

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de ingeniería ambiental



Una Institución Adventista

Utilización del almidón de sachapapa *Dioscorea trifida* como ayudante de coagulación en el tratamiento de agua de consumo humano, Tarapoto

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniería Ambiental

Autor:

Ana María Rivera Jimenez

Asesor:

Mtro. Carmelino Almestar Villegas

Tarapoto, diciembre de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Yo Mtro. Carmelino Almestar Villegas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Utilización del almidón de sachapapa *Dioscorea trifida* como ayudante de coagulación en el tratamiento de agua de consumo humano, Tarapoto”** constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) Ana María Rivera Jimenez para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Morales, a los 28 días del mes de diciembre del año 2021



Mtro. Carmelino Almestar Villegas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 14 día(s) del mes de diciembre del año 2021, siendo las 11:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtra. Kátherin Jina Luz Pinedo Gomez, el (la) secretario(a): Ing. Juana Elizabeth Vasquez Vasquez y los demás miembros: Mg. Erick José Quispe Mamani y el (la) asesor(a) Mtro. Carmelino Almestar Villegas con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Utilización del almidón de Dioscorea trifida como ayudante de coagulación en el tratamiento de agua de consumo humano, Tarapoto.

del(los) bachiller(es): a) Ana María Rivera Jimenez
 b)
 c)
 conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller-(a): Ana María Rivera Jimenez

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy bueno

Bachiller -(b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

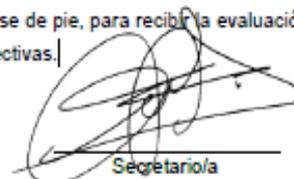
Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a



Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

Resumen

Para remover la turbiedad del agua es frecuente el uso de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, el cual puede producir efectos adversos en la salud humana, frente a esta cuestión surgen los coagulantes naturales, los cuales tienen la ventaja de ser menos contaminantes. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la eficiencia del almidón de *Dioscorea trifida* para la remoción de sólidos suspendidos del agua de consumo humano. Para ello, se seleccionó un diseño experimental con seis tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron las dosis de almidón de *Dioscorea trifida* (2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 15,0 y 20,0 mg/L). Asimismo, los parámetros de la mezcla rápida fueron 300 RPM por 5 segundos, de la mezcla lenta 40 RPM por 20 minutos y un tiempo de sedimentación de 15 minutos. Los parámetros medidos fueron pH, turbiedad, color y concentración de aluminio. Las mejores eficiencias de remoción de la turbiedad, color y concentración de aluminio, se obtuvieron con las dosis de 15,0 y 20,0 mg/L del almidón de *Dioscorea trifida*. Se concluye que los coagulantes naturales tienen el potencial de remover los sólidos en suspensión del agua, sin causar impactos en el ambiente y la salud pública.

Palabras clave: Aluminio, Coagulantes naturales, Flocculación, Turbiedad.

Abstract

To remove the turbidity of the water, the use of chemical coagulants such as aluminum sulfate, which can produce adverse effects on human health, is frequent. Natural coagulants arise, which have the advantage of being less polluting. The present study aimed to analyze the efficiency of *Dioscorea trifida* starch for the removal of suspended solids from water for human consumption. For this, an experimental design with six treatments and three replications was selected. The treatments were the doses of *Dioscorea trifida* starch (2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 15,0 and 20,0 mg / L). Likewise, the parameters of the fast mix were 300 RPM for 5 seconds, of the slow mix 40 RPM for 20 minutes and a settling time of 15 minutes. The measured parameters were pH, turbidity, color and aluminum concentration. The best removal efficiencies for turbidity, color and aluminum concentration were obtained with the 15,0 and 20,0 mg / L doses of *Dioscorea trifida* starch. It is concluded that natural coagulants have the potential to remove suspended solids from water, without causing impacts on the environment and public health.

