



Evaluación de coagulantes de *Opuntia ficus-indica* y *Aloe vera* para reducir la turbidez del agua superficial del río Caplina, Tacna, 2026

*Evaluation of *Opuntia ficus-indica* and *Aloe vera* biocoagulants to reduce turbidity in surface water from the Caplina River, Tacna, 2026*

Karen Yudith Maquera Maquera^{1a*}

ARTÍCULO ORIGINAL

¹ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

Correspondencia:

*kmaqueramaq@unjbg.edu.pe

^a **ORCID:** 0009-0004-2838-4461

Palabras clave: *aloe vera, biocoagulantes, opuntia ficus-indica, río caplina, tratamiento de agua, turbidez*

Keywords: *aloe vera, biocoagulants, opuntia ficus-indica, Caplina river, water treatment, turbidity*

Información adicional

Presentado: 15/11/2025

Aprobado: 27/03/2026

RESUMEN

La contaminación de las fuentes hídricas por sedimentos constituye un desafío crítico para el tratamiento del agua. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia de los biocoagulantes obtenidos de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y sábila (*Aloe vera*) en la reducción de la turbidez del agua superficial del río Caplina, Tacna. La metodología consistió en la extracción de mucílago vegetal y su aplicación en una dosis fija de 5 mL, bajo tres tratamientos (T1: tuna, T2: sábila y T3: mezcla sinérgica), con tres repeticiones mediante el ensayo de jarras. Los resultados iniciales evidenciaron una turbidez extrema de 891 NTU. Después del tratamiento, se obtuvo una remoción máxima de turbidez del 72.39 % con el tratamiento T3, alcanzando una media de 246.00 NTU. El análisis estadístico, mediante ANOVA y la prueba de Tukey ($p < 0.05$), confirmó diferencias significativas entre los tratamientos, validando la superioridad de la mezcla sinérgica. Se concluye que el uso de biocoagulantes naturales constituye una alternativa viable y sostenible, capaz de reducir significativamente la carga coloidal sin alterar bruscamente el pH ni exceder los límites de sólidos disueltos establecidos por la normativa peruana.

ABSTRACT

Water source contamination by sediments is a critical challenge for water treatment. The objective of this research was to evaluate the effectiveness of biocoagulants from prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*) and aloe vera (*Aloe vera*) in reducing the turbidity of surface water from the Caplina River, Tacna. The methodology consisted of extracting plant mucilage and applying it in a fixed dose of 5 mL under three treatments (T1: Prickly pear, T2: Aloe vera, and T3: Synergistic mixture) with three replicates using the jar test. Initial results showed extreme turbidity of 891 NTU. After treatment, a maximum turbidity removal of 72.39% was obtained with treatment T3, reaching an average of 246.00 NTU. Statistical analysis using ANOVA and Tukey's test ($p < 0.05$) confirmed significant differences between treatments, validating the superiority of the synergistic mixture. It is concluded that the use of natural biocoagulants is a viable and sustainable alternative that significantly reduces the colloidal load without abruptly altering the pH or exceeding the dissolved solids limits established by Peruvian regulations.

INTRODUCCIÓN

El agua es un nutriente esencial para la vida y el elemento más presente en el organismo humano, requerido para múltiples actividades cotidianas y procesos fisiológicos vitales (Salas-Salvadó et al., 2020). Uno de los principales retos para garantizar su calidad es la turbidez, indicador crítico que refleja la presencia de partículas suspendidas y el grado de contaminación en el recurso hídrico (Adjovu et al., 2023). En fuentes superficiales como el río Caplina, este parámetro se asocia tanto a procesos naturales como a actividades antrópicas, interfiriendo en el uso agrícola e industrial y correlacionándose con riesgos microbiológicos (Díaz Aliaga, 2019). Por ello, la coagulación es el proceso principal para la remoción de turbidez, siendo fundamental evaluar métodos que sean eficientes, accesibles y ambientalmente sostenibles (Canaza Chicasaca & Mamani, 2020).

