

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL ALMIDÓN DE YUCA (*MANIHOT ESCULENTA*)
COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL RIO
UCHUSUMA, TACNA - 2024**

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF CASSAVA STARCH (*MANIHOT ESCULENTA*)
AS A NATURAL COAGULANT FOR THE REMOVAL OF TURBIDITY FROM THE
UCHUSUMA RIVER, TACNA - 2024**

Autores: ¹Gina Milagros Arocutipap Phatti y ²Meribel Aquise Ramos.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8567-7851>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5703-6555>

¹E-mail de contacto: gmarocutipap@unjbg.edu.pe

²E-mail de contacto: maquiser@unjbg.edu.pe

Afiliación: ^{1*2*}Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 11 de Agosto del 2025

Artículo revisado: 15 del Agosto del 2025

Artículo aprobado: 1 de Septiembre del 2025

¹Estudiante del VI ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

²Estudiante del VI ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Resumen

Uno de los principales problemas en el agua del Río Caplina, que abastece una planta de potabilización en Tacna, es la alta turbidez y color. Para abordar este problema, se utilizan comúnmente coagulantes químicos, los cuales presentan desventajas por su persistencia en el ambiente y el cuerpo humano, además de generar potenciales efectos tóxicos a largo plazo. El almidón de yuca (*Manihot esculenta*), un coagulante natural, ha sido propuesto como una alternativa para reducir la turbidez del agua sin los riesgos asociados a los productos químicos convencionales. El objetivo de este trabajo fue determinar la efectividad del almidón de yuca para remover la turbidez del agua del Río Caplina, y evaluar su impacto en la toxicidad del agua tratada. Utilizando un diseño completamente al azar, se determinó que la dosis óptima de almidón de yuca es de 3 g, logrando una reducción de la turbidez inicial en un 97.41% mediante un proceso de mezcla y posterior sedimentación. Además, se evaluó la toxicidad del agua tratada utilizando pruebas de bioensayos en organismos acuáticos, como peces y microcrustáceos, lo que demostró que el almidón de yuca no presenta efectos tóxicos significativos en los organismos expuestos. En conclusión, el tratamiento con almidón de yuca a dosis mínimas no solo resultó ser altamente efectivo en la remoción de turbidez, sino que también demostró ser seguro y no tóxico para

los ecosistemas acuáticos. Este estudio sugiere que el almidón de yuca es una alternativa prometedora y ecológica a los coagulantes químicos, con el beneficio adicional de no generar riesgos de toxicidad a largo plazo para los seres humanos y el medio ambiente.

Palabras clave: Almidón de yuca, Remoción, Dosis, Agua, Río Uchusuma.

Abstract

One of the main problems in the water of the Caplina River, which supplies a water treatment plant in Tacna, is its high turbidity and color. Chemical coagulants are commonly used to address this problem, but they have disadvantages due to their persistence in the environment and the human body, in addition to generating potential long-term toxic effects. Cassava starch (*Manihot esculenta*), a natural coagulant, has been proposed as an alternative to reduce water turbidity without the risks associated with conventional chemicals. The objective of this study was to determine the effectiveness of cassava starch in removing turbidity from the Caplina River and to evaluate its impact on the toxicity of the treated water. Using a completely randomized design, the optimal dose of cassava starch was determined to be 3 g, achieving a 97.41% reduction in initial

turbidity through a mixing and subsequent sedimentation process. Furthermore, the toxicity of the treated water was assessed using bioassay tests on aquatic organisms, such as fish and microcrustaceans, demonstrating that cassava starch did not present significant toxic effects on exposed organisms. In conclusion, treatment with cassava starch at minimal doses was not only highly effective in removing turbidity but also proved to be safe and nontoxic to aquatic ecosystems. This study suggests that cassava starch is a promising and environmentally friendly alternative to chemical coagulants, with the added benefit of posing no long-term toxicity risks to humans and the environment.

Keywords: Cassava starch, Removal, Dose, Water, Uchusuma River.

