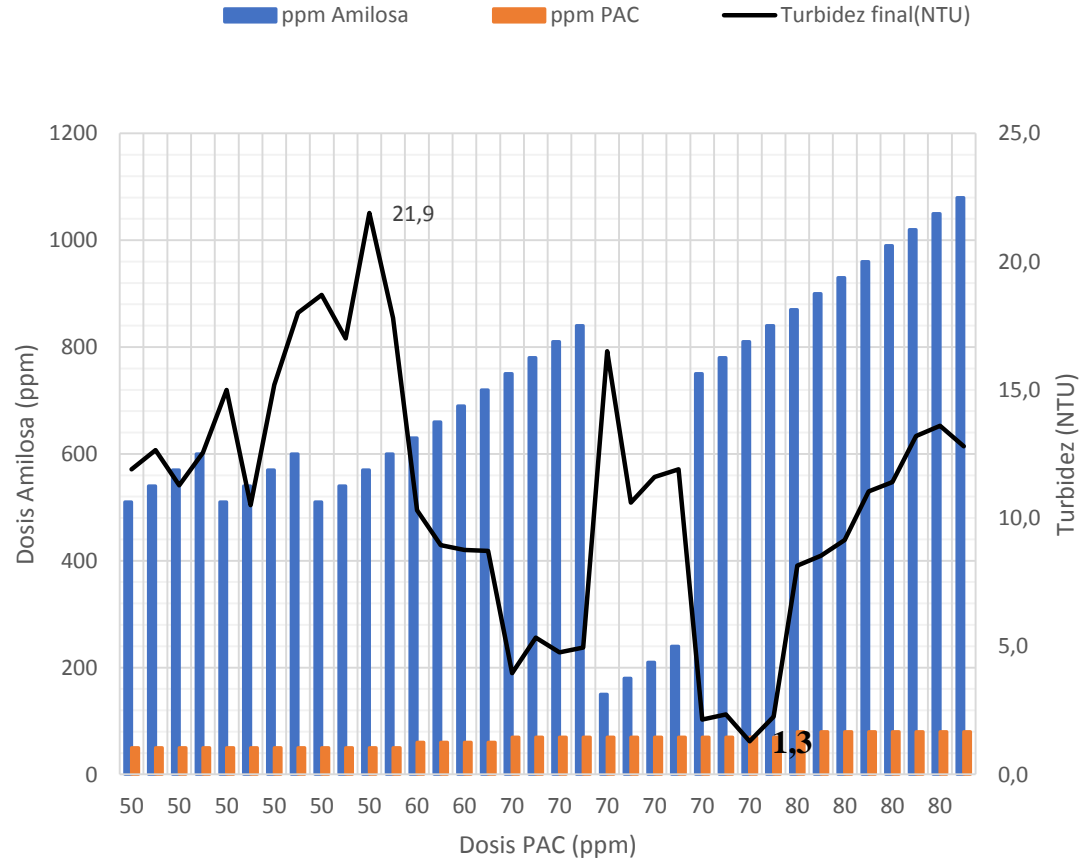
Amilosa	600 ppm	750 ppm	780 ppm	810 ppm
	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$
Turbidez (NTU)	25,2 ± 3,6	26,3 ± 2,3	27,0 ± 2,5	26,5 ± 4,1
pH	6,06 ± 0,4	7,41 ± 0,5	7,68 ± 0,4	7,80 ± 0,2
Conductividad (uS/cm)	612,1 ± 63,2	661,7 ± 15,7	662,4 ± 33,6	672,0 ± 48,5
Color aparente (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

Figura 13. Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución amilosa para diferentes valores de turbidez inicial.



