

EFICIENCIA DE LA HARINA DE CÁSCARA DE CACAO (*THEOBROMA CACAO*) EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Mark Gabriel Pinchi Del Aguila^a, Lady Sheyla Carranza Reátegui^a, Carmelino Almestar Villegas^a

RESUMEN

El objetivo del artículo fue analizar la eficiencia de la harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) en la remoción de turbidez de aguas residuales domésticas. Las dosis del coagulante fueron 600, 800 y 1000 mg/L, con velocidad rápida de 180 RPM por un minuto, velocidad lenta (40 y 60 RPM) por 15 minutos y tiempo de sedimentación de 15 minutos. El volumen de cada jarra fue de 1 L. Se encontró un p-valor de 0,001 para el factor velocidad lenta; es decir existe diferencia significativa de la turbidez para los dos valores de velocidad lenta. Para el factor concentración de floculante, el p-valor fue 0,737; es decir, no existe diferencia significativa de la turbidez para los cuatro valores de concentración de floculante. Asimismo, el p-valor para la interacción (velocidad lenta * concentración) fue 0,737; es decir no fue significativo. Se concluye que el uso de floculantes naturales es una alternativa sustentable para la remoción de turbidez del agua residual doméstica.

Palabras claves: coagulante natural, floculante natural, turbidez

EFFICIENCY OF COCOA SHELL FLOUR (*THEOBROMA CACAO*) IN THE REMOVAL OF TURBIDITY FROM DOMESTIC WASTEWATER

ABSTRACT

The objective of the article was to analyze the efficiency of cocoa (*Theobroma cacao*) shell flour in removing turbidity from domestic wastewater. The coagulant doses were 600, 800, and 1000 mg/L, with a fast speed of 180 RPM for one minute, a slow speed (40 and 60 RPM) for 15 minutes, and a settling time of 15 minutes. The volume of each jar was 1 L. A p-value of 0.001 was found for the slow speed factor; that is, there is a significant difference in turbidity for the two slow speed values. For the flocculant concentration factor, the p-value was 0.737; that is, there is no significant difference in turbidity for the four values of flocculant concentration. Likewise, the p-value for the (slow speed * concentration interaction) was 0.737; that is, it was not significant. It is concluded that the use of natural flocculants is a sustainable alternative for the removal of turbidity from domestic wastewater.

Keywords: natural coagulant, natural flocculant, turbidity

^a Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Jr. Los Mártires 340, Tarapoto, Perú, markpinchi@upeu.edu.pe, código Postal 22201

INTRODUCCIÓN

El agua potable es una necesidad básica en todo el mundo; sin embargo, las actividades antropogénicas ponen en peligro la calidad que esta posee, en especial en los países que están en proceso de desarrollo, originando así que cualquier población o comunidad se vea afectada¹.

En el Perú más de la mitad de los habitantes no tienen acceso a los servicios de saneamiento y agua potable en sus viviendas, generalmente, las personas sin acceso a este recurso viven en zonas alejadas más conocidas como áreas rurales, centros poblados, caseríos, etc².

El departamento de San Martín, a pesar de estar rodeada por diferentes fuentes hídricas, no está libre de esta problemática, principalmente en las zonas alejadas de las principales ciudades. El agua potable debe cumplir ciertas características para que pueda ser consumida. Uno de los parámetros más importantes es la turbidez, la cual puede ser removida por diferentes procesos. Dentro de ellos está la coagulación, que consiste en la agregación y retiro de componentes coloidales responsables de la turbidez³.

Existen coagulantes químicos que son mayormente utilizados para el proceso de remoción de turbidez de agua residuales como son el sulfato de aluminio, aluminato de sodio y sulfato ferroso, pero estos tienen una desventaja al momento de sedimentarse, debido a que son compuestos químicos que generan una problemática ambiental⁴.

Desde otra perspectiva, muchos investigadores vienen desarrollando como alternativa de solución polímeros naturales de origen vegetal y animal, debido a que son rentables económicamente, de tal manera que permiten contrarrestar el uso excesivo de coagulantes convencionales en el tratamiento de aguas residuales⁵.

En tal sentido resultó de mucha importancia la selección del cacao (*Theobroma cacao*) como coagulante para la remoción de turbidez de las aguas residuales domésticas. De lo antes mencionado, en el presente estudio se busca analizar la eficiencia de la harina de cacao (*T. cacao*) para la remoción de turbidez del agua residual doméstica. Asimismo, en el departamento de San Martín, el cacao es uno de los cultivos principales y que durante la etapa de post cosecha se genera grandes cantidades de residuos, los cuales pueden ser aprovechados como coagulantes naturales.