Keywords: Aluminum, Flocculation, Natural coagulants, Turbidity.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable es un derecho fundamental reconocido por la Organización de las Naciones Unidas, la cual debe proveerse en cantidad y calidad aceptable; por ello, se establecido como objetivo de desarrollo sostenible, garantizar el acceso al agua potable y servicios de saneamiento a toda la población mundial hasta el 2030 (Organización de las Naciones Unidas, 2015). Para garantizar la calidad del agua de consumo humano, se requiere de una serie de procesos de tratamiento; entre ellos se encuentra la coagulación; la cual consiste en la desestabilización de la carga eléctrica de los coloides mediante el uso de sustancias coagulantes; siendo el sulfato de aluminio, el coagulante más utilizado para la potabilización del agua, pese a que altas concentraciones de aluminio están asociados a efectos neuropatológicos. Por esta razón, se están analizando diversas alternativas como los coagulantes naturales, los cuales se consideran seguros y presentan un menor grado de contaminación al ambiente (Lugo *et al.*, 2020).

La sachapapa, *Dioscorea trifida* L., es una planta monocotiledónea, de la familia *Dioscoreaceae*, perteneciente al género *Dioscorea* L., caracterizada por sus raíces tuberosas pequeñas. Es oriunda y cultivada en América Tropical y el Sureste de Asia (Rached *et al.*, 2006).

Las plantas del género *Dioscorea* solo poseen flores masculinas o flores femeninas. Se presentan como enredadera, con tubérculos aéreos y subterráneos. Sirven como alimento para los seres humanos y contienen metabolitos secundarios entre ellos, saponáceos y diosgenina, utilizados como productos farmacéuticos e industriales (Mercado *et al.*, 2014). Se están utilizando polímeros naturales para la remoción de la turbiedad del agua; entre ellos se tiene el estudio desarrollado por Ttito *et al.*, (2020), en el cual se analizó la eficacia del almidón de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*), Imilla negra, Sani imilla y Ccompis como auxiliares de coagulación del sulfato de aluminio para la remoción de turbiedad del agua de consumo humano; empleando dosis de 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0 y 30,0 mg/L, concluyendo que la variedad Imilla negra presentó una mayor eficiencia de remoción de turbiedad siendo de 95,75%, con la dosis de 15 mg/L. También Villabona *et al.*, (2021) desarrollaron una investigación para reducir la turbiedad del agua empleando almidón de yuca *Manihot esculenta* como coagulante, para lo cual utilizaron dosis de 125, 187 y 250 mg/L, obteniendo porcentajes de remoción de turbiedad mayores a 70% con la dosis de 250 mg/L. Entre las ventajas que tiene el uso de coagulantes naturales, están la remoción de los sólidos en suspensión del agua, especialmente los coloidales, remoción de metales y propiedades desinfectantes, debido a su potencial antimicrobiano (Choy *et al.*, 2015). Asimismo, se prefiere el uso de floculantes de base biológica frente a los agentes inorgánicos, debido a diversas ventajas, entre ellas, su biodegradabilidad, la no toxicidad, la capacidad de amortiguar los cambios de pH y una amplia accesibilidad de fuentes renovables (Maćczak *et al.*, 2020). Asimismo, entre los coagulantes naturales más utilizados están los almidones que pueden ser de tubérculos o cereales, por presentar elevada eficiencia para la remoción de turbiedad de las aguas (Usefi *et al.*, 2019).

En base a lo anteriormente expuesto, nos hemos propuesto analizar la eficiencia de remoción de turbiedad, color y concentración de aluminio del agua utilizando el almidón de sachapapa, *Dioscorea trifida*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

La muestra de agua se obtuvo de la captación Shilcayo, la cual se ubica en las coordenadas UTM Zona 18S, 0349919 (E) y 9283760 (N), altitud 342 m.s.n.m., en el distrito de Tarapoto, provincia y departamento de San Martín (INEI, 2017), con precipitación media anual de 1188 mm (Martínez, 2020) y temperatura media mensual de 26.5°C (SENAMHI, 2017). Asimismo, la muestra de dos kilogramos de tubérculos de *Dioscorea trifida*, fueron adquiridos en el mercado el Huequito E.I.R.L, perteneciente al distrito de Tarapoto.