A pesar de la amplia utilización de coagulantes químicos como el aluminio o el hierro, que generan lodos no biodegradables y pueden dejar residuos metálicos en el agua tratada (Kurniawan et al., 2020). Los biocoagulantes derivados de fuentes naturales y renovables ofrecen una alternativa superior debido a su biodegradabilidad y a su carácter ecológico. Con esta revisión se explora su potencial para poder reemplazar a los coagulantes sintéticos (da Silva et al., 2025). Si bien existen estudios sobre la tuna (*Opuntia icus-indica*) y la sábila (*Aloe vera*) por separado, la novedad de esta investigación radica en explorar los factores de la mezcla de ambos biopolímeros aplicada a la composición mineral del río Caplina en Tacna. La presente investigación carece de datos actualizados sobre el comportamiento de estos mucílago combinados en condiciones de alta turbidez (891 NTU), lo que permite aportar información nueva sobre el mecanismo de puenteo interparticular, el *Aloe vera* tiene el potencial de ser un coagulante apropiado porque contiene ácido poligalacturónico, grupos carboxilo (-COOH) y grupos amida (-NH) que pueden ayudar a aumentar la eficiencia de la coagulación actúan como un pegamento natural que une las partículas en el agua (Xu et al., 2024).

Bajo esta premisa, el presente estudio tiene como objetivo principal evaluar el efecto de biocoagulantes de *Opuntia icus-indica* y *Aloe vera* en la reducción de la turbidez del agua superficial del río Caplina, Tacna, en el año 2026. La relevancia de este trabajo trasciende la escala de laboratorio, pues busca validar una solución tecnológica sostenible y de bajo costo que capte el interés de la comunidad científica dedicada al tratamiento de aguas en zonas de escasez hídrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de la investigación

El estudio se desarrolló en el laboratorio de aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, ubicado en el distrito, provincia y región de Tacna, Perú, donde se realizaron los análisis fisicoquímicos iniciales y finales de las muestras.

Área de estudio y obtención de la muestra de agua

El agua utilizada en la presente investigación correspondió a agua superficial proveniente del río Caplina, una de las principales fuentes hídricas de la vertiente del Pacífico en el sur del Perú. La recolección se realizó en el distrito de Tacna, provincia y región Tacna, específicamente en un punto de acceso al cauce ubicado en las coordenadas geográficas 17°59'59.7" S y 70°13'46.9" W. La muestra fue recolectada en recipientes de

tereftalato de polietileno (PET) con capacidad de 10 L, para su posterior traslado, conservación y análisis en laboratorio.

Tabla 1

Coordenadas de los lugares de estudio

Punto de Estudio	Descripción	Coordenadas
Punto 1	Recolección de agua (Río Caplina)	17°59'59.7"S 70°13'46.9"W
Punto 2	Laboratorio de Agua para los análisis	18°1'26.035"S 70°14'45.869"W

Zona de recolección de la materia prima

Las materias primas vegetales, correspondientes a penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y hojas de sábila (*Aloe vera*), fueron procesadas en condiciones domiciliarias, donde se realizó el retiro de la cáscara, extracción del gel y su conservación en refrigeración hasta su uso experimental.

Elaboración de los coagulantes naturales

Los coagulantes naturales se prepararon a partir de material vegetal fresco de penca de tuna (*Opuntia icus-indica*) y hojas de sábila (*Aloe vera*). En ambos casos, el material fue lavado para eliminar impurezas; en la tuna se retiraron las espinas y se troceó el tejido, mientras que en la sábila se dejó reposar previamente durante 24 horas para eliminar la aloína y posteriormente se retiró la epidermis para extraer el gel (Figura 1). El material obtenido se trituyó mediante licuación con agua destilada en proporción 1:1 (peso/volumen) hasta obtener una suspensión mucilagínosa homogénea, la cual fue filtrada con malla fina para remover residuos fibrosos (Figuras 2 y 3). Los extractos se almacenaron en recipientes herméticos y se utilizaron dentro de las 24 horas para evitar su degradación biológica.

Tabla 2

Concentración de los dos coagulantes naturales

	Peso	Cantidad de Agua destilada	Cantidad obtenida de gel
Masa de <i>Aloe Vera</i>	249.92 g	250 mL	420 mL
Masa de <i>Opuntia ficus-indica</i>	263.35 g	270 mL	500 mL

Figura 1

Preparación y obtención de los extractos bioaagulantes



Para la obtención de los coagulantes naturales se siguió una metodología adaptada de Campos Firma (2024), consistente en la extracción del mucílago mediante lavado, corte, licuado y filtración de las materias primas vegetales.

