

ARTÍCULO ORIGINAL

OPTIMIZACIÓN DE DOS COAGULANTES NATURALES COADYUVADOS POR HIDRÓXIDO DE SODIO PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUAS DEL RÍO CAPLINA

OPTIMIZATION OF TWO NATURAL COAGULANTS CO-ADJUVED BY SODIUM HYDROXIDE FOR THE POTABILIZATION OF WATER FROM THE CAPLINA RIVER

 Eleocadio Dionisio Tirado Paz ^{1,2}

 María Fernanda Portugal Cruz ^{1,3}

 José Antonio Apaza Atencio ^{1,4}

 Leo Ulises Michael Tirado Rebaza ^{1,5}

Recibido: 27/11/2021
Aceptado: 10/05/2022

RESUMEN

Los coagulantes naturales son una alternativa viable para la aceleración de la sedimentación en el proceso de potabilización de aguas, con ciertos beneficios como la generación de lodos enriquecidos en nutrientes para ser aprovechados posteriormente y la inocuidad contra el ambiente, a diferencia de los coagulantes químicos. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo: Optimizar las dosis de moringa (*Moringa oleifera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) coadyudados por hidróxido de sodio como coagulantes para la potabilización de aguas del Río Caplina de Tacna. Se realizó un diseño factorial multinivel de 5 x 5 x 3 con un total 75 unidades experimentales y se evaluó las variables: pH y tiempo de sedimentación. El rendimiento de la moringa y la yuca para la preparación de coagulantes, fue del 75 % y 15.6 %, respectivamente. Se determinó que, a una concentración de NaOH a 0.0049 M, 3.2 g/L de almidón de yuca y, 0.1 g/L de polvo de semilla de moringa, se

¹ Universidad Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

² Magíster en Ciencias con mención en Computación e Informática. Doctor en Ciencias Ambientales Licenciado en Matemática. <https://orcid.org/0000-0002-8825-3146>. etiradop@unibg.edu.pe.

³ Egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, UNJBG. <https://orcid.org/0000-0002-6995-0739>. mportuqalc@unibg.edu.pe.

⁴ Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. <https://orcid.org/0000-0002-9012-4749>. joseaa@unibg.edu.pe.

⁵ Ingeniero Ambiental y Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. <https://orcid.org/0000-0002-6599-8866>. leotiradorebaza@gmail.com.



obtendrá la dosis óptima con un pH del agua tratada de 6.6 y un tiempo de sedimentación de 6 minutos. Se concluyó que se puede sustituir parcialmente este coagulante químico convencional.

Palabras claves: Dosis óptima, Manihot esculenta, Moringa oleifera.

ABSTRACT

Natural coagulants are a viable alternative to accelerate sedimentation in the water purification process, with certain benefits such as the generation of nutrient-enriched sludge to be used later and safety against the environment, unlike chemical coagulants. Therefore, the present study aimed to: Optimize the doses of moringa (*Moringa oleifera*) and cassava starch (*Manihot esculenta*) assisted by sodium hydroxide as coagulants for the purification of waters from the Caplina River in Tacna. A multilevel factorial design of 5 x 5 x 3 was carried out with a total of 75 experimental units and the variables were evaluated: pH and sedimentation time. The yield of moringa and cassava for the preparation of coagulants was 75% and 15.6%, respectively. It was determined that, at a concentration of NaOH at 0.0049 M, 3.2 g / L of cassava starch and 0.1 g / L of moringa seed powder, the optimal dose will be obtained with a pH of the treated water of 6.6 and a time sedimentation of 6 minutes. It was concluded that this conventional chemical coagulant can be partially substituted.

Keywords: Optimal dose, Manihot esculenta, Moringa oleifera.

INTRODUCCIÓN

La coagulación es el proceso más importante en la potabilización de aguas. Este consiste en la remoción de sólidos en suspensión, mediante la adición de ciertos insumos (Choque, Choque, Solano y Ramos, 2018). Actualmente, el producto más utilizado para este proceso, es el sulfato de aluminio (Meza, Riaños, Mercado, Olivero y Jurado, 2018), el cual ha sido vinculado con lesiones cerebrales humanas causada por el aluminio residual (Souza, Vanderley, Claudina, Carvalho, Celine, Barroso, Melo, Guedes, Elesbão, Napoleão, 2016), acarrea costos de adquisición considerables y en ocasiones no logra suplir su demanda (González, Rodríguez y Columbié, 2020). Este coagulante químico es efectivo, no obstante, produce un descenso del pH del agua (Oliveira, Teixeira y Oliveira, 2021) por lo que es necesario adicionar álcalis como el hidróxido de sodio (NaOH), a fin de neutralizarlo, incrementando los gastos para su aplicación.