PARTE EXPERIMENTAL

La investigación se realizó en el campus de la Universidad Peruana Unión- filial Tarapoto, ubicado en el departamento de San Martín, provincia de San Martín, distrito de Morales, el cual se encuentra a una altitud de 283 m.s.n.m., teniendo como coordenadas 345607 (E) y 9284368 (N).

El método que se utilizó fue experimental, ya que se determinó la eficiencia de remoción de turbidez de aguas residuales con la harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*), por medio del cual se observaron los efectos que se producen en la variable independiente.

Para la muestra se consideró un volumen de 25 L de agua residual doméstica de la Urbanización La Planicie, Distrito de Morales. La toma de muestra tuvo las coordenadas 345375 (E) y 9284789 (N). El diseño experimental estuvo compuesto por dos factores: Dosis de solución madre de harina de cáscara de cacao con tres niveles y un control (600, 800 y 1000 mg/L), con velocidad rápida de 180 RPM durante un minuto, velocidad lenta (40 y 60 RPM) en un tiempo de 15 minutos y tiempo de sedimentación de 15 minutos. El volumen de cada jarra fue de 1 L. Los tratamientos del ensayo fueron: 0 mg /L x 40 RPM, 600 mg/L x 40 RPM, 800 mg/L x 40 RPM, 1000 mg/L x 40 RPM, 0 mg /L x 60 RPM, 600 mg/L x 60 RPM, 800 mg/L x 60 RPM y 1000 mg/L x 60 RPM⁶. Para obtener la harina de cáscara de cacao se utilizó la metodología de Deviran⁷, la cual se indica el en siguiente flujograma.

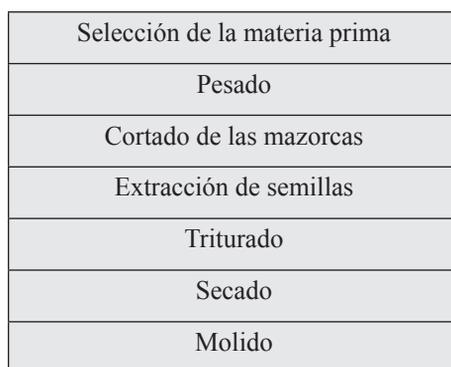


Figura 1. Diagrama de flujo de obtención de la harina de cáscara de cacao

A continuación, se describen las operaciones de la obtención del floculante natural⁷:

Selección de la materia prima: Se escogió las mazorcas de cacao con un índice de madurez adecuado.

Pesado: En esta operación se procedió a pesar las mazorcas de cacao seleccionados teniendo como resultado 4,450 kg.

Cortado de mazorcas: Esta etapa consiste en cortar las mazorcas en dos partes iguales.

Extracción de semillas: Se realizó la extracción de semillas de aquellas mazorcas de cacao cortadas en dos partes iguales.

Triturado: Consiste en cortar o triturar la mazorca de cacao en cuadros pequeños para dar un secado adecuado.

Secado: Se procedió a secar la mazorca de cacao triturado en cuadritos durante 5 días.

Molido: Se procedió a moler 3 veces consecutivas la cáscara de cacao seco en un molino manual, obteniendo así 0,105 g de harina de cáscara de cacao.

Almacenado: La harina de cáscara de cacao obtenida se colocó en una bolsa Ziploc para su almacenado correspondiente a temperatura ambiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la turbidez

Al desarrollar el análisis de varianza, se encontró un p-valor de 0,001 para el factor velocidad lenta; es decir, existe diferencia significativa de la turbidez para los dos valores de velocidad lenta. Por otro lado, para el factor concentración de floculante, el p-valor fue 0,737; es decir no existe diferencia significativa de la turbidez para los cuatro valores de concentración de floculante. Asimismo, el p-valor para la (velocidad lenta * concentración) fue 0,737; es decir, no fue significativo (Tabla 1).

Tabla 1. Identificación y obtención de extractos para la marcha fitoquímica.

Origen	Suma de cuadrados	GL	Cuadrático promedio	F	p-valor
Modelo corregido	4,425,167	7	632,17	2,31	0,079
Interceptación	168337,500	1	168337,50	613,90	0,000
Velocidad lenta	4056,000	1	4056,00	14,79	0,001
Concentración	350,833	3	116,94	0,43	0,737
(Velocidad lenta * Concentración)	18,333	3	6,11	0,02	0,995
Error	4387,333	16	274,21		
Total	177150,000	24			
Total corregido	8812,500	23			

Al realizar el gráfico de medias de la turbidez del agua residual después del tratamiento, se encontró menores valores de turbidez con la velocidad lenta de 60 RPM con un valor promedio de 70,75 NTU, mientras que para la velocidad lenta de 40 RPM con un valor promedio de 96,75 NTU (Figura 1).