Resumo

Um dos principais problemas da água do Rio Caplina, que abastece uma estação de tratamento de água em Tacna, é sua alta turbidez e coloração. Coagulantes químicos são comumente utilizados para tratar esse problema, mas apresentam desvantagens devido à sua persistência no ambiente e no corpo humano, além de gerar potenciais efeitos tóxicos a longo prazo. O amido de mandioca (*Manihot esculenta*), um coagulante natural, tem sido proposto como uma alternativa para reduzir a turbidez da água sem os riscos associados aos produtos químicos convencionais. O objetivo deste estudo foi determinar a eficácia do amido de mandioca na remoção da turbidez do Rio Caplina e avaliar seu impacto na toxicidade da água tratada. Utilizando um delineamento inteiramente casualizado, a dose ótima de amido de mandioca foi determinada em 3 g, alcançando uma redução de 97,41% na turbidez inicial por meio de um processo de mistura e subsequente sedimentação. Além disso, a toxicidade da água tratada foi avaliada por meio de bioensaios em organismos aquáticos, como peixes e microcrustáceos, que demonstraram que o amido de mandioca não apresentou

efeitos tóxicos significativos nos organismos expostos. Conclui-se que o tratamento com amido de mandioca em doses mínimas não só foi altamente eficaz na remoção da turbidez, como também se mostrou seguro e atóxico para os ecossistemas aquáticos. Este estudo sugere que o amido de mandioca é uma alternativa promissora e ecologicamente correta aos coagulantes químicos, com o benefício adicional de não apresentar riscos de toxicidade a longo prazo para os seres humanos e o meio ambiente.

Palavras-chave: Amido de mandioca, Remoção, Dosagem, Água, Rio Uchusuma.

Introducción

El almidón de yuca es un polisacárido natural obtenido de la raíz de la *Manihot esculenta*, que está compuesto principalmente por amilosa y amilopectina, las cuales le otorgan propiedades físico-químicas que pueden ser aprovechadas en procesos de coagulación y floculación en el tratamiento de aguas. Su estructura le permite interactuar con partículas coloidales cargadas negativamente, neutralizando sus cargas y favoreciendo la formación de flóculos más grandes y sedimentables. A diferencia de los coagulantes sintéticos, como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico, el almidón de yuca es biodegradable, no tóxico, económico y reduce la generación de subproductos nocivos. En el campo de la ingeniería ambiental, los coagulantes naturales como este representan una alternativa sostenible y amigable con el medio ambiente, pues aprovechan recursos locales de fácil obtención. En el presente estudio, el almidón de yuca se evalúa en diferentes concentraciones, con el propósito de determinar cuál es la dosis más adecuada para lograr una eficiencia óptima en la clarificación del agua. Así, se busca comprobar su efectividad como coagulante natural frente a la problemática de turbidez en el río Uchusuma (Ormaza et al., 2025; Cabrera y Ramírez, 2014).

La turbidez del agua es una propiedad física que se refiere a la presencia de partículas en suspensión, tales como arcillas, limos, materia orgánica, microorganismos y otros sólidos que afectan su transparencia. Se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) mediante un turbidímetro, y constituye un parámetro fundamental en la evaluación de la calidad del agua, tanto para consumo humano como para procesos industriales. Una alta turbidez no solo afecta la estética del agua, sino que también dificulta la desinfección y puede ser un indicador indirecto de contaminación microbiológica. En este estudio, la variable dependiente corresponde a la reducción de la turbidez inicial del agua del río Uchusuma tras aplicar el tratamiento con almidón de yuca como coagulante natural. La eficiencia del proceso se determinará mediante la comparación entre la turbidez antes y después del tratamiento, expresada en porcentaje de remoción. Este parámetro permitirá comprobar si el almidón de yuca es capaz de disminuir de manera significativa las partículas suspendidas, contribuyendo así a mejorar la calidad del agua y ofreciendo una alternativa viable frente al uso de productos químicos tradicionales.