# Eficiencia de la mezcla amilosa/polícloruro de aluminio en la clarificación del agua.

Norma ASTM D2035 – 08. (Jar test)



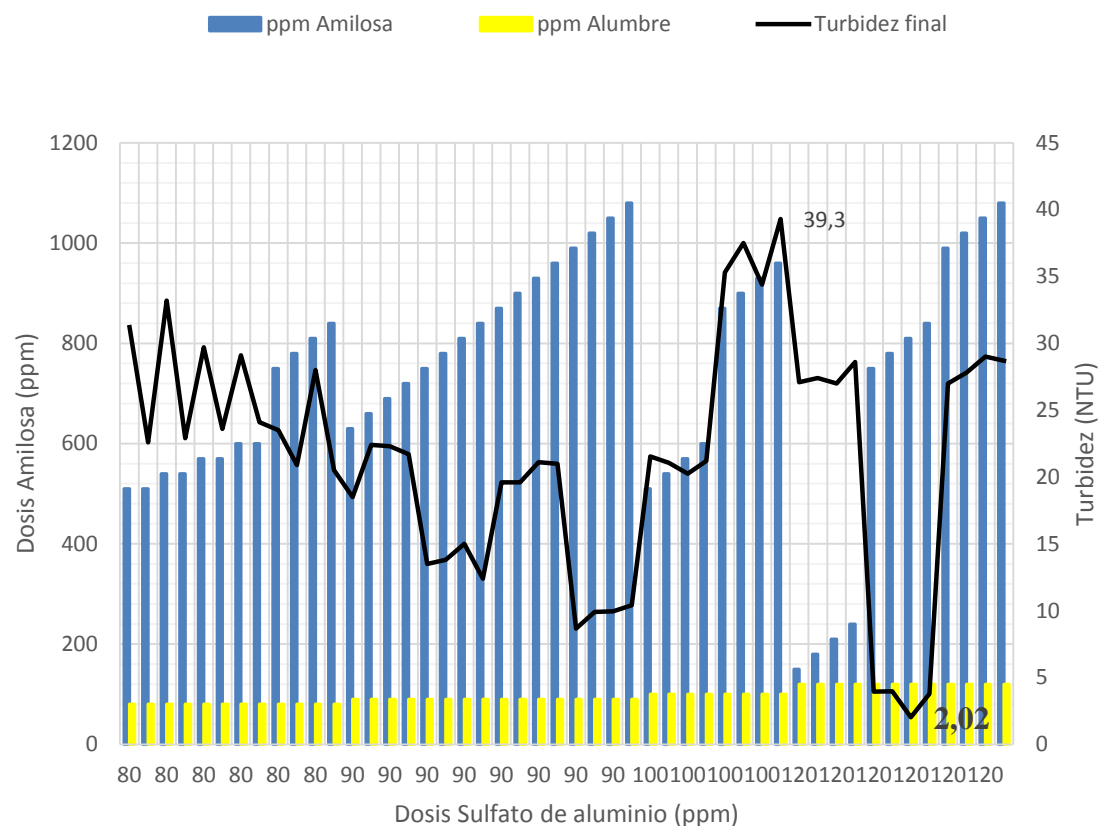
**Tabla 7.** Efectividad de la amilosa & polícloruro de aluminio.

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

**Figura 14.** Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución amilosa y solución de polícloruro de aluminio, para diferentes valores de turbidez inicial.

# Eficiencia de la mezcla amilosa/sulfato de aluminio en la clarificación del agua.

Norma ASTM D2035 – 08. (Jar test)