Figura 2

Flujograma de etapas del desarrollo de la experimentación de la Penca de tuna

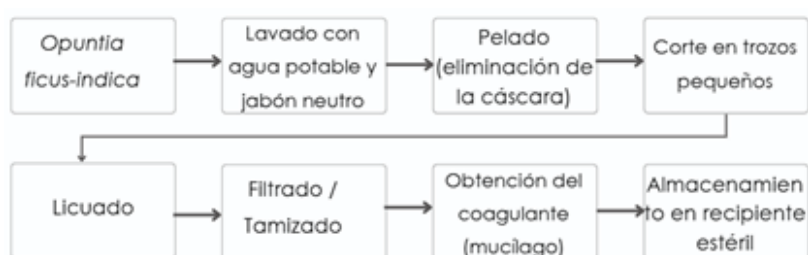


Figura 3

Flujograma de etapas del desarrollo de la experimentación de la Sábila



Remoción de la turbidez del agua superficial

Para el proceso de coagulación, se colocó agua superficial en vasos de 400 mL, a los cuales se añadió el coagulante natural. Las pruebas se realizaron utilizando una dosis de 5 mL, evaluándose el mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y el extracto de hojas de sábila (*Aloe vera*), incluyendo un tratamiento control, con tres repeticiones para cada caso. Las muestras se agitaron manualmente: primero de forma

rápida durante un minuto y posteriormente de manera lenta por varios minutos, con el fin de favorecer los procesos de coagulación y sedimentación.

La turbidez de las muestras de agua superficial antes y después de los tratamientos fueron analizados con un turbidímetro de la marca Turbiquant 1100T registrándose en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) para cada tratamiento y repetición. Para evaluar la eficacia de la remoción de la turbidez del agua gris por medio de los coagulantes de penca de tuna y sábila, se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \left(\frac{(T_i - T_f)}{T_f} \right) \times 100$$

Donde:

Turbidez inicial (Ti): Valor inicial de la turbidez

Turbidez final (Tf): Valor final de la turbidez

Medición complementaria de parámetros fisicoquímicos

Se realizaron mediciones de turbidez antes y después del tratamiento como variable principal de evaluación. De manera complementaria, se determinaron parámetros fisicoquímicos en el agua tratada, tales como pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos (STD), con la finalidad de caracterizar las condiciones iniciales y finales del recurso. Posteriormente, las muestras se sometieron a un periodo de reposo para facilitar la sedimentación de los flóculos, efectuándose finalmente las mediciones correspondientes.

Análisis estadístico

El estudio se llevó a cabo mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA), considerando cuatro tratamientos y tres repeticiones, lo que conformó un total de doce unidades experimentales. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA), complementado con la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$) (Nicolas et al., 2019) con el fin de evaluar la eficacia de los coagulantes naturales en la disminución de la turbidez del agua superficial del río Caplina, en Tacna.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos constituyeron la variable respuesta del estudio y fueron utilizados para el análisis estadístico mediante ANOVA.

Los resultados del análisis de varianza de los coagulantes naturales de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y el extracto de hojas de sábila (*Aloe vera*) reportados en la Tabla 1, indicaron que el tipo de tratamiento si tiene una elevada influencia ($p < 0.01$) sobre la remoción de turbidez del río Caplina, con un coeficiente de variabilidad de 9.98 %.

Tabla 3

Análisis de varianza del brotamiento de semillas de trigo (Triticum aestivum L.)

F.V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	788617.67	3	262872.56	120.81	<0.0001
Error	17407.33	8	2175.92		
Total	806025.00	11			

C.V.=9.98 %

En la Tabla 4 se presenta la prueba de media de Tukey ($p < 0,05$) para la remoción de turbidez (%) del agua superficial tratada con extractos naturales. Los resultados obtenidos muestran que hubo un mayor porcentaje de remoción en el tratamiento T3 con 72,39 %, el cual no presentó diferencias significativas con el tratamiento T1 (68,27 %), compartiendo ambos el nivel "a". Por el contrario, el tratamiento T2 (49,46 %) se diferenció de los anteriores, mientras que el tratamiento T0 obtuvo la menor remoción con 0,89 %, diferenciándose significativamente de todos los tratamientos evaluados.

Tabla 4

Prueba de media de Tukey ($p < 0,05$) para la remoción de turbidez (%) usando extracto de penca de tuna y hojas de sábila en el agua superficial del río Caplina

Nº	Tratamientos	Remoción de turbidez (%)	Significancia
1	(T3) Mezcla de extractos	72.39	a
2	(T1) Extracto de tuna	68.27	a
3	(T2) Extracto de sábila	49.45	b
4	T0 (Control)	0.89	c

El análisis de varianza para el pH del agua superficial tratada con penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y el extracto de hojas de sábila (*Aloe vera*) (Tabla 3) reportó que existe una elevada influencia ($p < 0,01$) de los extractos naturales sobre el pH del agua superficial, con un coeficiente de variabilidad de 3,23%.