Durante la última década, se ha dado un mayor interés al uso de coagulantes naturales (principalmente vegetales) debido a que estos no generan un cambio significativo en el pH (Saleem y Bachmann, 2019), son biodegradables, eficientes en la remoción de la turbidez del agua, producen una menor cantidad de lodos residuales que los coagulantes químicos (Abu, Abu, Sheikh, Azman y Hafizuddin, 2021), carecen de toxicidad en comparación con los convencionales (Souza, Vanderley, Claudina, Carvalho, Celine, Barroso, Melo, Guedes, Elesbão, Napoleão, 2016) y su principal mecanismo de coagulación es la adsorción y la neutralización de cargas (Feria, Mercado y Jove, 2020).

Diversos estudios han identificado que el tratamiento con *Moringa oleifera* es un método competitivo con las sales metálicas de sulfato de aluminio debido a que presenta una gran concentración de proteínas con propiedades coagulantes, las cuales la hacen ideal para la remoción de turbidez (Magalhães, Fonseca, Silva, Alves, Bezerra y Santos, 2020), además, no perjudica al ecosistema, y es más eficiente para algunos parámetros de calidad (Mera, Gutiérrez, Montes y Paz, 2016), siendo mínima la variación de pH y conductividad eléctrica (Rondón, Díaz, Rodríguez, Guerra., Fernández y Tabio, 2017).

Otro coagulante – floculante natural muy empleado es el almidón de *Manihot esculenta* (Ortiz, López, Torres y Pampillón, 2018), el cual presenta la mayor solubilidad (conteniendo 14.36 % de amilosa y 85.64 % de amilopectina) en comparación con los almidones de otros tubérculos (Zapata, Ludeña, Trasmonte y Cabrejos, 2020).

La elaboración de un coagulante natural a base de moringa y yuca es factible gracias a que ambas especies son fáciles de encontrar y cultivar, requiriendo poco cuidado para su crecimiento puesto que no consumen agua en grandes cantidades, facilitando su manejo y producción. En la ciudad de Tacna podemos encontrar cultivos de *Moringa oleifera* y *Manihot esculenta*, los cuales en los últimos años han tomado un gran protagonismo en el tema comercial. Estos potenciales coagulantes evidencian un mejor rendimiento empleando NaOH como coadyuvante (Matos, Cabanellas, Cecon, Brasil, Mudado, 2007; Fuentes, Molina, y Ariza, 2016).

Por lo tanto, el presente estudio tiene por objetivo general: Optimizar las dosis de moringa (*Moringa oleifera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) como coagulantes para la potabilización de aguas del Río Caplina y, como objetivos específicos:

- Determinar el rendimiento de moringa (*Moringa oleifera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) para la obtención de los coagulantes en seco.
- Determinar el tiempo de sedimentación de sedimentos y pH del agua tratada tras la aplicación de los coagulantes naturales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestras de agua

El presente estudio se realizó en septiembre del año 2017. Las muestras de agua fueron tomadas del canal del Río Caplina, en el distrito de Pocollay, ciudad de Tacna.

Tabla 1

Localización y características del lugar de estudio

Lugar	Coordenadas	Altitud (m.s.n.m.)	Clima
Tacna	17°59'58" S 72°13'46" O	670	Semi-cálido (desértico-árido-sub tropical)

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2014).

En la Tabla 1, se manifiesta la localización y características específicas del área de investigación. El clima se caracterizó según la metodología de Werren Thornthwaite.

Se siguió estrictamente el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, estipulado según Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. Se emplearon 40 litros de agua como muestra para la experimentación.