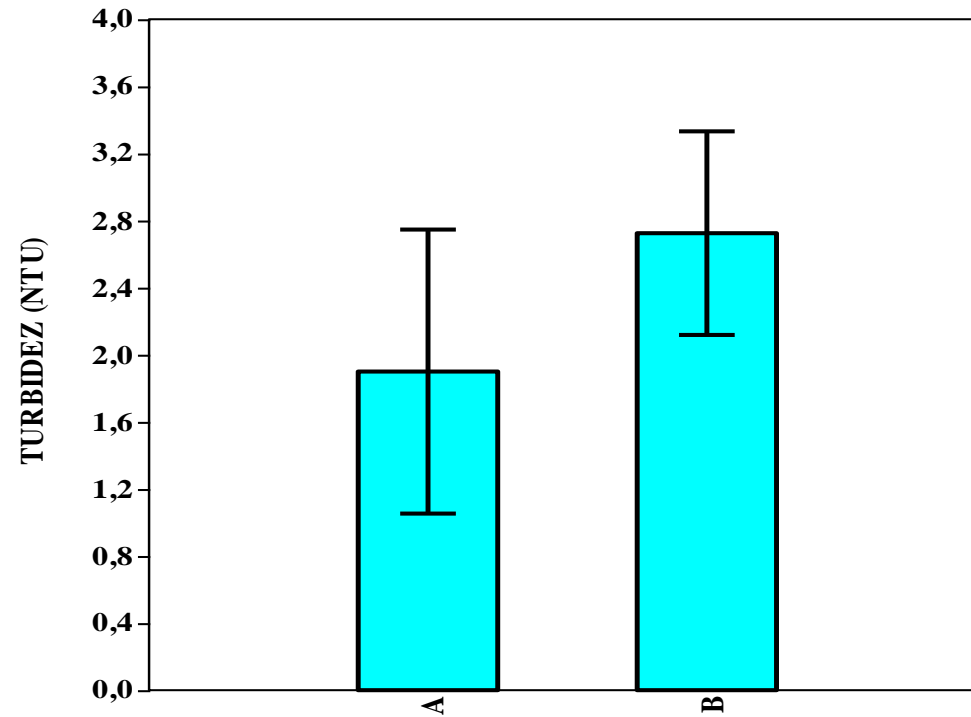


**Figura 15.** Variación de la turbidez en función de la dosis de la solución amilosa y solución de sulfato de aluminio, para diferentes valores de turbidez inicial.

**Tabla 8.** Efectividad de la amilosa & Sulfato de aluminio.

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

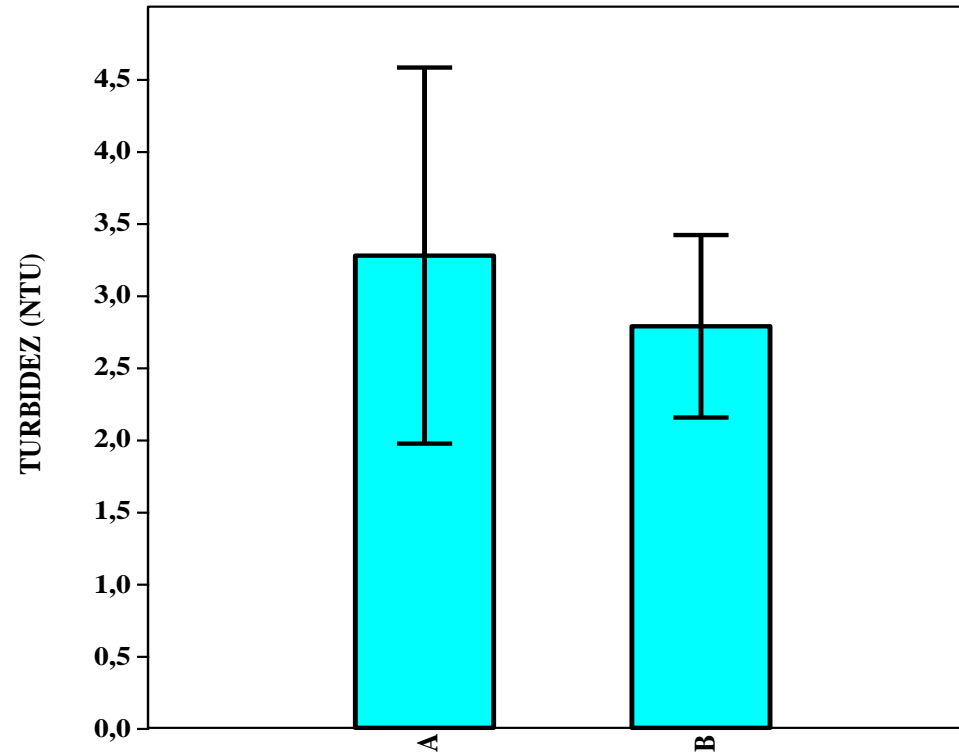
## Análisis comparativo entre policloruro de aluminio vs la mezcla amilosa/PAC.