Diseño experimental para analizar la eficiencia del almidón de Dioscorea trifida

La población del estudio comprende las aguas del río Shilcayo que ingresan a la planta de tratamiento de agua potable Shilcayo con caudal de 120 L/s, de los cuales se tomó 36 litros de agua como muestra para ser distribuidos en las seis jarras, cada una de las cuales, de dos litros de capacidad, del equipo prueba de Jarras. Para el desarrollo del estudio se empleó un diseño experimental del tipo diseño completamente al azar (DCA), con seis tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron las dosis de almidón de *Dioscorea trifida* (2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 15,0 y 20,0 mg/L); para cada tratamiento, se agregó igual dosis de sulfato de aluminio. Asimismo, los parámetros de la mezcla rápida fueron 300 RPM por 5 segundos, de la mezcla lenta 40 RPM por 20 minutos y un tiempo de sedimentación de 15 minutos.

Métodos de muestreo del agua

Para recolectar la muestra de agua, se utilizó una muestra simple. Los parámetros del agua que se midieron antes y después de la aplicación del coagulante natural fueron pH, turbiedad, color y concentración de aluminio. Para cuantificar estos parámetros, se siguió la metodología de análisis de la Asociación Americana de Salud Pública (Severiche *et al.*, 2013);

por otro lado, para comparar la calidad del agua tratada se utilizó la normativa nacional vigente D.S. 031-2010-DIGESA.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos, se utilizó procedimientos de estadística descriptiva como media, desviación estándar; asimismo, para la inferencia se utilizó la técnica conocida como análisis de varianza y la prueba Tukey, con 95% de confianza; mientras que para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS 22 (Méndez *et al.*, 2016). La variable independiente estuvo conformada por las dosis de coagulante de *Dioscorea trifida* (2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 15,0 y 20,0 mg/L); mientras que la variable dependiente estuvo constituida por los parámetros de calidad del agua (pH, turbiedad, color y concentración de aluminio). Los parámetros turbiedad y pH cumplieron el supuesto de normalidad, por ello, para determinar si existe diferencia significativa entre las dosis de almidón de *Dioscorea trifida*, se utilizó el análisis de varianza; mientras que, los parámetros color y concentración de aluminio no cumplieron el supuesto de normalidad; por ello se utilizó el Análisis de varianza de Kruskal-Wallis (ver tabla 2).

RESULTADOS

Calidad del agua sin tratar

Se encontró que el agua sin tratar proveniente de la captación Shilcayo, no cumple con los límites máximos permisibles de los parámetros turbiedad y color establecidos para el Perú D.S. 031-2010-DIGESA. A diferencia de los parámetros pH y concentración de aluminio, los cuales se encontraron, dentro de los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. 031-2010-DIGESA (Ver Tabla 1).

Análisis del efecto del coagulante natural

Del análisis de varianza, para la turbiedad del agua, se obtuvo un p-valor de 0,012; es decir existe diferencia significativa entre las concentraciones de almidón de *Dioscorea trifida* (Ver Tabla 3), encontrándose una menor turbiedad con las dosis de coagulante natural de 15,0 y 20,0 mg/L, mientras que con las dosis del coagulante de 0,0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 mg/L; se obtuvo una mayor turbiedad (Ver Tabla 4). Del mismo modo, para el color del agua, se obtuvo un p-valor de 0,002; es decir existe diferencia significativa entre las concentraciones de almidón de *Dioscorea trifida* (Ver Tabla 3); obteniéndose un menor color con las dosis de 15,0 y 20,0 mg/L; mientras que para las dosis de 0,0; 2,5; 5,0; 7,5 y 10,0 mg/L; se obtuvo un mayor color (Ver Tabla 4). Con respecto al pH del agua, se obtuvo un p-valor de 0,001; con lo cual existe diferencia significativa entre las concentraciones de almidón de *Dioscorea trifida*; siendo las dosis de 15,0 y 20,0 mg/L las que obtuvieron un menor valor de pH (cercano al neutro), en cambio para la dosis de 10,0 mg/L se obtuvo un pH de 7,48; por otro lado, con las dosis de 0,0; 2,5; 5,0 y 7,5 mg/L se obtuvo un pH mayor, ligeramente neutro (Ver Tabla 4). De igual manera, para la concentración de aluminio del agua, se obtuvo un p-valor de 0,001; es decir existe diferencia significativa entre las concentraciones de almidón de *Dioscorea trifida* (Ver Tabla 3); encontrándose una menor concentración de aluminio con las dosis de 7,5; 15,0 y 20,0 mg/L, en cambio con las dosis de 5,0 y 10,0 mg/L, se obtuvo un valor intermedio para la concentración de aluminio; mientras que para la dosis de 2,5 mg/L, se encontró una mayor concentración de aluminio (Ver Tabla 4).