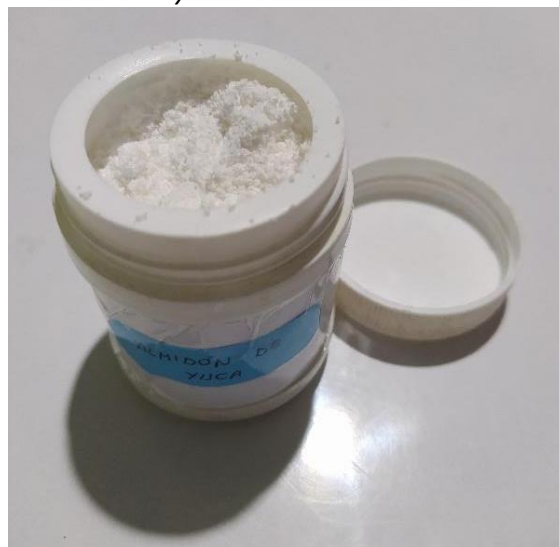
Obtención del polvo de semilla de moringa

Las semillas de moringa empleadas para la presente investigación fueron adquiridas en un mercado local y se descascararon con la consigna de obtener almendras (60 g). Debido a que la moringa presenta un alto contenido de aceite vegetal, este debe ser extraído para poder aprovechar netamente la proteína que las semillas contienen, de forma posterior a la realización de la molienda (Aziz, Jayasuriya y Fan, 2016) por lo cual, este aceite fue retirado manualmente, extendiendo el polvo aceitoso sobre papel absorbente y presionando con un rodillo hasta extraer la mayor cantidad posible. Finalmente se tamizó, obteniendo el polvo de semilla de moringa (Ver Figura 1).

Figura 1
Polvo de semilla de moringa



Figura 2
Almidón de yuca



Obtención del almidón de yuca

Las yucas empleadas para nuestra investigación, obtenidas en un mercado local, fueron íntegramente lavadas. Siguiendo la metodología de Cuadro y Rodas (2019), se peló y removió la cáscara y las raíces internas del tubérculo. Se obtuvieron 770 g de yuca, la cual fue rallada para reducir su tamaño y liberar los gránulos de almidón contenidos (Pajuelo, 2018). La yuca rallada fue sumergida en 3 litros de agua y amasada para que el almidón se extraiga con mayor eficacia. Después, se separó la pulpa utilizando un retazo de tela ejerciendo una gran presión. El jugo obtenido se dejó sedimentar por 12 horas en refrigeración replicando lo realizado por Moscozo (2016). Transcurrido el tiempo, el almidón sedimentado fue separado del agua. El producto obtenido se dejó secar al sol por 6 horas como lo indicó Estrada (2016). Finalmente se tamizó, obteniendo el almidón de yuca (Ver Figura 2).

Experimentación

Para la experimentación se empleó hidróxido de sodio (NaOH) al 98 % de pureza, producto químico escogido debido a su fácil disposición. Se obtuvieron 3 soluciones madre, a partir de la mezcla de agua destilada con: uno de los coagulantes naturales (semilla de moringa o almidón de yuca) o hidróxido de sodio. Estas fueron dispuestas en 3 recipientes de vidrio distintos, empleando vasos de precipitado de 50 ml, probetas de 10 ml y jeringas de precisión de 10 ml para los trasvases. Las soluciones madre fueron resueltas hasta lograr la desaparición de grumos. Se emplearon 75 botellas de vidrio en las que se dispuso 450 ml de agua del Río Caplina, a la cual se le adicionaron las soluciones madre.

Los componentes fueron suministrados uno por uno (por separado) a las muestras de agua del Río Caplina; debido a que al mezclar todas las soluciones madre al inicio, el almidón de yuca se gelificaba casi de forma instantánea al introducirlo en las muestras, truncando el proceso de remoción de sedimentos. Es por ello que posterior al llenado de botellas de vidrio con las muestras de agua, se procedió a añadir los coagulantes (semilla de moringa y almidón de yuca), seguidos del hidróxido de sodio. En última instancia, se realizó agitación manual por un minuto para homogeneizar. Para el cálculo del pH, se empleó papel tornasol y para el tiempo de sedimentación, un cronómetro que era detenido cuando se apreciaban íntegramente las dos fases (en la que la primera estaba conformada por agua totalmente clara).

Con respecto a las muestras de agua a las que únicamente se les añadía hidróxido de sodio (NaOH), estas lograban su clarificación, sin embargo, dejaban sedimentos en gran proporción en la parte superior (flotando) y unos pocos, en la parte media, sin llegar a precipitar íntegramente.

Diseño de investigación

Se realizó un diseño factorial multinivel de 5 x 5 x 3 con un total 75 unidades experimentales como se muestra en la Tabla 2 (se realizaron todas las combinaciones posibles). Se aplicó hidróxido de sodio (NaOH) a diferentes concentraciones a los coagulantes naturales, para liberar las proteínas contenidas en el polvo de moringa (Moreno, 2018) y, liberar la amilosa y amilopectina presentes en el almidón de yuca (Cabrera y Ramirez, 2014).

