

Uso de almidón de yuca (*Manihot-esculenta*) para la clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Departamento del Atlántico-Colombia

Use of cassava starch (*Manihot-esculenta*) for water clarification in the swamp of Malambo, Atlántico Department-Colombia

Katerine Riaños-Donado¹, María Carolina Meza-Leones², Iván Darío Mercado-Martínez³

¹ *Ingeniera Agroindustrial. Profesional de apoyo. Corporación Autónoma Regional del Atlántico-C.R.A. Barranquilla, Colombia.*

² *Ingeniera Agroindustrial. Coordinador de Calidad. Harinera de la Costa. Soledad, Atlántico, Colombia.*

³ *Magíster en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Agroindustrial. Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia. E-mail: ivanmercado@mail.uniatlantico.edu.co*

Cite this article as: **K. Riaños-Donado, M. Meza-Leones y I. Mercado-Martínez** " Uso de almidón de yuca (*Manihot-esculenta*) para la clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Departamento del Atlántico-Colombia", *Prospectiva*, Vol. 21 N° 2 2023.

Recibido: 23/07/2022 / Aceptado: 14/08/2023

<http://doi.org/10.15665/rp.v21i2.3019>

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el poder coagulante del almidón de yuca para clarificar el agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico y comparar los resultados con la sustancia química más empleada para el tratamiento de aguas, sulfato de aluminio. La simulación de este proceso se realizó mediante el test de jarras, para lo cual se prepararon dos soluciones coagulantes al 1% y se emplearon dosis de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L de cada sustancia, natural y química. La prueba inició con una agitación rápida de 120 rpm durante 1 minuto, luego se agitó lentamente a 30 rpm durante 20 minutos, finalmente el agua se dejó sedimentar por 15 minutos. Se determinó que 20 mg/L del coagulante químico reduce la turbidez del agua de 39,1 a 1,80 UNT mientras que 10 mg/L del coagulante natural la disminuye hasta 11,3 UNT. Se concluyó que el almidón de yuca representa una opción viable para reemplazar el sulfato de aluminio.

Palabras clave: Coagulación, Dosis, Floculación, Sedimentación, Turbidez.

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the coagulant power of cassava starch to clarify the water of the Malambo-Atlántico swamp and compare the results with the chemical substance most used for water treatment, aluminum sulfate. The simulation of this process was realized through the jar test, for which two coagulant solutions were prepared at 1% and doses of 10, 20, 40, 60, 80 and 100 mg/L of each natural and chemical substance were used. The test started with a rapid agitation of 120 rpm for 1 minute, then shook slowly at 30 rpm for 20 minutes; finally the water was allowed to settle for 15 minutes. It was determinate that 20 mg/L of the chemical coagulant reduces the turbidity of the water from 39.1 to 1.80 NTU while 10 mg/L of the natural coagulant decreases it to 11.3 NTU. It was concluded that cassava starch represents a viable option to replace aluminum sulfate.

Key Words: Coagulation, Doses, Flocculation, Sedimentation, Turbidity.

1. INTRODUCCIÓN

Mandioca, cassava y guacomete son algunos de los nombres que recibe la yuca en América latina, su nombre científico es *Manihot-esculenta*, es un tubérculo perteneciente a la familia *Euphorbiaceae* y se caracteriza por crecer en trópicos húmedos, cálidos y en suelos ácidos no muy fértiles [1]. De este se extraen grandes cantidades de almidón, polvo de color blanco con forma achatada y redonda, con un tamaño entre 5 y 35 μm , es considerado un polímero natural que se emplea como fuente de energía. Para determinar el uso del almidón de yuca se deben tener en cuenta sus propiedades de consistencia, viscosidad, estabilidad, reificación, entre otras [1,2].

En países como Tailandia, las variedades de yuca amarga y dulce, son cultivadas en grandes cantidades, un alto porcentaje de dicho cultivo es destinado a la extracción de almidones, por su gran contenido de amilosa se emplea en la producción de bioetanol [3]. Además, en el sector agroindustrial de Suramérica, el almidón de yuca se ha utilizado en la elaboración de envases para mejorar las condiciones de conservación de los alimentos [4].

Debido al cambio climático, la acción polinizadora de las abejas es considerada actualmente un indicador del desarrollo productivo de varios cultivos [5], además del ecosistema que se presenta en un determinado lugar y su interrelación con sus componentes; tales como, flora, fauna y agua. En la actualidad, este último recurso es el más utilizado para satisfacer las necesidades de la población mundial, sin embargo, es el más afectado y contaminado. Es importante destacar que en los últimos años se han realizado estudios sobre la remoción de medicamentos de las aguas [6,7], porque estas sustancias afectan los ecosistemas presentes en las mismas y en muchos países no existen una legislación respecto al tema. Por tal motivo, cada día se dificulta más el acceso al agua potable por parte las poblaciones rurales, por esto se deben crear sistemas artesanales que permitan la disponibilidad de este recurso. Lo anterior está enmarcado dentro de las metas actuales de un desarrollo sostenible de la población a nivel mundial.