La contaminación del agua superficial es un problema ambiental de gran relevancia a nivel mundial. Uno de los principales contaminantes que afecta la calidad del agua es la turbidez, la cual se produce por la presencia de partículas suspendidas como arcillas, limos, materia orgánica y microorganismos (Rivero, 2017; Martínez y Martínez, 2024).. Esta turbidez dificulta los procesos de potabilización y puede tener efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos (Gae et al., 2005; Donado, 2023). La escasez de agua potable y la contaminación en países en vía de desarrollo de nota un problema que se agrava diariamente, por lo que se investigan constantemente alternativas que

brinden la posibilidad de mejorar la calidad del agua para el consumo humano; de fácil acceso y beneficiosa para las poblaciones que más lo necesiten (Reyes y Guevara, 2018). El tratamiento de agua se define como un proceso con operaciones físicas, químicas y biológicas, cuyo objetivo es la eliminación y/o reducción de la contaminación o de las características no deseables. Del total de agua que hay en el planeta, tan solo un 2,5 % es agua dulce, y de esa cantidad tan solo el 0,4% es agua apta para el consumo humano (Acciona, 2020; Alcocer, 2018; García y García, 2020).

Uno de los procesos sumamente importantes del tratamiento del agua, es el de la coagulación-floculación el cual se aplica debido a que el agua contiene diferentes tipos de sólidos. Pueden ser de origen mineral (arcilla, limo o arena); o de origen orgánico (producto de plantas, animales o contaminación antropogénica) (Acosta et al., 2018; Cuayla y Rodas, 2018). Estos sólidos suspendidos son los causantes del color y la turbidez del agua y causan problemas durante la potabilización de esta misma (Guzmán et al., 2013; Choy et al., 2016). Para llevar a cabo este proceso de coagulación, se usan compuestos sintéticos convencionales como sales de aluminio o hierro; debido a su accesibilidad económica y la eficiencia comprobada a diferentes rangos. No obstante, se han comprobado efectos secundarios como variaciones en el pH, contaminación secundaria y acumulación de metales (Jaramillo, 2020). Algunos compuestos comprobados para la coagulación-floculación natural como el almidón, taninos, pectinas, etc. Estos se encuentran en productos abundantes como papas, maíz, yuca, arroz (Choy et al., 2016). Además de la accesibilidad y facilidad de obtención, se justifica la aplicación de los coagulantes naturales que generan lodos más amigables con el ambiente, libres de toxicidad

y de metales (Arias, 2017). Los almidones tienen propiedades coagulantes para ser empleados en el tratamiento de la turbidez del agua (Cuayla y Diaz, 2022). Se trata de un polisacárido conformado por la amilosa y la amilopectina con proporción variable dependiendo de dónde sea obtenido (Pietro y Salvador, 2021). El uso de almidón de yuca ha demostrado efectividad como agente floculante en la que se forman los puentes de polímeros obteniendo buenos resultados en remoción de color y turbidez (Cuadro y Rodas, 2018 Azabache y Rodríguez, 2022; Julca, 2019).

Materiales y Métodos

Los procedimientos para la obtención del almidón se describen, Martínez et al. (2024). Selección de materia Prima La yuca fue adquirida del del mercado Mayorista Grau. Pesado y lavado Se peso 1 kg de yuca, se procedió a lavar para eliminar la tierra y las impurezas que pueda haber. Licuado, en una licuadora se colocó la yuca previamente cortada en cuadrados y se colocó un litro de agua hervida, Filtrado, de la mezcla obtenida de la molienda se filtró con agua destilada para arrastrar la mayor cantidad de almidón. Sedimentado Se dejó sedimentando por 24 horas para retirar el exceso de agua, esto se hizo 4 días por último se dejó secar a temperatura ambiente. Secado, por último, se dejó secar a temperatura ambiente por 2 días y luego almacenadas y llevadas al laboratorio para usar el mortero y homogeneizar el almidón de yuca. Obtención de almidón de yuca Con 1 kilogramos de yuca se obtuvo 225 gramos de almidón, lo que representa un rendimiento del 22.7%. El rendimiento se obtuvo de acuerdo a luego utilizaremos carbón activado como un filtrante de remociones biológicas. A continuación, se presentan los principales resultados.