El análisis de resultados se llevó a cabo empleando el paquete estadístico Statgraphics XVI.

Tabla 2*Descripción del diseño factorial multinivel*

Factores	Niveles					Unidades
Dosis de coagulante de polvo de moringa	4.000	3.000	2.000	1.000	0.000	g/L
Dosis de coagulante de almidón de yuca	4.000	3.000	2.000	1.000	0.000	g/L
Concentración de NaOH	0.010	0.005	0.000	-	-	M

RESULTADOS

Determinación del rendimiento coagulante de las semillas de moringa y el almidón de yuca: El peso inicial de las semillas de moringa (*Moringa oleifera*) fue de 60 g. Sin embargo, al obtener el polvo de semilla y tamizar se obtuvo 45 g. Por lo tanto, se obtuvo un rendimiento del 75 %. En el caso de la yuca (*Manihot esculenta*), luego de ser cortada y pelada, su peso inicial fue de 770 g. Empero, al obtener el almidón de yuca y tamizarlo, se obtuvo 120 g. Por ende, se obtuvo un rendimiento del 15.6 %, un rendimiento bajo en comparación con la semilla de moringa.

Determinación del tiempo de sedimentación y pH del agua tratada con los coagulantes de moringa y almidón de yuca coadyuvados por hidróxido de sodio: En la Tabla 3, se puede observar a partir del análisis de varianza para el tiempo de sedimentación que existen diferencias significativas a un nivel de confianza del 95 %, en la concentración de NaOH y en la interacción entre las dosis de moringa y almidón de yuca (AB). Asimismo, se dilucida la aparente formación de un modelo matemático cuadrático, debido a que tanto la dosis de coagulante de almidón de yuca, como la concentración de NaOH, al ser elevadas al cuadrado, manifiestan tener un nivel de significancia de consideración. Se obtuvo un coeficiente de variabilidad del 13.9 %. Las Figuras 3 y 4 evidenciaron las superficies de respuesta para las variables en estudio.

Tabla 3*Análisis de varianza para el tiempo de sedimentación (min)*

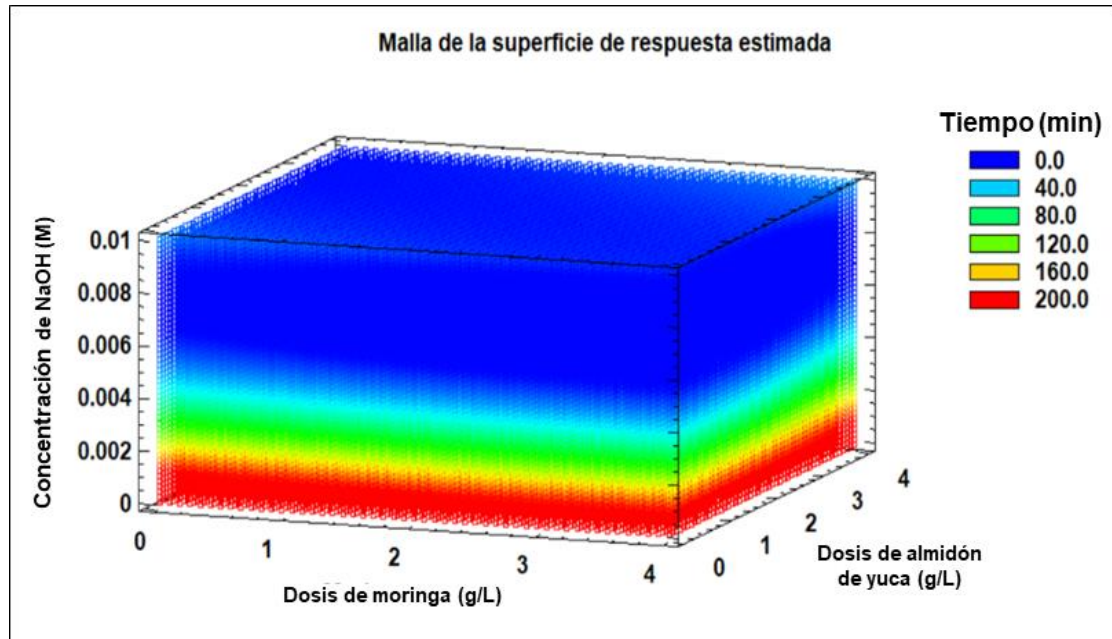
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Razón-F	Valor-P
A: Dosis de coagulante de moringa	6.82667	1	0.04	0.8413
B: Dosis de coagulante de almidón de yuca	238.14	1	1.41	0.2395
C: Concentración de NaOH	776507	1	4594.62	0.0000
AA	128.076	1	0.76	0.3872
AB	2054.08	1	12.15	0.0009
AC	106.09	1	0.63	0.4311
BB	917.719	1	5.43	0.0229
BC	163.84	1	0.97	0.3285
CC	253381.	1	1499.27	0.0000
Error	10985.2	65		
Total	1044490	74		