Los procesos empleados para la potabilización del agua, generalmente agregan sustancias químicas como el sulfato de aluminio, que producen toxicidad en el agua y efectos negativos en el ecosistema. La neurotoxicidad que puede provocar el sulfato de aluminio en los seres humanos, se estudió en pacientes expuestos a altas concentraciones de este químico y que simultáneamente eran sometidos a diálisis renales. Este estudio reveló que el sulfato de aluminio puede ser la causa de iniciación de diversos trastornos neurológicos entre los que se encuentran la enfermedad de Parkinson y el Alzheimer [8]. La especie Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), es afectada por la toxicidad producida por el sulfato de aluminio en los cuerpos de agua en Brasil; en estos peces se evidenció un aumento significativo de la

hormona cortisol y muerte de las células y tejidos en las agallas, como consecuencia de los altos niveles de la sustancia química en el organismo del animal [9].

Debido a lo anterior, están siendo estudiadas alternativas para disminuir o reemplazar el uso de sustancias químicas en el proceso de potabilización del agua, para lograr el mismo resultado. Entre estas opciones se encuentra el uso de coagulantes naturales extraídos de microorganismos, animales o vegetales, que no producen toxicidad en el agua y no afectan la salud humana [10,11]. Estas sustancias naturales logran la clarificación del agua en el proceso de potabilización [12].

Los mecanismos de coagulación que usan las sustancias naturales son generalmente dos, la adsorción y la neutralización, además de la adsorción y puentes entre partículas. En el primero se hace referencia a la atracción que provoca el coagulante natural sobre dos partículas con carga opuesta presentes en el agua contaminada; el segundo mecanismo indica que el coagulante natural se presenta en forma de cadena polimérica que adsorbe las partículas [13,14].

Estos coagulantes naturales provenientes de vegetales son extraídos de diferentes partes, como lo son las raíces, semillas, hojas y tallos [15]. Un ejemplo de lo anterior, se observa en una investigación realizada en Colombia durante época de sequía en el año 2018, donde se presentó el uso de la médula de banano como coagulante natural; aprovechando este residuo que se origina de la cosecha de la fruta y que proviene de la parte interna del seudotallo del banano, siendo este último por donde se transportan los nutrientes del suelo hasta los frutos. Los resultados del estudio mostraron una remoción de la turbidez del agua del río Magdalena en Barranquilla del 67,57% [16].

Debido a sus propiedades catiónicas, renovabilidad, biodegradabilidad y bajo costo, el almidón en general, es el más estudiado a nivel mundial como coagulante natural en aguas residuales domésticas e industriales. Pero su uso para este fin, implica la adición de sustancias químicas que aumentan su propiedad de coagulación, pero puede tener efectos tóxicos. Los almidones sin modificar no han sido ampliamente estudiados y sugieren ser una alternativa en el tratamiento de aguas, sin generar residuos metálicos peligrosos para la salud [17,18].

Durante el año 2015, en Malasia, se elaboró una mezcla entre almidón de yuca (*Manihot-esculenta*) y poliDADMAC, siendo esta última una sustancia química usada comúnmente en este país en procesos de potabilización del agua, con la finalidad de evaluar la propiedad clarificante de la mezcla coagulante químico-natural. En esta investigación se concluyó que al aumentar la proporción de almidón de yuca en la mezcla, se obtiene una mayor reducción de la turbidez [19]. El almidón de yuca también ha sido usado como coagulante natural para procesos de clarificación del agua del río Carrizal, ubicado en el municipio de Centro en Tabasco, México. El almidón de yuca se mezcló en seis proporciones diferentes con el coagulante químico usado tradicionalmente en los procesos de potabilización del agua, sulfato de aluminio. Los resultados mostraron que usando una dosis óptima de 30 ppm en una proporción 2:28 de almidón de yuca y sulfato de aluminio, se remueve la turbidez en 97,9% [20]. En Colombia, durante el año 2019, se analizó la eficiencia de la mezcla coagulante, mucílago de nopal y almidón de yuca, en la búsqueda por remover la turbidez del agua del río Magdalena en la ciudad de Girardot. El muestreo se realizó tanto en época de lluvias, donde se obtuvo una turbidez inicial de 316 UNT; como en periodo de sequía donde presentó un valor inicial de 80 UNT. En esta investigación se logró una remoción de la turbidez hasta del 67% [21].

El objetivo de este estudio es evaluar la capacidad de remoción de la turbidez de dos sustancias, sulfato de aluminio y almidón de yuca (*Manihot-esculenta*), al comparar los resultados en la clarificación del agua de la ciénaga de Malambo. Es importante destacar que una investigación preliminar realizada en esta ciénaga, concluyó que la cantidad de sulfato de aluminio utilizado como coagulante disminuye al

mezclarlo con almidón de yuca, obteniendo valores de remoción de la turbidez de estas aguas mayores al 90% [22]. Este cuerpo de agua es usado actualmente por los pobladores de la zona para consumo humano y uso doméstico; sin embargo, no es apta para estos fines. Por lo anterior, se justifica esta investigación.

2. METODOLOGÍA

Durante época de sequía, se tomaron aproximadamente 40 L de agua de la ciénaga de Malambo, situada en el departamento del Atlántico en Colombia y se midió su turbidez con un turbidímetro (modelo TB 300 IR, marca Lovibond); además, su pH y temperatura con un medidor de pH de mesa (modelo ST2100, marca OHAUS). El agua fue almacenada y transportada al laboratorio de biotecnología de microalgas de la Universidad del Atlántico.