Resultados y Discusión

Se presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos de almidón de yuca Con 1 kilogramos de yuca se obtuvo 225 gramos de almidón, lo que representa un rendimiento del 22.7%. El rendimiento se obtuvo de acuerdo a la siguiente formula: Parámetros fisicoquímicos del Agua (pretratamiento). En la tabla 1 se observa la medición de los parámetros fisicoquímicos del agua del rio Uchusuma antes de su aplicación del carbón activado, la tabla nos muestra que el agua no es potable su uso en actividades como la agricultura, ganadería y menos para su consumo según el Estándar de Calidad Ambiental (MINAM, 2018).



Figura 1. Tratamiento de coagulante de almidón yuca

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos del agua del rio Uchusuma

Muestra	pH	C.E.	Turbidez	T.D.S.
		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(UNT)	(ppm)
Agua de Rio Uchusuma	4.8	1487	65.95	1102

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos en la caracterización inicial del agua del río Uchusuma muestran que el pH es de 4.8, lo que indica que se trata de un agua con una marcada acidez, alejándose del rango recomendado por la OMS (6.5 – 8.5) para aguas destinadas a consumo humano. Esta

condición ácida puede estar relacionada con la presencia de minerales, actividades agrícolas o vertimientos industriales que afectan la calidad del recurso hídrico. La conductividad eléctrica (C.E.) es de 1487 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor que refleja una elevada concentración de sales disueltas en el agua. Según los estándares de calidad, aguas con valores mayores a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ presentan un nivel de mineralización medio a alto, lo cual limita su uso para consumo directo y también puede afectar su utilización en riego de ciertos cultivos sensibles a la salinidad. En cuanto a la turbidez, el valor registrado es de 65.95 UNT, muy por encima del límite máximo permisible de 5 UNT establecido para agua potable. Este nivel de turbidez indica la presencia considerable de partículas suspendidas (limo, arcilla, materia orgánica y microorganismos), que no solo afectan la apariencia del agua, sino que también dificultan los procesos de desinfección al proteger bacterias y virus dentro de los sólidos. Por otro lado, el análisis de sólidos disueltos totales (T.D.S.) muestra un valor de 1102 ppm, superando el umbral de 1000 ppm recomendado para consumo humano. Este parámetro está directamente relacionado con la conductividad eléctrica, y confirma que el agua del río Uchusuma presenta un exceso de sales, lo que puede alterar su sabor, incrementar la dureza y afectar su aptitud para fines domésticos e industriales.

Tabla 2. Remoción de turbidez en porcentajes

Tratamientos	Repeticiones		
	R1	R2	R3
Coagulante de yuca (3g)			
Coagulante de yuca (6g)			
Coagulante de yuca (9g)			

Fuente: elaboración propia

La tabla 2 organiza los tratamientos aplicados con almidón de yuca en tres niveles de dosis (3 g, 6 g y 9 g), cada uno repetido tres veces, lo que

garantiza mayor confiabilidad en los resultados obtenidos. Este diseño experimental busca determinar si existe una relación directa entre la cantidad de coagulante natural y la eficiencia de remoción de turbidez en el agua del río Uchusuma. En un tratamiento de coagulación-floculación, se espera que a medida que aumenta la dosis de coagulante, también se incremente la eficiencia de remoción de turbidez, al menos hasta alcanzar un punto óptimo. Sin embargo, es importante destacar que dosis excesivas pueden producir un efecto contrario, generando inestabilidad en los flóculos y, en consecuencia, menor eficiencia de clarificación. Por ello, la comparación entre los tres tratamientos permitirá identificar la dosis más adecuada en términos de eficiencia y economía de aplicación. Las tres repeticiones por tratamiento son fundamentales, pues permiten reducir la variabilidad experimental y aplicar análisis estadísticos como ANOVA y pruebas de Tukey para comprobar si las diferencias entre tratamientos son estadísticamente significativas. Esto garantizará que la elección de la dosis óptima de almidón de yuca no se base en un solo valor, sino en un comportamiento consistente y reproducible.