CV = 13.9 %

El modelo matemático se ajusta a un 98.9 %, y se muestra a continuación:

$$\text{Tiempo de sedimentación} = - (9.174) A - (16.135) B - (75168.0) C + (2.617) AB + (206.0) AC + (256.0) BC + (0.781) A^2 + (2.090) B^2 + (4932000.0) C^2 + 282.123$$

Figura 3
Superficie de respuesta para el tiempo de sedimentación



En la Tabla 4 del análisis de varianza para el pH del agua tratada, existe diferencia significativa al 95 % de confianza en la concentración de NaOH y la dosis de coagulante de almidón de yuca además de las interacciones, con un coeficiente de variabilidad del 3.21 %.

Tabla 4
Análisis de varianza para el pH del agua tratada

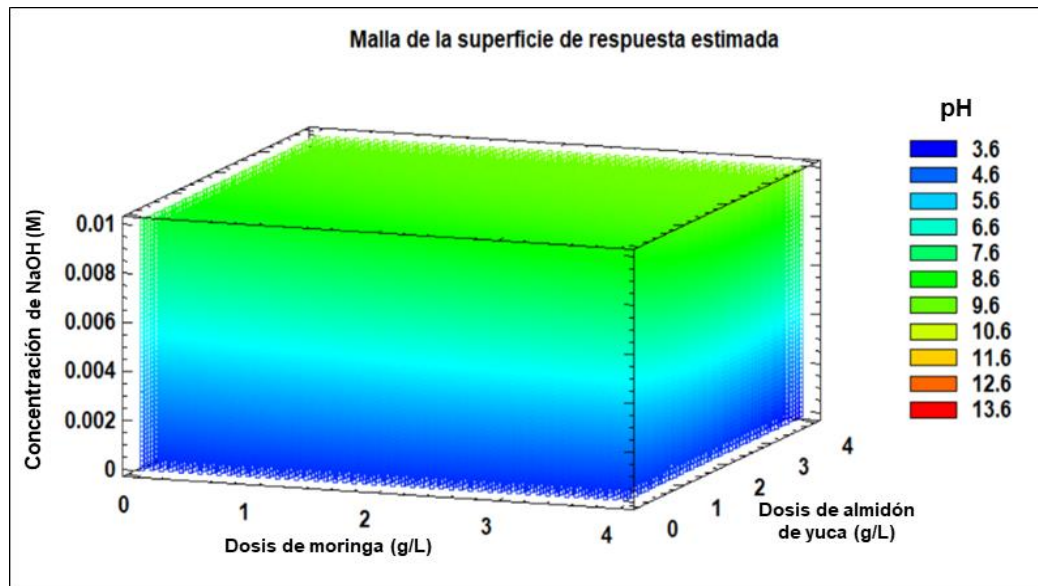
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Razón-F	Valor-P
A: Dosis de coagulante de moringa	0.1014	1	2.29	0.1350
B: Dosis de coagulante de almidón de yuca	3.87207	1	87.48	0.0000
C: Concentración de NaOH	329.731	1	7449.25	0.0000
AA	0.0347143	1	0.78	0.3791
AB	0.229633	1	5.19	0.0260
AC	0.6889	1	15.56	0.0002
BB	1.14405	1	25.85	0.0000
BC	2.5281	1	57.11	0.0000
CC	0.24	1	5.42	0.0230
Error total	2.87714	65		
Total	341.447	74		

CV = 3.21%

El modelo matemático se ajusta a un 99.1 %, y se muestra a continuación:

$$\text{pH} = (0.050) A + (0.352) B + (368.8) C - (0.028) AB + (16.6) AC + (31.8) BC - (0.013) A^2 - (0.074) B^2 + (4800.0) C^2 + 3.847$$