Tabla 5

Análisis de varianza para el pH del agua superficial tratada con los coagulantes naturales

F.V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	6.29	3	2.16	49.79	<0.0001
Error	0.35	8	0.04		
Total	6.84	11			

C.V.=3.23 %

En la Tabla 6 se muestra la prueba de media de Tukey ($p < 0,05$) del pH usando penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y el extracto de hojas de sábila (*Aloe vera*) en el agua superficial del río Caplina. Los resultados reflejan que el mejor pH (más cercano a la neutralidad) fue 7,04 del tratamiento T2 y no se diferenció con respecto al tratamiento T0 (7,20). Sin embargo, el tratamiento T3 tuvo un pH de 6,27 y se diferenció con respecto al tratamiento T1 que tuvo un pH de 5,34, presentando este último la mayor variación estadística (letra "c") respecto al grupo control.

Tabla 6

Prueba de media de Tukey ($p < 0,05$) del pH usando extracto de penca de tuna y hojas de sábila en el agua superficial del río Caplina.

Nº	Tratamientos	Media (pH)	Significancia
1	T0	7.20	a
2	T2	7.04	a
3	T3	6.27	b
4	T1	5.34	c

El análisis de varianza para los sólidos totales disueltos (STD) del agua superficial tratada con coagulantes naturales de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y el extracto de hojas de sábila (*Aloe vera*) reportados en la Tabla 7, donde se reportó una elevada influencia ($p < 0,01$) de los extractos naturales, con un coeficiente de variabilidad de 0,85%.

Tabla 7

*Análisis de varianza para los sólidos totales disueltos (STD) del agua superficial tratada con coagulantes naturales de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y el extracto de hojas de sábila (*Aloe vera*)*

F.V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	79.10	3	26.37	17.36	0.0007
Error	12.15	8	1.52		
Total	91.25	11			

C.V.=9.98 %

En la Tabla 8 se muestra la prueba de media de Tukey ($p < 0,05$) de los STD, donde los resultados obtenidos muestran que el mayor valor fue 148,47 mg/L del tratamiento T1, el cual no presentó diferencias significativas con respecto al tratamiento T3 (147,90 mg/L), compartiendo ambos el nivel de significancia "a". Por otro lado, el tratamiento T2 (143,63 mg/L) no se diferenció estadísticamente del tratamiento T0 (142,60 mg/L), ubicándose ambos en el nivel de significancia "b", pero diferenciándose significativamente de los tratamientos T1 y T3.

Tabla 8

Prueba de media de Tukey ($p < 0,05$) de los Sólidos Totales Disueltos (STD) usando extracto de penca de tuna y hojas de sábila en el agua superficial del río Caplina

Nº	Tratamientos	Media (pH)	Significancia
1	T1	148.47	a
2	T3	147.90	a
3	T2	143.63	b
4	T0	142.60	b

DISCUSIÓN

La muestra inicial de turbidez del agua superficial del río Caplina (891 NTU) refleja una carga de sedimentos considerablemente alta en comparación con lo reportado por Fernández et al. (2024) quien registró una turbidez inicial de apenas 42,79 NTU en condiciones similares. Investigaciones realizadas por Campos Firma & Zacarias Ventura (2024) reportaron que la tuna (*Opuntia icus-indica*) y la sábila (*Aloe vera*) de forma individual lograron remociones de 80,25 % y 74,52 %, respectivamente. Estos valores superan ligeramente el 72,39 % obtenido por el mejor tratamiento de esta investigación (T3: Mezcla). No obstante, se debe resaltar que la eficacia reportada por dichos autores se obtiene en aguas con una carga coloidal significativamente menor, mientras que los biocoagulantes evaluados en el río Caplina demuestran una capacidad de clarificación robusta y competitiva ante una turbidez extrema de 891 NTU.

De igual manera, Annisa et al. (2025) reportan valores superiores de remoción (85,23 %) al optimizar la dosis a 20 mL y una velocidad de agitación de 90 rpm con mucílago de sábila (*Aloe vera*). De la misma forma, Otálora et al. (2022) logran una remoción de turbidez del 82.7 % utilizando penca de tuna (*Opuntia icus-indica*). Aunque este valor es superior al 72.39 % obtenido en el río Caplina, se debe precisar que dicho autor emplea un pH alcalino (pH 13) y aguas sintéticas. Este comportamiento confirma que tanto la tuna (*Opuntia icus-indica*) como la sábila (*Aloe vera*), y especialmente su combinación sinérgica, poseen propiedades mucilaginosas ricas en polímeros naturales (Otálora et al., 2021). Estos biopolímeros favorecen la aglomeración y sedimentación de partículas coloidales mediante el mecanismo de puenteo interparticular, logrando una clarificación eficiente sin alterar drásticamente la conductividad eléctrica ni el pH del recurso hídrico (Paz Otiniano, 2025).