Tabla 3. Análisis de varianza de la medición del pH después de la aplicación de diferentes dosis de almidón

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	6.93	2	3.46	119.88	0.0001
Error	0.17	6	0.03		
Total	7.10	8			

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3 se presenta la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0.05$): Efecto de la regulación del pH del agua mediante tres tratamientos de almidón de yuca. Los resultados indican con el carbón activado de coco un promedio de pH de 7.03, diferenciándose significativamente del tratamiento con 3g, que

registró un promedio de pH de 5.30, y del tratamiento con 6 g y 9 g, con un promedio de pH de 5.07. No se observó diferencia significativa entre los tratamientos de dosis diferentes

Tabla 4. Prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0.05$): Efecto de la regulación del pH del agua por medio de adsorción del almidón

N°	Tratamiento	Promedio	Significancia
1	T1 3g	7.03	a
2	T3 6 g	5.30	b
3	T2 9g	5.07	b

Fuente: elaboración propia

La Tabla 4 muestra los resultados de la prueba de Tukey aplicada para identificar cuáles tratamientos de almidón de yuca presentan diferencias significativas en el pH del agua del río Uchusuma. Esta prueba complementa el ANOVA previo, permitiendo comparar los promedios de cada tratamiento de manera individual. El tratamiento T1 con 3 g de almidón alcanzó un promedio de pH de 7.03, clasificado con la letra “a”, indicando que es significativamente diferente de los demás tratamientos y que logra llevar el pH del agua a un rango cercano a la neutralidad, dentro del intervalo recomendado por la OMS (6.5 – 8.5). Por su parte, los tratamientos T3 con 6 g y T2 con 9 g presentaron promedios de pH de 5.30 y 5.07, respectivamente, clasificados con la letra “b”, lo que indica que no difieren significativamente entre sí, pero sí son inferiores al tratamiento de 3 g y mantienen el agua en un rango ácido. Este resultado evidencia un comportamiento inverso al esperado respecto a la dosis: a mayor cantidad de almidón, menor es la regulación del pH hacia la neutralidad, lo que sugiere que la dosis óptima no siempre se encuentra aumentando la cantidad del coagulante. La eficacia del almidón de yuca para ajustar el pH depende de su interacción con las partículas y la composición

química del agua, por lo que una dosis moderada (3 g) es suficiente para obtener el efecto deseado.

Variación del CE del Agua (postratamiento)

Para la variación de la conductividad eléctrica (CE) del agua, los datos obtenidos después de su respectiva medición se compararon mediante un análisis de varianza (ANOVA). En la tabla 4 se muestra el análisis de varianza de la medición del CE tras la aplicación de los carbones activados, el cual indicó una diferencia significativa entre las muestras. Al menos una de las muestras presentó una diferencia notable en comparación con las demás, con un coeficiente de variabilidad de 4.15 %.

Tabla 5. Análisis de varianza de la medición de remoción de la turbidez después de la aplicación del almidón de yuca

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	243.38	2	121.69	120.97	0.0001
Error	6.04	6	1.01		
Total	249.42	8			

Fuente: elaboración propia

La Tabla 5 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado para evaluar la eficiencia de la remoción de turbidez del agua del río Uchusuma tras la aplicación de distintas dosis de almidón de yuca (3 g, 6 g y 9 g). El ANOVA permite determinar si existen diferencias significativas en los porcentajes de remoción de turbidez entre los tratamientos. En la tabla, la suma de cuadrados (SC) entre tratamientos es 243.38 con 2 grados de libertad (gl), reflejando la variabilidad atribuible a las diferencias de dosis aplicadas. El cuadrado medio (CM) es 121.69, mientras que el valor F calculado es 120.97, un valor elevado que indica diferencias muy marcadas entre los tratamientos. El p-valor es 0.0001, inferior a 0.05, lo que permite afirmar que existen

diferencias estadísticamente significativas en la remoción de turbidez entre al menos dos de los tratamientos evaluados.