Figura 4
Superficie de respuesta para pH del agua tratada



Con la finalidad de congregar los resultados obtenidos limitando en la que medida que es posible el uso del hidróxido de sodio como coadyuvante, se determinó tras aplicar el máximo ascenso que la dosis óptima se da una concentración de NaOH a 0.0049 M, 3.2 g/L de almidón de yuca y 0.1 g/L de polvo de semilla de moringa, logrando un pH de 6.6, el cual está permitido según los Estándares de Calidad Ambiental del Agua de Categoría A1: Poblacional y Recreacional para aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, la cual indica que el potencial de hidrógeno puede variar desde 6.5 a 8.5 (Ministerio del Ambiente, 2017) y un tiempo de sedimentación de 6 minutos, siendo 60 veces más eficiente que la sedimentación sin tratamiento (360 minutos).

DISCUSIÓN

En cuanto a la obtención del polvo de semilla de *Moringa oleífera*, Rondón, Díaz, Rodríguez, Guerra., Fernández y Tabio (2017) consideran emplear la torta residual obtenida de la extracción de su aceite para darle un uso adicional, lo cual incrementaría su valor ambiental. Asimismo, la parte no empleada de *Manihot esculenta*, tras la extracción de su almidón, también podría ser reaprovechada para la realización de abonos orgánicos a partir del compostaje o la lombricultura. El rendimiento del 75 % y 15.6 % para su aplicación como coagulantes obtenidos a partir de la moringa y la yuca, respectivamente no resulta muy alentador, por lo cual, Gandiwa, Moyo, Ncube, Mamvura, Mguni y Hlabangana (2020) recomiendan investigar a mayor profundidad aspectos vinculados a la extracción, conservación y vida útil para determinar las condiciones necesarias para obtener mejores resultados y rendimientos superiores.

Según Nonfodji, Fatombi, Ahoyo, Osseni y Aminou (2020) y David, Narlawar y Arivazhagan (2016), el alto rendimiento del polvo de semilla de moringa como coagulante permitiría sustituir parcialmente al sulfato de aluminio; debido a que las proteínas catiónicas presentes en las semillas de moringa son las responsables de la neutralización de cargas. Esto no fue corroborado en la presente investigación debido a que se determinó que es posible precipitar sedimentos de forma más veloz utilizando principalmente el hidróxido de sodio y el almidón de yuca, requiriendo una ínfima parte del polvo de semilla de moringa.

Aunado a ello, Magalhães, Fonseca, Silva, Alves, Bezerra y Santos (2020) al comparar los dos métodos de obtención de moringa con y sin la extracción del aceite determinaron que, aunque se puede obtener un valor mayor de rendimiento del coagulante sin aceite, la diferencia entre los dos procesos solo es del 0.70 %, por lo que su contraste no es significativo. Por lo tanto, se esperó mayor aporte de este coagulante mundialmente utilizado. Por otro lado, Carrizales y Enríquez (2019) expresaron que la concentración óptima de la *Moringa oleífera* para turbiedades de hasta 150 UNT se encuentra dentro del rango de 2 a 3 %, corroborándose en el estudio realizado que dicha concentración puede acelerar la sedimentación, usando concentraciones bajas, pero se necesita la ayuda de otro coagulante como el almidón de yuca para obtener resultados óptimos.

Por ello, para poder liberar las propiedades de las semillas de moringa, Villaseñor, Astudillo, Del Real y Bandala (2018) mencionan que los mejores solventes para la extracción de los componentes activos del coagulante natural de las semillas de *Moringa oleífera* son el NaCl y el KCl, los cuales permiten aumentar la remoción de turbiedad del agua. Sin embargo, en la presente investigación, debido a la carencia de estos compuestos y basándonos en lo determinado por Moreno (2018) se empleó NaOH como solvente, lo cual no resultó favorable para la moringa.