Para la extracción del almidón como coagulante natural, la yuca debe ser sometida a operaciones unitarias como el pelado, lavado, escurrido, troceado, molienda, tamizado y secado. Sin embargo, una Microempresa de bollos de yuca ubicada en el municipio de Malambo, suministró el almidón de yuca que lo retira como desecho de su etapa productiva. Este almidón, se almacenó a temperatura ambiente. El coagulante químico, sulfato de aluminio comercial tipo B, fue adquirido en una tienda de agroquímicos de la ciudad de Barranquilla.

La simulación del proceso de clarificación se realizó mediante el test de jarras, bajo los lineamientos establecidos por la NTC 3903 de 2010. La prueba inició con una agitación rápida de 120 rpm durante 1 minuto, luego se agitó lentamente a 30 rpm durante 20 minutos, finalmente el agua se dejó sedimentar por 15 minutos [23]. Se utilizó el equipo de jarras (modelo FC6S, marca VELP). Se llenaron 6 beakers, cada uno con 1 L del agua recolectada de la ciénaga. Posteriormente, 1 g de cada coagulante, sulfato de aluminio y almidón de yuca, por separado se pesó y diluyó en 100 mL de agua destilada, se usó para cada coagulante, químico y natural, las dosis de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L en cada uno de los 6 vasos de precipitado utilizados. Finalizado el proceso se extrajo una alícuota de cada jarra y se midió la turbidez del agua. Todo fue realizado por triplicado.

Para analizar la influencia de la dosis de cada coagulante, natural y químico, sobre la turbidez del agua objeto de estudio, se utilizó un diseño factorial categórico. Este tipo de diseño experimental permite estudiar la influencia que tienen los 6 niveles empleados. En la Tabla 1 se muestra el diseño factorial para los dos coagulantes utilizados en este estudio. En el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.ii versión gratis en línea se analizaron los datos obtenidos para los dos coagulantes, químico y natural, con una confiabilidad del 95% se realizó un análisis de varianza ANOVA y el test de Duncan.

Tabla 1. Características del diseño factorial para el Sulfato de aluminio y el almidón de yuca.

Table 1. Factorial design characteristics for aluminum sulfate and cassava starch.

Número de factores experimentales			1
Número de bloques			1
Número de respuestas			1
Número de corridas			18
Grados de libertad para el error			12
Factores	Niveles	Unidades	
Dosis de coagulante	6	mg/L	
Variable Respuesta	Unidades		
Turbidez	UNT		

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una muestra del agua recolectada de la ciénaga de Malambo, se observa en la Figura 1. Las características iniciales que fueron medidas al agua objeto de estudio se presentan en la Tabla 2, con estos valores no se cumplen las condiciones establecidas del agua para consumo humano, dispuestas en la Resolución 2115 de 2007 [24]. Es importante destacar que el valor de turbidez hallado en época de sequía difiere del resultado obtenido en otra investigación que se desarrolló en época de lluvia, en esta misma ciénaga, siendo este 62 UNT [25]. Lo anterior demuestra la incidencia del clima en el parámetro de turbidez de este cuerpo de agua.

Figura 1. Agua recolectada de la ciénaga de Malambo.

Figure 1. Water collected from Malambo swamp.

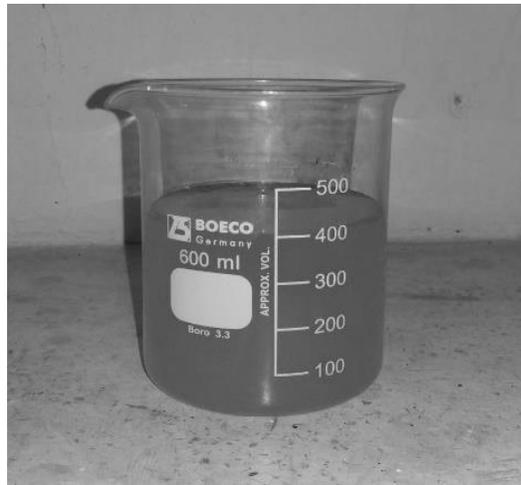


Tabla 2. Características iniciales del agua de la ciénaga de Malambo vs. Resolución 2115 de 2007.

Table 2. Initial characteristics of the water from Malambo swamp vs. Resolution 2115 of 2007.

	Turbidez	pH	Temperatura
Agua recolectada	39,1 UNT	7,75	28,2 ° C
Resolución 2115 de 2007	2 UNT	6,5-9,0	-----

La simulación del proceso de clarificación, se inició con el sulfato de aluminio comercial tipo B. El montaje de este proceso se muestra en la Figura 2. En cada una de las jarras se aplicaron las dosis de 10, 20, 40, 60, 80, y 100 mg/L de sulfato de aluminio, respectivamente. En la Tabla 3 se presenta la turbidez final del agua objeto de estudio, después del tratamiento con cada dosis usada.