Eficiencias de tratamiento

Del análisis de varianza sobre la eficiencia de remoción de turbiedad del agua, se obtuvo un p-valor de 0,012; es decir existe diferencia significativa entre las dosis de almidón de *Dioscorea trifida* (Ver Tabla 5); encontrándose una mayor eficiencia de remoción de turbiedad con las dosis de 15,0 y 20,0 mg/L; en cambio, con las dosis de 0,0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 mg/L, se obtuvo una menor eficiencia de remoción (Ver Tabla 6). Con respecto a la eficiencia de remoción de color del agua, se obtuvo un p-valor de 0,002; demostrando que

existe diferencia significativa entre las dosis de almidón de *Dioscorea trifida* (Ver Tabla 5); encontrándose una mayor eficiencia de remoción del color del agua con las dosis de 15,0 y 20,0 mg/L; mientras que con las dosis de 0,0; 2,5; 5,0; 7,5 y 10,0 mg/L; se obtuvo una menor eficiencia de remoción (Ver Tabla 6). Del mismo modo, para la eficiencia de remoción de aluminio del agua, se obtuvo un p-valor de 0,001; es decir existe diferencia significativa entre las dosis de almidón de *Dioscorea trifida* (Ver Tabla 5); se obtuvo una mayor eficiencia de remoción con las dosis de 7,5; 15,0 y 20,0 mg/L; en cambio con las dosis de 5,0 y 10,0 mg/L se encontró eficiencias intermedias de remoción y con la dosis de 2,5 mg/L, se obtuvo una menor eficiencia de remoción de la concentración de aluminio (Ver Tabla 6).

DISCUSIÓN

Con respecto a la caracterización del agua proveniente de la captación Shilcayo, los parámetros que no cumplen con la normativa sobre la calidad del agua para consumo humano del Perú indicados en el D.S.031-2010-DIGESA son la turbiedad y el color; estos parámetros están asociados a la presencia de la fracción coloidal en el agua, cuyo diámetro oscila entre 10^{-3} y $1 \mu\text{m}$. El color del agua sin tratar fue mayor a 500 Unidades de Color Verdadero. Este color está asociado a la materia orgánica coloreada, en forma de ácidos húmicos y fúlvicos, la cual proviene de la composición de la materia orgánica que es disuelta en el cauce del río. Asimismo, las partículas coloidales no se pueden remover por sedimentación, debido a que presentan cargas eléctricas negativas, lo cual hace que se repulsen entre sí. Este comportamiento que se presentan los coloides hace necesario utilizar agentes coagulantes con la finalidad de desestabilizar las cargas eléctricas negativas. Asimismo, el pH del agua sin tratar fue de 7,68; el cual es un pH óptimo para el desarrollo del proceso de coagulación cuyo rango es de 6,5 a 8,0. El pH es el factor más importante en la coagulación, ya que influye en la cantidad de coagulante a utilizar. Los coagulantes químicos como el sulfato de aluminio tienden a acidificar el pH del agua, haciendo necesario corregirlo. En el presente estudio se utilizó el coagulante natural obtenido del almidón de *Dioscorea trifida*, con lo cual se aprovecha la ventaja que ofrecen los coagulantes naturales, siendo esta, la estabilización del pH (Nimesha *et al.*, 2021)

Con las dosis de 15,0 y 20,0 mg/L de almidón de *Dioscorea trifida*, se obtuvo una menor turbiedad, color y concentración de aluminio. Estas dosis no presentaron diferencia significativa; por ello se podría utilizar la dosis de 15 mg/L, para eliminar los contaminantes del agua, debido a que se estaría utilizando una menor cantidad de coagulante natural, reduciéndose de este modo los costos. Las dosis del coagulante inferiores a 15,0 mg/L no permitieron la formación de flocs de un tamaño adecuado de tal manera que puedan sedimentarse. Posiblemente, la cantidad insuficiente de coagulante no permitió reducir el potencial Z hasta un nivel que favorezca la formación de coágulos. La presencia de carga superficial positiva en los coagulantes naturales, hace que se neutralice la carga eléctrica negativa de los coloides (Ang, 2020).