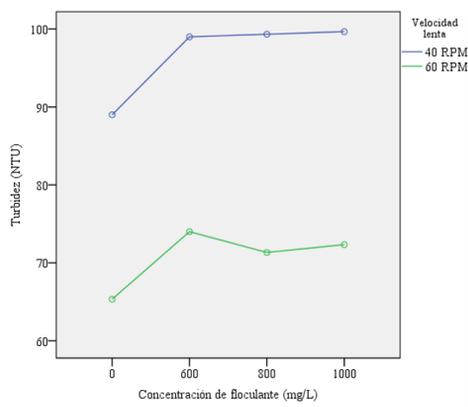


Figura 2. Gráfico de medias de los tratamientos

Análisis del pH

El menor valor del pH del agua residual se obtuvo para el tratamiento 0 mg/L x 40 RPM con un valor de 6,97; mientras que el mayor valor de pH se obtuvo para el tratamiento 1000 mg/L x 60 RPM con un valor de 7,32 (Tabla 2).

Tabla 2. Valor del pH de los tratamientos

Tratamiento	Descripción	pH
T1	0 mg /L x 40 RPM	6,97
T2	600 mg/L x 40 RPM	7,20
T3	800 mg/L x 40 RPM	7,26
T4	1000 mg/L x 40 RPM	7,26
T5	0mg /L x 60 RPM	7,21
T6	600 mg/L x 60 RPM	7,28
T7	800 mg/L x 60 RPM	7,31
T8	1000 mg/L x 60 RPM	7,32

Índice Willcomb

El menor valor del índice de Willcomb se obtuvo para los tratamientos 0 mg /L x 40 RPM y 0 mg /L x 60 RPM con un valor de 2, es decir un flóculo visible, uniformemente distribuido y con una sedimentación lenta. Mientras que mayor era el valor del índice de Willcomb, se obtuvo para los tratamientos 1000 mg /L x 40 RPM y 800 mg /L x 60 RPM con un valor de 6; es decir, se obtuvo un flóculo de tamaño considerablemente grande, pero que precipita con lentitud (Tabla 3).

Tabla 3. Índice de Willcomb en los tratamientos

Tratamiento	Descripción	Eficiencia porcentual (%)
T1	0 mg /L x 40 RPM	2
T2	600 mg/L x 40 RPM	4
T3	800 mg/L x 40 RPM	4
T4	1000 mg/L x 40 RPM	6
T5	0 mg /L x 60 RPM	2
T6	600 mg/L x 60 RPM	4
T7	800 mg/L x 60 RPM	6
T8	1000 mg/L x 60 RPM	4

Eficiencias de remoción de turbidez

La mayor eficiencia de remoción de turbidez del agua residual se obtuvo con el tratamiento de 0 mg/L x 60 RPM con un valor de 50,51%; mientras que la menor eficiencia se obtuvo con 1000 mg/L x 40 RPM con un valor de 24,49% (Tabla 4).

Tabla 4. Eficiencias de remoción de turbidez

Tratamiento	Descripción	Eficiencia porcentual (%)
T1	0 mg /L x 40 RPM	32,58
T2	600 mg/L x 40 RPM	25,00
T3	800 mg/L x 40 RPM	24,75
T4	1000 mg/L x 40 RPM	24,49
T5	0 mg /L x 60 RPM	50,51
T6	600 mg/L x 60 RPM	43,94
T7	800 mg/L x 60 RPM	45,96
T8	1000 mg/L x 60 RPM	45,20

DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos, podemos determinar que el uso de la harina de cáscara de cacao para la remoción de turbidez en aguas residuales domésticas es eficiente con la velocidad lenta de 60 RPM con un valor promedio de 70,75 NTU, mientras que la velocidad lenta con 40 RPM dio como valor promedio de 96,75 NTU. Consecutivamente en el análisis de varianza se encontró un p-valor de 0,001 para el factor velocidad lenta; es decir, existe diferencia significativa de turbidez para los dos valores de velocidad lenta. Por otro lado, para el factor concentración de floculante, el p-valor fue de 0,737; es decir, no existe diferencia significativa de la turbidez para los cuatro valores de concentración de floculante. De acuerdo con Barreto y Vargas⁸, quienes utilizaron como coagulante natural materia prima de aguacate y mucílago de café, encontraron que el derivado de aguacate pudo remover un 44,27% de turbidez, mientras que la solución de mucílago de café con buffer de fosfato fue el que tuvo un mejor resultado consiguiendo una remoción remover 65% de turbidez. De la misma forma, Aguirre y colaboradores⁹ afirman que en su investigación aplicaron variedades de coagulantes de origen vegetal, tales como moringa, cactus, neem y maíz, con tiempo de coagulación de 10 segundos a 120 RPM (mezcla rápida), floculación de 20 minutos a 45 RPM y sedimentación de 20 minutos, obteniendo el valor más alto de remoción de turbidez en la moringa, logrando remover un 96,8%. Así como lo confirma Vásquez¹⁰, manifestando en su investigación la importancia y eficiencia de la moringa oleífera como coagulante de origen vegetal para la remoción de turbidez, teniendo como metodología 5 tratamientos de 400 mg cada uno, con