Se realizó el análisis de varianza ANOVA que se observa en la Tabla 4. Para conocer si la dosis de coagulante influye sobre la turbidez del agua de la ciénaga se tiene en cuenta el valor P, si es menor a 0,05 se presenta una influencia sobre la variable respuesta, de lo contrario no la hay. En la Tabla 4 se da a conocer un valor P de 0,025 que indica que el factor estudiado, dosis de coagulante, influye en el

parámetro fisicoquímico del agua medido, denominado turbidez. Sin embargo, es necesario determinar cuál o cuáles niveles provocan la disminución de esta variable.

Figura 2. Simulación del proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo.

Figure 2. Simulation of the Malambo swamp water clarification process.

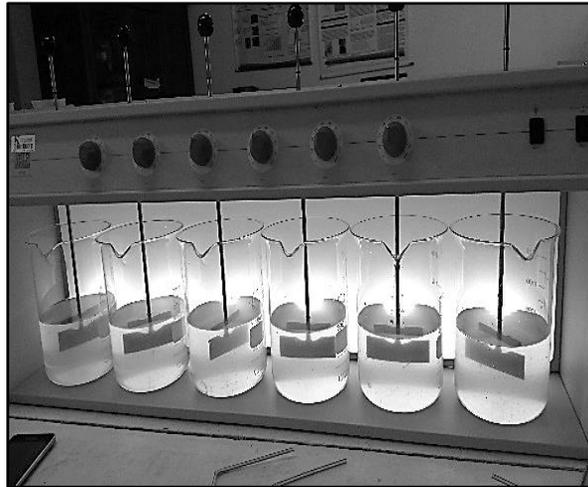


Tabla 3. Turbidez final del agua después del tratamiento con el coagulante químico.

Table 3. Final turbidity of water after treatment with the chemical coagulant.

Dosis (mg/L)	Turbidez (UNT)
10	23,1
20	1,8
40	0,1
60	0,1
80	0,1
100	0,1

Tabla 4. Análisis de varianza ANOVA para el coagulante químico.

Table 4. Analysis of variance ANOVA for the chemical coagulant.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	1288,35	5	257,67	3,89	0,025
Intra grupos	794,29	12	66,19		
Total (Corr.)	2082,64	17			

En la Tabla 5 se muestra el test de Duncan para el sulfato de aluminio, que exhibe cuáles niveles de un factor generan un comportamiento diferente sobre la variable respuesta, a través de la alineación de las X. La única que no está alineada en el grupo homogéneo es la dosis de 10 mg/L, que indica que a esa concentración de coagulante químico la turbidez del agua es más alta en relación a las demás. Por lo tanto, se puede usar indistintamente las dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L para obtener la menor turbidez.

Tabla 5. Test de Duncan para el coagulante químico.**Table 5.** Duncan test for the chemical coagulant.

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
100	3	0,1	X
40	3	0,1	X
60	3	0,1	X
80	3	0,1	X
20	3	1,8	X
10	3	23,1	X
Contraste		Sig.	Diferencia
10 – 20		*	21,23
10 – 40		*	22,99
10 – 60		*	22,99
10 – 80		*	22,99
10 – 100		*	22,99
20 – 40			1,75
20 – 60			1,75
20 – 80			1,75
20 – 100			1,75
40 – 60			0
40 – 80			0
40 – 100			0
60 – 80			0
60 – 100			0
80 – 100			0

* Indica diferencia significativa.

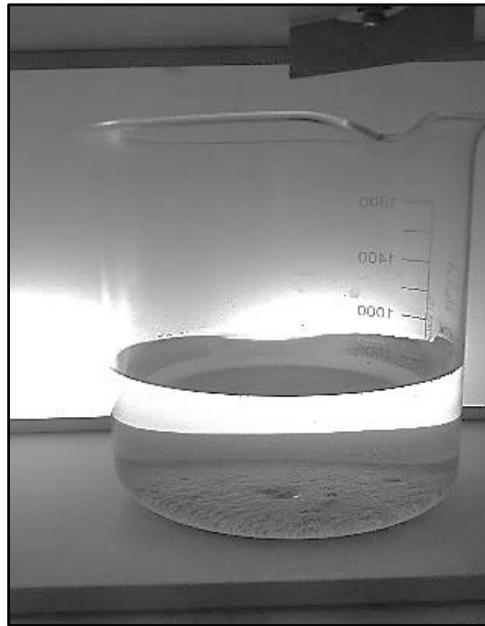
En la Figura 3 se observan las características del agua tratada con 20 mg/L de sulfato de aluminio comercial tipo B, que se estableció como la mejor dosis de coagulante. Esta dosis redujo la turbidez del agua hasta 1,8 UNT equivalente a una remoción del 95,3% que coincide con los resultados de una investigación realizada durante el año 2012, donde se determinó que una dosis de 30 mg/L reduce la turbidez del agua del Río Carrizal en Tabasco-México, en un valor de 98,7% cuando el agua objeto de estudio tiene una turbidez inicial de 70 UNT [20].