En el presente estudio se encontró que, las mejores eficiencias de remoción de la turbiedad color y aluminio, se obtuvieron con las dosis de 15,0 y 20,0 mg/L de almidón de *Dioscorea trifida*. Con respecto al parámetro turbiedad se obtuvo eficiencias de remoción de 97,42% y 98,49% con las dosis de 15,0 y 20,0 mg/L respectivamente. En concordancia con Ttito *et al.*, (2020) quienes utilizaron almidón de papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad imilla negra en combinación con sulfato de aluminio obtuvieron un porcentaje de remoción de 95,72% de turbiedad, con una dosis óptima de 15 mg/L. Esta diferencia posiblemente se debe a que Ttito *et al.*, (2020) utilizó un agua sin tratar con pH de 6,5; los valores de pH más alejados de la neutralidad tienden a reducir la eficiencia de remoción de los contaminantes, debido a que no cuentan con alcalinidad suficiente que permita amortiguar los cambios de pH. Por otro lado, el mayor contenido de amilopectina favorece la formación de flocs durante la mezcla lenta, debido a su elevado peso molecular. Pese a que el

contenido de redes de amilopectina del almidón de *Dioscorea bulbifera L.*, es inferior (69,37%) al contenido de amilopectina de *Solanum tuberosum* (80,00%) (Meaño *et al.*, 2014), la eficiencia de remoción de turbiedad fue superior con el coagulante de *Dioscorea trifida*. Esto se explica por las redes que forman las moléculas de amilopectina de *Dioscorea trifida*, las cuales son más estables durante la mezcla lenta, con lo cual se logra aglomerar mayor cantidad de partículas coaguladas.

Con el parámetro de color se obtuvo una eficiencia de remoción de 94,33 % y 96,47 % con las dosis de 15,0 y 20,0 mg/L respectivamente; no existiendo diferencia significativa entre ambas dosis, por ello se utilizaría la dosis de coagulante de 15 mg/L, con la finalidad de reducir los costos. El color del agua superficial se debe principalmente a los ácidos fúlvicos y húmicos, los cuales, al tener carga eléctrica negativa, son estabilizados por las cargas eléctricas positivas del coagulante natural (Ang, 2020).

Asimismo, en relación a la concentración de aluminio se obtuvo una remoción de 75% y 94,44% con las dosis de 15,0 y 20,0 mg/L del almidón de *Dioscorea trifida*; no existiendo diferencia significativa entre ambas dosis. La remoción del aluminio se basa en el proceso de intercambio iónico, donde el coagulante natural (almidón) capta los cationes de aluminio (Al^{3+}) y libera iones hidrógeno (H^+). Ahora que se conoce la dosis óptima de coagulante natural (15,0 mg/L) para la remoción de turbiedad, color y concentración de aluminio del agua de abastecimiento, en las futuras investigaciones se debe desarrollar estudios de nivel aplicativo como el uso del coagulante a mayor escala en plantas de tratamiento de agua potable (PTAP).

CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos en el presente estudio se determinó que el almidón de *Dioscorea trifida* es eficiente en la remoción de turbiedad, color y concentración de aluminio; siendo la dosis óptima 15,0 mg/L. El uso de almidón de *Dioscorea trifida* permitirá reducir el costo de los insumos, el impacto negativo al ambiente y el mejoramiento de la salud pública a través del suministro de agua segura para consumo humano. Esta investigación sienta las bases para el desarrollo de otros estudios de naturaleza aplicada, como el uso de este coagulante a mayores escalas en plantas de tratamiento de agua de consumo humano.

AGRADECIMIENTO

De manera especial, agradezco a mi asesor, el Mtro. Carmelino Almestar Villegas, por el acompañamiento durante el desarrollo del estudio y a mi familia por su apoyo incondicional.