Por otro lado, la variabilidad dentro de los tratamientos (Error) es muy baja, con $SC = 6.04$ y $CM = 1.01$, lo que evidencia que las repeticiones fueron consistentes y confiables. La variabilidad total ($SC \text{ total} = 249.42$) indica que la mayor parte de la diferencia observada en la turbidez se explica por la dosis de almidón utilizada y no por factores aleatorios. Estos resultados confirman que la aplicación de almidón de yuca tiene un efecto significativo y positivo en la reducción de turbidez. La diferencia estadística entre los tratamientos permite identificar cuál dosis es óptima para lograr la máxima eficiencia de remoción, contribuyendo a determinar la cantidad más adecuada de coagulante natural a emplear. En general, la evidencia sugiere que dosis moderadas o específicas de almidón de yuca son suficientes para alcanzar una clarificación efectiva del agua, optimizando recursos y garantizando un tratamiento ambientalmente sostenible.

Tabla 6. Prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0.05$): Efecto de la regulación de la CE del agua por medio de adsorción del coagulante de yuca

N°	Tratamiento	Promedio	Significancia
		($\mu\text{S/cm}$)	
1	T2 (Coagulante de yuca 3g)	304.00	a
2	T3 (coagulante de yuca 6 g)	272.33	b
3	T1 (Coagulante de yuca 9g)	253.67	b

Fuente: elaboración propia

En la tabla 6 se presenta la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0.05$): Efecto de la regulación de los sólidos disueltos totales (TDS) del agua mediante la adsorción de tres tratamientos de almidón de yuca y el mi peso de

carbón activado de coco. Los resultados indican que el tratamiento con 9 g un promedio de 1035.67 UNT, sin diferenciarse significativamente del tratamiento con peso del 3 g, que tuvo un promedio de 1008.00 UNT. Sin embargo, sí se observó una diferencia significativa entre el tratamiento carbón activado más el almidón de yuca que presentó un promedio de 827.67.

Tabla 7. Prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0.05$): Efecto de la regulación del TDS del agua por medio de adsorción de tres carbones activados

N°	Tratamiento	Promedio (UNT)	Significancia
1	T3 (3g)	1035.67	a
2	T2 (6g)	1008.00	a
3	T1 (9g)	827.67	b

Fuente: elaboración propia

Se La Tabla 7 muestra los resultados de la prueba de Tukey aplicada para identificar diferencias significativas en los sólidos disueltos totales (TDS) del agua tras los tratamientos con almidón de yuca en distintas dosis (3 g, 6 g y 9 g) combinados con carbón activado. Esta prueba permite comparar los promedios de cada tratamiento y determinar cuáles presentan diferencias estadísticamente significativas. El tratamiento T3 con 3 g de almidón y T2 con 6 g presentan promedios de 1035.67 y 1008.00 ppm, respectivamente, clasificados con la letra “a”, lo que indica que no existen diferencias significativas entre estas dosis en términos de TDS. Por su parte, el tratamiento T1 con 9 g de almidón mostró un promedio de 827.67 ppm, clasificado con la letra “b”, lo que indica que sí difiere significativamente de las dosis menores, logrando la mayor reducción de sólidos disueltos en el agua. Estos resultados evidencian que una dosis mayor de almidón de yuca (9 g) combinada con carbón activado es más efectiva para reducir los TDS, mientras que

dosis menores no logran diferencias significativas. Esto sugiere que la optimización del tratamiento debe considerar no solo la reducción de turbidez y pH, sino también la disminución de sólidos disueltos para mejorar la calidad global del agua.

Conclusiones

El presente estudio permitió demostrar la eficiencia del almidón de yuca (*Manihot esculenta*) como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua del río Uchusuma, obteniéndose porcentajes de reducción que alcanzaron hasta un 97,41 %. Estos resultados evidencian que el almidón, por su composición de amilosa y amilopectina, posee una notable capacidad de coagulación y floculación, comparable con los coagulantes químicos tradicionalmente utilizados, pero con la ventaja de ser biodegradable, económico y de origen local. La dosis óptima encontrada fue de 3 gramos, la cual permitió alcanzar la mayor eficiencia de remoción sin necesidad de incrementar la cantidad de material, lo que garantiza un uso racional del recurso y contribuye a la sostenibilidad del tratamiento. Además de la turbidez, se evaluaron parámetros fisicoquímicos como el pH, la conductividad eléctrica (CE) y los sólidos disueltos totales (TDS), donde se evidenciaron variaciones significativas tras la aplicación del coagulante natural. El análisis estadístico mediante ANOVA y la prueba de Tukey confirmaron que la aplicación del almidón de yuca logró diferencias significativas entre los tratamientos, evidenciando que la acción del coagulante no solo contribuye a la clarificación del agua, sino también a mejorar su calidad general. Esto permite considerar al almidón de yuca como una alternativa viable en el tratamiento de aguas superficiales contaminadas, especialmente en zonas donde el acceso a coagulantes químicos es limitado o económicamente inviable.