Los resultados de la presente investigación (1,8 UNT), también coinciden con los observados en otro estudio, donde se empleó una dosis de 30 mg/L de sulfato de aluminio para obtener una turbidez final que cumple con la normativa venezolana para el consumo de agua potable, 5 UNT, partiendo de una turbidez inicial de 50, 60, 70, 80 y 90 UNT del agua recolectada en la planta de tratamiento “Pueblo Viejo”, situada en el estado de Zulia [26].

En el año 2016, se recolectó agua del río Cesar en Colombia, durante el periodo seco presentó una turbidez inicial de 40,8 UNT y durante el periodo lluvioso de 800 UNT. Al usar dosis de 60 mg/L de sulfato de aluminio se obtuvo una turbidez final de 3,77 UNT con una remoción del 95% en el agua del periodo seco. Sin embargo, en el periodo lluvioso se requiere una dosis de 100 mg/L del coagulante químico para obtener una turbidez final de 1,34 UNT y una remoción del 99% [27]. Los anteriores resultados difieren de los obtenidos en el presente estudio, donde el agua recolectada durante un periodo

seco en la ciénaga de Malambo presentó una turbidez inicial de 39,1 UNT y al usar una dosis de 20 mg/L de sulfato de aluminio como coagulante, se obtuvo un valor de 1,8 UNT como turbidez final. Utilizando una menor dosis de la sustancia química se hallaron mejores resultados. Además, se realizó una investigación en este recurso hídrico durante época de sequía, donde se observó una remoción del 83,25% de la turbidez a partir de 50,80 UNT y obteniendo finalmente un valor de 8,51 UNT al utilizar 80 mg/L de sulfato de aluminio [28]. La disminución que presenta el poder coagulante de la sustancia química, con respecto a los resultados del presente estudio, se debe al aumento de la contaminación del agua de la ciénaga de Malambo.

Figura 3. Agua de la ciénaga de Malambo después del tratamiento con el coagulante químico (20 mg/L).
Figure 3. Water from the Malambo swamp after treatment with the chemical coagulant (20 mg/L).



En la presente investigación, el proceso de simulación y el diseño experimental, se elaboraron nuevamente utilizando como coagulante natural el almidón de yuca, tal como se muestra en la Tabla 1 y Figura 2. Los resultados de turbidez final se presentan en la Tabla 6, mientras el análisis de varianza ANOVA se observa en la Tabla 7. Con una confiabilidad del 95%, el valor P de 0,024 indica que influye la dosis de coagulante natural en la turbidez final del agua de la ciénaga.

Tabla 6. Turbidez final del agua después del tratamiento con el coagulante natural.
Table 6. Final turbidity of water after treatment with the natural coagulant.

Dosis (mg/L)	Turbidez (UNT)
10	11,6
20	12,3
40	13,6
60	16,2
80	16,9
100	17,8

Tabla 7. Análisis de varianza ANOVA para el coagulante natural.

Table 7. Analysis of variance ANOVA for the natural coagulant.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	99,45	5	19,89	3,89	0,024
Intra grupos	61,29	12	5,10		
Total (Corr.)	160,74	17			

Para establecer las diferencias significativas que existen entre las dosis del coagulante natural sobre la variable respuesta, se muestra el test de Duncan en la Tabla 8. Existen 3 grupos homogéneos según la alineación de las X, teniendo en cuenta la media, se determinó que las dosis de 10, 20, y 40 mg/L son los mejores resultados. Debido a lo anterior, se puede emplear cualquiera de estas dosis; sin embargo, es necesario usar la menor cantidad de coagulante, 10 mg/L de almidón de yuca redujeron la turbidez del agua a 11,6 UNT; cuyo valor no cumple con lo establecido por la norma colombiana para la calidad del agua de consumo humano, Resolución 2115 de 2007 [24]. Sin embargo, se alcanzó un porcentaje de remoción del 70,3%.

Tabla 8. Test de Duncan para el coagulante natural.

Table 8. Duncan test for the natural coagulant.

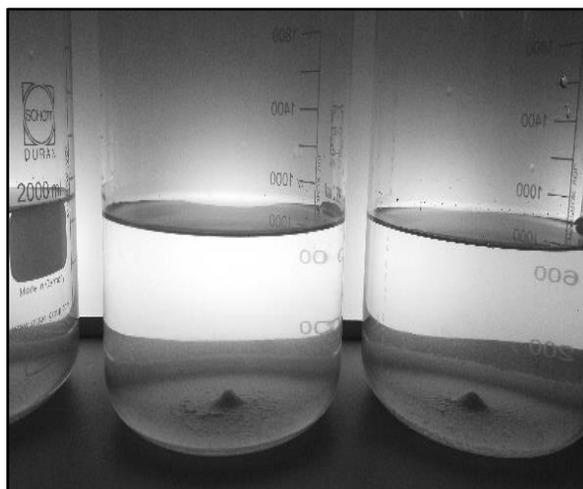
Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
10	3	11,6	X
20	3	12,4	XX
40	3	13,6	XXX
60	3	16,3	XX
80	3	16,9	X
100	3	17,8	X
Contraste		Sig.	Diferencia
10 – 20			-0,77
10 – 40			-2,00
10 – 60		*	-4,67
10 – 80		*	-5,30
10 – 100		*	-6,20
20 – 40			-1,23
20 – 60			-3,90
20 – 80		*	-4,53
20 – 100		*	-5,43
40 – 60			-2,67
40 – 80			-3,30
40 – 100			-4,20
60 – 80			-0,63
60 – 100			-1,53
80 – 100			-0,90

* Indica diferencia significativa.