REFERENCIAS

- Ang, W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262.
- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., and Ramanan, R. N. (2015). A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(1), 367–390. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0446-2>
- INEI. (2017). Características de la población de los CC.PP del departamento de San Martín. Tarapoto.
- Lugo, J., Lugo, E., Ovallos, D., Arango, J., De la Puente, M., and Silva, J. (2020). Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. *Heliyon*, 6(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04296>
- Maćczak, P., Kaczmarek, H., and Ziegler-Borowska, M. (2020). Recent achievements in polymer bio-based flocculants for water treatment. *Materials*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/ma13183951>

- Martínez, D. (2020). *Aplicación del sistema captación de agua pluvial y arquitectura paisajista para diseñar un terminal terrestre en la ciudad de Tarapoto*. Universidad Privada del Norte.
- Meaño, N., Ciarfella, A., and Dorta, A. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber*, 26(2), 182–188.
- Méndez, S., and Cuevas, A. (2016). Manual introductorio al SPSS Statistics Standard Edition 22, 1–55. Retrieved from https://www.fibao.es/media/uploads/manual_de_spss_universidad_de_celaya.pdf
- Mercado, A. N. A., Assia, I. S. S., and Mendoza, J. G. S. (2014). Caracterización. *Acta Agronómica*, 64(1). <https://doi.org/10.15446/acag.v64n1.43917>
- Nimesha, S., Hewawasam, C., Jayasanka, D., Murakami, Y., Araki, N., and Maharjan, N. (2021). Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 8(1), 101–116. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2022.01.08>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivo 6. Agua Limpia Y Saneamiento: Por Que Es Importante. *Sustainable Development Goals*. Retrieved from https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- Rached, L. B., Vizcarrondo, C. A. De, Rincón, A. M., and Padilla, F. (2006). Variedades Blanco Y Morado, 56, 375–383.
- SENAMHI. (2017). Información del tiempo y clima.
- Severiche, C., Castillo, M., and Acevedo, R. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas*.
- Ttito, R., Rivera, J., and Callata, R. (2020). Artículo Original Almidón de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano en condiciones altoandinas STARCH OF THREE VARIETIES OF POTATO (*Solanum tuberosum*) AS AN AUXIL. *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo (2020)*, 2, 35–45. Retrieved from https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1456
- Usefi, S., Asadi-Ghalhari, M., Izanloo, H., Yari, A. R., and Mostafaloo, R. (2019). The Performance of Starch as a Natural Coagulant for Turbidity Removal from Wastewater in Stone Cutting Industry. *Archives of Hygiene Sciences*, 8(1), 17–26. <https://doi.org/10.29252/archhygsci.8.1.17>
- Villabona, A., Tejada, C., Millán, M., and Granados, C. (2021). Reduction of Turbidity in Waters Using Cassava Starch as a Natural Coagulant Reducción de Turbidez en Aguas Usando Almidón de Yuca como Coagulante Natural, 1–10.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Tabla 1. Parámetros del agua sin tratar proveniente de la captación Shilcayo, San Martín, Perú

Parámetro	Unidad	Valor	LMP
Turbiedad	UNT	118	5
Color	UCV escala Pt/Co	>500	15
pH	Unidad	7,68	6,5-8,5

Aluminio	mg/L	0,12	0,2
----------	------	------	-----

LMP: Límites máximo permisible para Perú (D.S N°031.2010 DIGESA)

Tabla 2. Prueba de normalidad de la concentración de los parámetros del agua después de la aplicación del coagulante de *Dioscorea trifida*

Dosis	Estadístico	GL	p-valor
Turbiedad			
2,5	1,000	3	0,977
5	0,886	3	0,341
7,5	0,793	3	0,097
10	0,778	3	0,062
15	0,987	3	0,785
20	0,895	3	0,368
Color			
2,5	0,750	3	0,000
5	0,980	3	0,726
7,5	0,905	3	0,403
10	0,763	3	0,028
15	0,968	3	0,654
20	0,958	3	0,605
Concentración de aluminio			
2,5	0,750	3	0,000
5	0,750	3	0,000
7,5	0,750	3	0,000
10	0,750	3	0,000
15	1,000	3	1,000
20	0,750	3	0,000
pH			
2,5	0,993	3	0,843
5	0,987	3	0,780
7,5	0,942	3	0,537
10	0,902	3	0,391
15	0,999	3	0,927
20	0,987	3	0,780