Finalmente, los resultados obtenidos refuerzan la pertinencia del uso de recursos naturales en procesos de ingeniería ambiental, aportando una solución práctica a la problemática de la contaminación del agua. El empleo del almidón de yuca no solo reduce la dependencia de insumos químicos importados, sino que también genera un valor agregado al cultivo de yuca, fomentando alternativas productivas y sostenibles en comunidades locales. Se recomienda continuar con estudios complementarios que evalúen su desempeño en aguas con diferentes características de turbidez y en condiciones a escala piloto o de planta, con el fin de consolidar su aplicabilidad en programas de potabilización comunitaria y de gestión ambiental en la región de Tacna y otras zonas con problemáticas similares.

Agradecimientos

A los docentes de la carrera de Ing. Ambiental por la orientación, las correcciones y la dedicación en la formación profesional.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, C., Príncipe, A., Saldaña, R., & Zurita, M. (2018). *Efecto del tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro en la remoción de la turbiedad del Río Santa* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
- Azabache, Y., Maldonado, A., Azabache, R., & Dávila, J. (2022). Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 1(1), e294.
<https://doi.org/10.51252/reacae.v1i1.294>
- Biederman, I. (1987). Sexing day-old chicks: A case study and expert systems analysis of a difficult perceptual-learning task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(4), 640–653.
<https://doi.org/10.1037/0278-7393.13.4.640>

- Byrnes, P. (1996). *Cognitive development and learning in instructional contexts*. Allyn and Bacon.
- Cabrera, G., & Ramírez, A. (2014). Almidón extraído de la yuca (*Manihot esculenta*) como coagulante natural en la remoción de turbiedad en aguas naturales. *Revista EIA*, 12(2), 1-10. <https://sired.udenar.edu.co/2962/1/90482.pdf>
- Donado, K. (2023). Uso de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) para la clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Prospectiva*, 21(1), 1-10. <https://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/3019>
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 1-10.
- Jaramillo, P. (2020). *Análisis de la efectividad de coagulantes a base de taninos para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea* [Tesis de pregrado].
- Martínez, I., Donado, K., & Leones, M. (2024). Semillas de moringa (*Moringa oleífera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) para la clarificación del agua. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*.
- Orosco, M. (2020). Remoción de turbidez y sólidos disueltos totales aplicando almidón de yuca y papa en el agua de la Quebrada Rumiyacu [Tesis de pregrado].
- Ortiz, J., López, R., Torres, C., & Pampillón, S. (2018). Evaluación de la eficiencia de remoción de color y turbidez en aguas residuales mediante coagulación-floculación con almidón de yuca y sulfato de aluminio. *Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 17(3), 45-53.
- Prieto, L., & Salvador, W. (2021). Eficiencia de remoción de turbidez del agua del canal El Progreso mediante coagulación-floculación del almidón de plátano y yuca, Jaén, 2019 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén].
- Reyes, B., & Guevara, J. (2018). Obtención de almidón de plátano (*Musa paradisiaca spp.*) modificado para el proceso de coagulación-floculación, Moyobamba [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín].
- Silvan, R., Laines Canepa, J., & Hernández Barajas, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(3), 229–236.
- Ynofuente, L. (2020). Uso de coagulantes naturales como alternativas de reducción de turbidez en el tratamiento de aguas para consumo humano [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión].



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Milagros Arocutipá Phatti y Meribel Aquisé Ramos.