Según Ceron y Garzon (2015) en la medida que el pH del agua tiende a ser alcalino, la eficiencia de remoción de turbiedad del coagulante solamente compuesto por *Moringa oleífera* tiende a incrementarse. Este estudio demuestra que para tener un pH neutro y/o dentro de los parámetros se debe disminuir la dosis de moringa, debido a que el pH en el canal del Rio Caplina es de 4. Cabe mencionar que Solís, Laines, y Hernández (2012) alegan que empleando almidón de yuca mezclado con sulfato de aluminio (agente coagulante) como agente coadyuvante en la aceleración de la sedimentación en aguas, se podría reducir el costo económico, el impacto ambiental y los efectos a la salud pública. Efectivamente el almidón de yuca es un coagulante natural muy efectivo en cuanto se liberen sus propiedades con solventes alcalinos como el NaOH para que pueda actuar eficazmente, mediante la gelificación en frío; ya que este libera sus moléculas de amilosa y amilopectina por medio del NaOH o a 70 °C de temperatura.

Fuentes, Molina, y Ariza (2016) tras su estudio, determinaron las condiciones óptimas de los coagulantes naturales, demostrando que son eficientes, seguros y económicos para el tratamiento de aguas, con menor generación de lodos, gracias a los mecanismos de adsorción y neutralización de cargas, lo cual fue corroborado con el presente estudio. Sin embargo, Ang y Mohammad (2020) plantean que los agentes utilizados como coagulantes naturales deben someterse a la extracción de sus componentes con propiedades coagulantes, ya que si se aplica el agente completo puede aumentarse el contenido de materia orgánica en el agua tratada. Siendo de total importancia el liberar su capacidad como coagulante por solventes. En el caso del almidón de yuca, el NaOH es muy efectivo, pero en combinación con moringa,

puede ser aplicado otro tipo de solvente que ayude a liberar sus proteínas eficazmente, aunque empleando los 3 juntos, se obtuvieron resultados satisfactorios.

CONCLUSIONES

Se pudo determinar el rendimiento del coagulante de polvo de semilla de moringa estimado en un 75 % y, el coagulante de almidón de yuca, estimado en un 15.6 %. Al tener un mayor rendimiento, el polvo de semilla de moringa puede ser una alternativa económicamente viable.

Se determinó que la dosis óptima se da a una concentración de NaOH a 0.0049 M, 3.2 g/L de almidón de yuca y 0.1 g/L de polvo de semilla de moringa, con un tiempo de sedimentación de 6 minutos y un pH permitido de 6.6.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu, S., Abu, H., Sheikh, S., Azman, N., y Hafizuddin, M. (2021). A review of the production process of bacteria-based polymeric flocculants. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101915. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714421000027>
- Ang, W., y Mohammad, A. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121267. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620313147>
- Aziz, N., Jayasuriya, N., y Fan, L. (2016). Adsorption study on *Moringa oleifera* seeds and *Musa cavendish* as natural water purification agents for removal of lead, nickel and cadmium from drinking water. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 136, 012044. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/136/1/012044>
- Cabrera, G. y Ramirez, J. (2014). *Almidón extraído de la yuca (Manihot esculenta crantz) como coagulante alternativo para tratamiento del agua de la quebrada Yamuesquer Municipio de Potosí* (tesis de grado). Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. Obtenido de <http://sired.udenar.edu.co/2962/>
- Carrizales, R., y Enríquez, N. A. (2019). *Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de Moringa oleifera en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica* (tesis de grado). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2628>
- Ceron, I. y Garzon, N. (2015). *Evaluación de la semilla de Moringa oleifera como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del Río Bogotá en su paso por el Municipio de Villapinzón, Cundinamarca* (proyecto de grado). Universidad Libre, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.unilivre.edu.co/handle/10901/8109>
- Choque, D., Choque, Y., Solano, A., y Ramos, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200008
- Cuadro, W. y Rodas, J. (2019). *Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleifera en tratamiento de aguas superficiales* (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33216>
- David, C., Narlawar, R., y Arivazhagan, M. (2016). Performance Evaluation of Moringa oleifera Seed Extract (MOSE) in Conjunction with Chemical Coagulants for Treating Distillery Spent Wash. *Indian Chemical Engineer*, 58(3), 189–200. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00194506.2015.1006147?scroll=top&needAccess=true>