En la Figura 4 se da a conocer las características del agua después del tratamiento. La remoción de 70,3% que se halló en la presente investigación, cuando 10 mg/L de almidón de yuca redujeron la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo de 39,1 a 11,6 UNT, es mayor a la obtenida durante el año 2014 en el departamento de Nariño, Colombia. En este estudio se determinó que una dosis de 2 mg/L de almidón de yuca remueve el 52,75% de la turbidez del agua de la quebrada Yamuesquer, que inicialmente tenía una turbidez de 9,82 UNT y finalmente este parámetro alcanzó un valor de 4,64 UNT. Además, se estableció que este coagulante natural no logra remover significativamente el color [29]. También, al comparar los resultados de ambos trabajos, se observa que tal como sucede con un coagulante químico, a menor valor de la turbidez inicial de un agua, mayor es la dificultad para remover este parámetro.

Figura 4. Agua de la ciénaga de Malambo después del tratamiento con el coagulante natural (10 mg/L).

Figure 4. Water from the Malambo swamp after treatment with the natural coagulant (10 mg/L).



En Colombia durante el año 2016, se estableció que usando un sistema tipo batch, el almidón de yuca pre tratado con NaOH, reduce la turbidez del agua del río Cesar en un 80,8% cuando tiene una turbidez inicial de 40,8 UNT, correspondiente a la época de sequía. Durante la época lluviosa la turbidez del agua del río alcanzó un valor de 800 UNT, en estas condiciones el coagulante natural reduce este parámetro en 97% [27]. Los resultados anteriores que se hallaron durante el periodo seco se asemejan a los obtenidos en el presente estudio, donde el agua de la ciénaga presentó una turbidez inicial semejante y al usar una dosis de 10 mg/L de almidón de yuca (*Manihot-esculenta*) sin haber sido pre tratado con una sustancia química como coagulante, se obtuvo una remoción del 70,3% de este parámetro.

Con el agua residual láctea de la quesera INNOLAC de la parroquia San Juan en Riobamba-Ecuador, se demostró que el almidón de yuca disminuye la turbidez de 1395 UNT hasta un valor de 41 UNT, obteniendo una remoción del 97%, cuando se emplea una dosis de 1000 mg/L [30]. Lo anterior demuestra los resultados satisfactorios de gran importancia coagulante que presenta el almidón de yuca cuando el agua objeto de análisis tiene un valor elevado de turbidez. Sin embargo, es importante destacar que en el presente estudio, no se analizó el comportamiento de este coagulante natural en aguas con un valor elevado de turbidez.

Durante el año 2018, se realizó un estudio en época de lluvia, donde se concluyó que la mezcla sulfato de aluminio y almidón de yuca (*Manihot-esculenta*) en una proporción 2:8, disminuye la turbidez del agua de la Ciénaga Malambo y se obtiene aproximadamente un valor de remoción del 70% de este parámetro, equivalente a cuando se usa el coagulante químico, sulfato de aluminio [25]. Sin embargo, estos resultados

difieren de la presente investigación que se realizó en época de sequía, porque el sulfato de aluminio presentó un mejor comportamiento al remover un 95,3% de turbidez del agua en comparación con el 70,3% que se obtuvo cuando se utilizó el almidón de yuca. Lo anterior se debe a la variabilidad de las características de un cuerpo de agua en periodo de seco y de lluvias.

En Colombia durante un período de lluvias en el año 2018, se realizó un estudio que mostró el poder coagulante que posee la cáscara de papa para clarificar un cuerpo de agua. Este residuo se compone en gran parte de almidón. La investigación presentó el cambio positivo en la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo, de 59,60 a 11,13 UNT que se reflejó en una remoción del 81,32% de este parámetro fisicoquímico, cuando se usaron 10 m/L del cáscara de papa [31]. Al comparar estos resultados con la presente investigación, se observa en esta última, una menor remoción de la turbidez, 70,3% usando la misma dosis de coagulante natural. Sin embargo, el agua de la ciénaga de Malambo presentó condiciones iniciales diferentes de turbidez en ambos estudios, siendo 39,1 UNT cuando se usó almidón de yuca y 59,6 UNT cuando se utilizó cáscara de papa. Por tal motivo, no se puede concluir que la cáscara de papa presenta un poder coagulante mayor que el almidón de yuca. Lo anterior, motiva a realizar más estudios sobre el tema.

Finalmente en las Tablas 9 y 10, se presentan los resultados de diversas investigaciones que se usaron durante este estudio para compararlos con los obtenidos, cuando se emplea el sulfato de aluminio como coagulante químico y almidón de yuca como coagulante natural en la búsqueda por remover turbidez del agua.

Tabla 9. Resultados de diversas investigaciones cuando se emplea sulfato de aluminio como coagulante químico.

Table 9. Results of various investigations using aluminum sulfate as chemical coagulant.