Tabla 3. Análisis de varianza de la turbiedad, color, pH y concentración de aluminio en el agua después de la aplicación del coagulante natural

	FV	SC	GL	SCM	F	p-valor
Turbiedad						
Entre los tratamientos		17616,83	5	3523,37	4,81	0,012
Dentro de los tratamientos		8788,84	12	732,40		
Total		26405,67	17			
Color						
Entre los tratamientos		545667,78	5	109133,56	8,08	0,020
Dentro de los tratamientos		162006,67	12	13500,56		
Total		707674,44	17			
pH						
Entre los tratamientos		0,2	5	0,04	9,20	0,001
Dentro de los tratamientos		0,05	12	0		
Total		0,25	17			
Aluminio						
Entre los tratamientos		0,004628	5	0,000926	9,80	0,016
Dentro de los tratamientos		0,001133	12	0,000094		
Total		0,005761	17			

Tabla 4. Prueba Tukey para los valores promedios de turbiedad, color, pH y concentración de aluminio en el agua después de la aplicación de coagulante natural

Coagulante (mg/L)	N	Grupos		
		1	2	
Turbiedad				
20	3	1,780		
15	3	3,050		
10	3		43,970	
7,5	3		56,170	
2,5	3		77,330	
5	3		78	
p-valor		0,210	0,648	
Coagulante (mg/L)	N	Grupos		
		1	2	
Color				
20	3	17,670		
15	3	28,330		
10	3		217,330	
7,5	3		322	
2,5	3		440	
5	3		441,330	
p-valor		0,064	0,243	
Coagulante (mg/L)	N	Grupos		
		1	2	3
pH				
20	3	7,310		
15	3	7,380		
10	3		7,480	
7,5	3			7,520
5	3			7,580
2,5	3			7,600
p-valor		0,075	0,820	0,241
Coagulante (mg/L)	N	Grupos		
		1	2	3
Concentración de aluminio				
20	3	0,007		
7,5	3	0,023		
15	3	0,030		
10	3		0,033	
5	3		0,047	
2,5	3			0,057
p-valor		0,100	0,100	0,100

Tabla 5. Análisis de varianza para la eficiencia de turbiedad, color, pH y concentración de aluminio en el agua después de la aplicación de coagulante natural

	FV	SC	GL	SCM	F	p-valor
Turbiedad						
Entre los tratamientos		12652,13	5	2530,43	4,81	0,012
Dentro de los tratamientos		6312,01	12	526		
Total		18964,14	17			
Color						
Entre los tratamientos		21826,71	5	4365,34	8,08	0,002
Dentro de los tratamientos		6480,27	12	540,02		
Total		28306,98	17			
Aluminio						
Entre los tratamientos		3213,73	5	642,75	9,80	0,001
Dentro de los tratamientos		787,04	12	65,59		
Total		4000,77	17			

Tabla 6. Prueba Tukey para los valores promedios de eficiencia de turbiedad, color y concentración de aluminio en el agua después de la aplicación de coagulante natural

Coagulante (mg/L)	N	Grupos		
		1	2	
Turbiedad				
5	3	33,900		
2,5	3	34,470		
7,5	3	52,400		
10	3	62,740		
15	3		97,420	
20	3		98,490	
p-valor		0,648	0,210	
Coagulante (mg/L)	N	Grupos		
		1	2	
Color				
5	3	11,730		
2,5	3	12		
7,5	3	35,600		
10	3	56,530		
15	3		94,330	
20	3		96,470	
p-valor		0,243	0,0640	
Coagulante (mg/L)	N	Grupos		
		1	2	3
Aluminio				
2,5	3	52,780		
5	3		61,110	
10	3		72,220	
15	3			75
7,5	3			80,560
20	3			94,440
p-valor		0,100	0,100	0,100