- Estrada, L. (2016). *Evaluación del rendimiento del almidón de yuca (Manihot esculenta) modificado con hidróxido de sodio en mezclas con diferentes coagulantes inorgánicos, en comparación con la poliamina N-50* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5921/>
- Feria, J., Mercado, T., y Jove, F. (2020). Uso del quitosano como coagulante natural en el tratamiento de aguas: una breve revisión. *Revista Espacios*, 41(32), 106-116. Obtenido de <http://www.sweetpoison.revistaespacios.com/a20v41n32/a20v41n32p10.pdf>
- Fuentes, N., Molina, E., y Ariza, C. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(2), 41-54. Obtenido de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1238>
- Gandiwa, B., Moyo, L., Ncube, S., Mamvura, T., Mguni, L., y Hlabangana, N. (2020). Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: (*Moringa Oleifera-Cactus Opuntia*-alum blend). *South African Journal of Chemical Engineering*, 34, 158-164. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1026918520300378>
- González, Y., Rodríguez, L., y Columbié, L. (2020). Producción de sulfato de aluminio a partir del caolín existente en Cuba. *Revista Cubana de Ingeniería*, 11(2), 58-65. Obtenido de <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/748/pdf>
- Magalhães, E., Fonseca, N., Silva, F., Alves, J., Bezerra, M. y Santos, E. (2020). Effect of oil extraction on the composition, structure, and coagulant effect of *Moringa oleifera* seeds. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123902. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620339470>
- Matos, A., Cabanellas, C., Cecon, P., Brasil, M. y Mudado, C. (2007). Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. *Revista Engenharia Agrícola*, 27(2), 544-551. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/eagri/a/KLGCC9tLj448yBqc4Kj5Z6k/?format=pdf&lang=pt>
- Mera, C., Gutiérrez, M., Montes, C., y Paz, J. (2016). Efecto de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 100-109. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S169235612016000200012
- Meza, M., Riaños, K., Mercado, I., Olivero, R., y Jurado, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleifera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104. Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/8084>
- Ministerio del Ambiente (2017). Decreto Supremo N° 004-2017.MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- Moreno, G. (2018). *Aplicación de semilla de Moringa oleifera Lam, como alternativa coagulante de agua almacenada en el municipio de Zirándaro, Gro* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca de Lerdo, México. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/95033>
- Moscozo, L. (2016). Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación. *Agua, Saneamiento y Ambiente*, 11(1), 13-17. Obtenido de <http://www.revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/rcasa/article/view/996>
- Nonfodji, O., Fatombi, J., Ahoyo, T., Osseni, S., y Aminou, T. (2020). Performance of *Moringa oleifera* seeds protein and *Moringa oleifera* seeds protein-polyaluminum chloride composite coagulant in removing organic matter and antibiotic resistant bacteria from hospital wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 101103. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714419316897>
- Oliveira, F., Teixeira, R. y Oliveira, C. (2021). Efficacy of two natural tannins-based polymers in contrast to aluminum sulfate for drinking water production. *Cleaner Engineering and Technology*, 3, 100099. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821000598>
- Pajuelo, M. (2018). *Determinación de la velocidad de sedimentación utilizando el almidón de Manihot esculenta (yuca), para la clarificación de las aguas superficiales del río Macashca* (tesis de

- pregrado). Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", Ancash, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2833>
- Rondón, M., Díaz, Y., Rodríguez, S., Guerra, B., Fernández, E., y Tabio, D. (2017). Empleo de semillas de *Moringa oleifera* en el tratamiento de residuales líquidos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 87-101. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000200007
- Saleem, M., y Bachmann, R. (2019). A contemporary review on plant-based coagulantes for applications in wáter treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 72, 281-297. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X18314965?via%3Dihub>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2014). Mapa climático del Perú (en línea, sitio web). Consultado 06 abr. 2021. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/php?dp=tacna&p=mapa-climatico-del-peru>.
- Solís, R., Laines, J., y Hernández, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3), 229-236. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300005
- Souza, J., Vanderley, K., Claudina, A., Carvalho, S., Celine, M., Barroso, L., Melo, M., Guedes, P., Elesbão, A., y Napoleão, T. (2016). Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble *Moringa oleifera* seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted streamwater. *Chemosfere*, 163, 133-141. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653516310360?via%3Dihub>
- Ortiz, V., López, G., Torres, C., y Pampillón, L. (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 7(3), 18-46. Obtenido de <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/73>
- Villaseñor, D., Astudillo, P., Del Real, J., y Bandala, E. (2018). Wastewater treatment using *Moringa oleifera* Lam seeds: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 23, 151-164. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714418300990>
- Zapata, D., Ludeña, A., Trasmonte, W., y Cabrejos, E. (2020). Biopelícula a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y mandioca (*Manihot esculenta*). *Revista Pakamuros*, 8(4), 15-30. Obtenido de <http://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/146>