distintas dosis (0 mL, 10 mL, 15 mL, 20 mL, 25 mL y 30 mL), el tiempo de floculación fue de 30 minutos, obteniendo la dosis óptima de 15 mg con 0 UNT, obteniéndose un 100% de remoción. Massa también¹¹ utilizó como coagulante natural las semillas de guanábana (*Anona muricata*) en la tratabilidad de aguas residuales domésticas, aplicando una cantidad de 0,8 g/500 mL, logrando remover un 54,78% de turbiedad. Igualmente cabe señalar que el coagulante de origen vegetal afectó ligeramente el pH del agua, hallándose entre 8,92 y 7,58. Por otro lado, Davirán utilizó⁷ los residuos de la cáscara de cacao para elaborar un coagulante natural, con el cual obtuvo un porcentaje de remoción de turbidez del 91,2%, mientras que la eficiencia para los sólidos suspendidos fue 48,78% y para el color fue 73,19%.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Peruana Unión campus Tarapoto por facilitarnos el laboratorio donde se desarrolló la investigación. Asimismo, agradecemos al señor Carlos Campos Amasifuén por brindarnos la materia prima para la obtención de la harina de cacao.

CONCLUSIONES

Se encontró un p-valor de 0,001 para el factor velocidad lenta; es decir, existe diferencia significativa de la turbidez para los dos valores de velocidad lenta. Para el factor concentración de floculante, el p-valor fue 0,737; es decir, no existe diferencia significativa de la turbidez para los cuatro valores de concentración de floculante. Asimismo, el p-valor para la interacción (velocidad lenta * concentración) fue 0,737; es decir, no fue significativo. Se concluye que el uso de floculantes naturales es una alternativa sustentable para la remoción de turbidez del agua residual doméstica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carrasquero SJ, Montiel S, Faría ED, Parra PM, Marin JC, Díaz AR. Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. Revista Facultad de Ciencias Básicas. 2017; 13(2), 90–99.
2. Oxfam. Entre 7 y 8 millones de peruanos no tienen acceso a agua potable [Internet]. 2022. [Citado 02 nov 2022]. Disponible en: <https://peru.oxfam.org/qué-hacemos-ayuda-humanitaria/entre-7-y-8-millones-de-peruanos-no-tienen-acceso-agua-potable>
3. Choque D, Choque Y, Solano A, Ramos B. Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. Tecnol Química. 2018;38(2):298–309.
4. Cabrera N, Simancas E, Hernández A. Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera* en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. Prospectiva. 2018;16(2):94–9.

5. Ortiz V, López G, Torres CA, Pampillón L. Almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas/Cassava Starch (*Manihot esculenta Crantz*) As a coadjuvant in the coagulation flocculation of domestic wastewater. CIBA Rev Iberoam las Ciencias Biológicas y Agropecu. 2018;7(13):18–46.
6. López J, López M. Actividad coagulante del mucílago de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) para remover turbidez y color en el tratamiento de aguas. [Tesis de pregrado]. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana; 2020.
7. Daviran J. Remoción de turbiedad y sólidos suspendidos totales con la utilización de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) como coagulante natural en las aguas del Río Chillón. [Tesis de pregrado]. Callao: Universidad Nacional del Callao; 2021.
8. Barreto J, Vargas D. Evaluación de la eficiencia de la semilla de aguacate y mucílago de café como coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales domesticas. [Tesis de pregrado]. Bogotá: Universidad Libre; 2019.
9. Aguirre SE, Piraneque NV, Cruz RK. Sustancias Naturales: Alternativa para el tratamiento de agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. Inf Tecnológica. 2018;29(3):59–70.
10. Vasquez M. Diseño de la operación de clarificación empleando la moringa como coagulante y floculante natural para la reducción de la turbidez del agua. [Tesis de pregrado]. Huánuco: Universidad Nacional "Hermilio Valdizán"; 2019.
11. Massa L. Semillas de Guanábana (anona moricata) como coagulante-floculante orgánico en el tratamiento de aguas residuales domésticas del cercado de Ica. [Tesis de maestría]. Ica: Univesidad Nacional San Luis Gonzaga; 2019.