Investigaciones realizadas	Turbidez inicial (UNT)	Turbidez final (UNT)	Remoción (%)	Dosis (mg/L)
R. Solís, J. Laines, J. Hernández [20]	70	0,91	98,7	30
L. Fuentes, W. Contreras, R. Perozo, I. Mendoza, Z. Villegas [26]	50, 60, 70,80 y 90	≤ 5		30
N. Fuentes, E. Molina, C. Ariza [27]	40,8	3,77	95	60
G. Moreno, I. Ricardo, I. Mercado [28]	50,80	8,51	83,25	80
Este estudio	39,1	1,8	95,3	20

Tabla 10. Resultados de diversas investigaciones cuando se emplea almidón de yuca como coagulante natural.

Table 10. Results of various investigations using cassava starch as natural coagulant.

Investigaciones realizadas	Turbidez inicial (UNT)	Turbidez final (UNT)	Remoción (%)	Dosis (mg/L)
G. Cabrera, J.E. Ramírez [29]	9,82	4,64	52,75	2
N. Fuentes, E. Molina, C. Ariza [27]	40,8	7,8	80,8	
Este estudio	39,1	11,6	70,3	10

4. CONCLUSIONES

A pesar de su toxicidad, el sulfato de aluminio comercial tipo B, se destacó como un coagulante eficiente en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. El valor de la turbidez del agua obtenido después del tratamiento, cumple con la normativa colombiana de agua potable. Sin embargo, la turbidez del agua tratada con almidón de yuca que se utilizó como coagulante en este estudio, no cumple con el valor establecido para este parámetro según la Resolución 2115 de 2007. Es importante destacar que en esta investigación, solo se realizó la simulación de la etapa de clarificación y para potabilizar el agua, son también necesarias las etapas de filtración y cloración, fundamentales para lograr la reducción de este parámetro a un valor admisible por la norma ambiental vigente en Colombia. Por lo anterior, el almidón de yuca representa una opción viable para reemplazar el sulfato de aluminio, usado tradicionalmente en estos procesos. Esta sustancia natural tiene un bajo costo de adquisición porque es un desecho descartado por las microempresas dedicadas a la producción de bollos de yuca. Cabe destacar que para ambos coagulantes, sulfato de aluminio y almidón de yuca, presentan un comportamiento semejante a menor valor de la turbidez inicial de un agua objeto de análisis, porque mayor es la dificultad para remover este parámetro.

Teniendo en cuenta que en el presente estudio, no se analizó el comportamiento de este coagulante natural en aguas con un alto valor de turbidez; se recomienda realizar futuros estudios respecto al tema. Además se sugiere realizar investigaciones en la temática de coagulantes naturales pre tratados con sustancias químicas, para conocer la influencia de estas últimas en el proceso de clarificación de un agua. También se recomienda elaborar estudios comparativos sobre el poder coagulante del almidón de yuca y la cáscara de papa.

REFERENCIAS

- [1] FAO (2007), Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca [Internet]. FAO, Roma, Italia. Disponible desde: <<https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>> [Acceso 13 de agosto 2023].
- [2] J. Meneses, C. Corrales, M. Valencia, “Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca”. *Revista EIA*, (8), 57-67, 2007. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006
- [3] J. Wangpor, P. Prayoonyong, C. Sakdaronnarong, A. Sungpet, W. Jonglertjunya, “Bioethanol production from cassava starch by enzymatic hydrolysis fermentation and ex situ nanofiltration”. *Energy Procedia*, 138, 883-888, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.116>
- [4] K. Riaños, M. Meza, I. Mercado, “Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural coagulants. *DYNA*, 86 (209), 73-78, 2019. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.73687>
- [5] R. Olivero, K. Villa, J. Mendoza, A. Flórez, S. Cervera, I. Mercado, Y. Aguas (2020), Evaluación de la miel de abejas (*Apis mellifera*) producida y comercializada en el departamento del Atlántico [Internet]. Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. Disponible desde: <<http://investigaciones.uniatlantico.edu.co/omp/index.php/catalog/catalog/book/42>> [Acceso 13 de agosto 2023].
- [6] K. Saldaña, E. Angulo, I. Mercado, G. Castellar, N. Cubillán, “Removal of minocycline from high concentrated aqueous medium by nonliving and lipid-free *Chlorella* sp. Biomass”. *Bioresource Technology Reports*, 17, article 100921, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100921>