**Figura 16.** Análisis Bar chart/box plot de turbidez entre policloruro de aluminio (A) y mezcla amilosa/policloruro de aluminio (B)

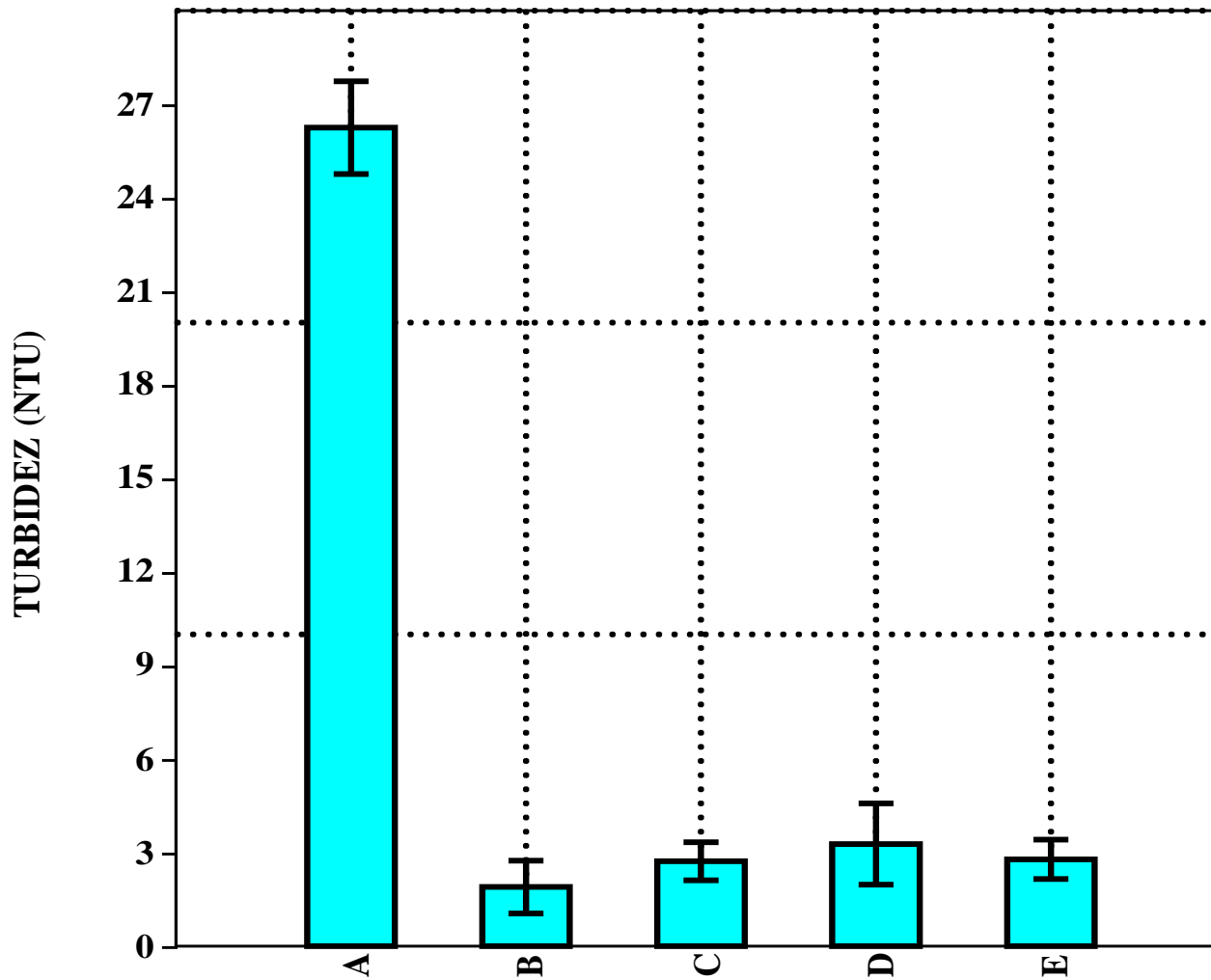
El mejor promedio de porcentaje de remoción alcanzado por el tratamiento solo con PAC es 98,8% de 1,3 NTU con 80 ppm. Al realizar la mezcla Amilosa/PAC hay 98,4% de remoción de 2,3 NTU con 810 ppm de amilosa y 70 ppm de PAC se aproxima al valor alcanzado por el tratamiento solo con PAC, haciendo uso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

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



**Figura 17.** 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.



**Figura 18.** 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).

# 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>
- 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>.
- 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 platano (*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>
- 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](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.



# Gracias por su atención!

Fanny