- [7] D. Suárez, E. Angulo, I. Mercado, V. Vacca, Cl. Tapia, N. Cubillán, “Enhanced tetracycline removal from highly concentrated aqueous media by Lipid-Free *Chlorella* sp. Biomass. *ACS Omega*, 7 (16), 14128-14137, 2022. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00696>
- [8] S. Bondy, A. Campbell, “Chapter Five - Aluminum and Neurodegenerative Diseases. *Advances in Neurotoxicology*, 1, 131-156, 2017. <https://doi.org/10.1016/bs.ant.2017.07.008>
- [9] A. Da Cruz, T. Matos, L. Aguilar, R. Couto, “Environmental effects on the gills and blood of *Oreochromis niloticus* exposed to rivers of Bahia, Brazil”. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 111, 23-31, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.09.022>
- [10] G. González, M. Chávez, D. Mejías M. Mas, N. Fernández, G. León, “Use of exudate gum produced by *Samanea saman* in the potabilization of the water”. *Revista técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia*, 29 (1), 14-22, 2006. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702006000100003
- [11] Z. Abidin, N. Mohd, N. Madehi, S. Sobri, “Optimisation if method to extract the active coagulant agent from jatropha curcas seeds for use in turbidity removal”. *Industrial Crops and Products*, 41, 319-323, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.003>
- [12] J. Feria, J. Rodiño, L. Aguilar, G. Gutiérrez, “Behavior of turbidity, pH, alkalinity and color in Sinú River raw water treated by natural coagulants”. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, (78), 119-128, 2016. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n78a16>
- [13] Y. Chun-Yang, “Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment”. *Process Biochemistry*, 45 (9), 1437-1444, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>
- [14] S. Miller, E. Fugate, V. Craver, J. Smith, J. Zimmerman, “Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment”. *Environmental Science and Technology*, 42 (12), 4274-4279, 2008. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es7025054>
- [15] M. Pritchard, T. Craven, T. Mkandawire, A. Edmondson, J. O’neill, “A comparison between *Moringa oleífera* and chemical coagulants in the purification of drinking water- An alternative sustainable solution for developing countries”. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35 (13-14), 798-805, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.014>
- [16] A. Sierra, A. Navarro, I. Mercado, A. Flórez, M. Jurado, “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante”. *Revista UIS Ingenierías*, 18 (4), 131-138, 2019. <http://doi.org/10.18273/revuin.v18n4-2019012>
- [17] Y. Wei, F. Cheng, H. Zheng, “Synthesis and flocculating properties of cationic starch derivatives”. *Carbohydrate Polymers*, 74 (3), 673-679, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.04.026>
- [18] C. Yang, T. Yeong, J. Ching, “Optimization of agro-industrial wastewater treatment using unmodified rice starch as a natural coagulant”. *Industrial Crops and Products*, 56, 17-26, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.018>

- [19] M. Razali, A. Ariffin, “Polymeric flocculant based on cassava starch grafted polydiallyldimethylammonium chloride: Flocculation behavior and mechanism”. *Applied Surface Science*, 351, 89-94, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.05.080>
- [20] R. Solís, J. Laines, J. Hernández, “Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28 (3), 229-236, 2012. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300005
- [21] J. Lugo, E. Lugo, D. Ovallos, J. Arango, M. De la Puente, J. Silva, “Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia”. *Heliyon*, 6 (6), article e04296, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04296>
- [22] K. Riaños, M. Meza, I. Mercado, R. Olivero, E. Angulo, “Estudio preliminar de la remoción de la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico, usando la mezcla sulfato de aluminio-almidón de yuca (*Mahiot esculenta*)”. En: *Humedales tropicales, especies invasoras y salud*. Red temática INVAWET 2015-2018 del programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo, CYTED. Madrid-España: INVAWET, 442-448, 2018.
- [23] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2010). Norma técnica colombiana NTC 3903: procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras [Internet]. ICONTEC, Bogotá, Colombia. Disponible desde: <<https://tienda.icontec.org/gp-procedimiento-para-el-ensayo-de-coagulacion-floculacion-en-un-recipiente-con-agua-o-metodo-de-jarras-ntc3903-2010.html>> [Acceso 13 de agosto 2023].
- [24] Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007). Resolución 2115 por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias de sistema de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano [Internet]. Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, Colombia. Disponible desde: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf> [Acceso 13 de agosto 2023].
- [25] K. Padilla, G. Pimienta, I. Mercado, “Evaluación de la mezcla de un coagulante químico-natural en el proceso de clarificación de una ciénaga”. *Revista UIS Ingenierías*, 19 (3), 49-60, 2020. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n3-2020005>
- [26] L. Fuentes, W. Contreras, R. Perozo, I. Mendoza, Z. Villegas, “Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo”. *Multiciencias*, 8 (1), 281-287, 2008. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/multiciencias/article/view/16755>
- [27] N. Fuentes, E. Molina, C. Ariza, “Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas”. *Revista Producción + Limpia*, 11 (2), 41-54, 2016. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200005
- [28] G. Moreno, I. Ricardo, I. Mercado, “Evaluación de la eficiencia de los residuos de plantas de sacrificio como coagulante natural”. *Investigación e Innovación en Ingenierías*. 8 (2), 62-74, 2020. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.2.3615>
- [29] G. Cabrera, J.E. Ramírez (2014). Almidón extraído de la yuca (*manihot esculenta crantz*) como coagulante alternativo para tratamiento del agua de la quebrada Yamuesquer municipio de potosí

[Internet]. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. Disponible desde <<https://sired.udenar.edu.co/2962/>> [Acceso 13 de agosto 2023].

[30] F.R. Paca (2017). Evaluación de residuos vegetales de papa, yuca, camote y plátano, como coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea [Internet]. Escuela superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Disponible desde <<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7881>> [Acceso 13 de agosto 2023].

[31] H. Camacho, D. Campos, I. Mercado, N. Cubillán, G. Castellar, “Uso de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la clarificación del agua de la ciénaga de Malambo”. *Investigación e Innovación en Ingeniería*, 8 (1), 100-111, 2020. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>