El pH en la presente investigación se mantiene dentro de rangos estables tras la aplicación de una dosis fija de 5 ml de biocoagulante. El pH de la muestra control (agua del río Caplina sin tratar) es de 7.20, mientras que el agua tratada presenta una media de un rango de 5.34 en el tratamiento de penca de tuna y el de la sábila 7.04. Esta ligera variación indica una relación inversamente proporcional entre la adición del extracto vegetal y el nivel de alcalinidad, confirmando que el bioproducto tiende a acidificar levemente el medio. El mucílago de la penca de tuna (*Opuntia icus-indica*) presenta un pH ligeramente ácido (4.5 - 6.5) debido a su Metabolismo Ácido de las Crasuláceas (MAC) y a la presencia de ácido poligalacturónico (Bustillos et al., 2013; Cisneros Quispe, 2017). La liberación de estos compuestos orgánicos y biopolímeros durante el proceso de coagulación explica la ligera disminución del pH observada en el agua del río Caplina. Este ajuste en la acidez confirma la transferencia de componentes activos de la planta al medio, sin que esto represente una alteración negativa de la calidad del recurso tratado (Bustillos et al., 2013) (Cisneros Quispe, 2017). La estabilidad del pH en niveles óptimos resulta determinante para maximizar la capacidad de remoción del tratamiento (Calderón Moran et al., 2023).

Los Sólidos Totales Disueltos (STD) presentan un ligero incremento respecto al control (T0: 142,60 mg/L), alcanzando un máximo de 148,47 mg/L en el tratamiento T1. Según la prueba de Tukey ($p < 0,05$), existe una diferencia significativa que sitúa a los tratamientos con biocoagulantes en el nivel 'a'. No obstante, todos los valores obtenidos están muy por debajo de los 1000 mg/L establecidos como límite para agua de consumo humano en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA) de Perú, lo que confirma que el tratamiento es seguro y no satura el agua de sales o sólidos disueltos (Ramírez Neira, 2022).

En la presente investigación, el uso de la mezcla de biocoagulantes de tuna y sábila permite disminuir la alta turbidez del agua superficial del río Caplina. El empleo de estos mucílagos representa una alternativa sostenible, económica y de bajo impacto ambiental para el tratamiento de aguas, debido a su eficacia y naturaleza biodegradable (Oliveira & Donadel, 2026; Oliveira et al., 2025).

CONCLUSIONES

Se concluye que el tratamiento basado en la mezcla sinérgica de *Opuntia ficus-indica* y *Aloe vera* (T3) es el más eficiente para la clarificación del agua del río Caplina, logrando reducir la turbidez inicial de 891 NTU hasta una media de 246.00 NTU. La aplicación de estos biocoagulantes naturales mantiene el pH en niveles estables y los sólidos totales disueltos (STD) dentro de los límites permisibles por el D.S. N° 031-2010-SA, demostrando ser una alternativa ecológica frente a los coagulantes químicos. Esta investigación contribuye al campo ambiental al validar el uso de recursos vegetales locales como una solución sostenible y de bajo costo para el tratamiento hídrico en zonas con alta carga sedimentaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adjovu, G. E., Stephen, H., James, D., & Ahmad, S. (2023). Measurement of Total Dissolved Solids and Total Suspended Solids in Water Systems: A Review of the Issues, Conventional, and Remote Sensing Techniques. *Remote Sensing* 15(14), 3534. <https://doi.org/10.3390/rs15143534>
- Annisa, N., Rahmadina, A., Noor, R., Riduan, R., Majalis, A. N., & Prasetya, H. (2025). Optimization of Aloe vera Coagulant Using Response Surface Methodology for Reduce Turbidity and Color in Martapura River Water. *E3S Web of Conferences*, 655, 01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202565501007>
- Bustillos, L. T., Carpinteyro-Urban, S., & Orozco, C. (2013). *Production and characterization of Opuntia ficus-indica mucilage and its use as coagulant-flocculant aid for industrial wastewaters*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Production-and-characterization-of-Opuntia-mucilage-Bustillos-Carpinteyro-Urban/05dab64eb41e40f9c2e011d3ed94dc93726f4911>
- Campos Firma, M. K., & Zacarias Ventura, H. R. (2024). *Comparación de la capacidad coagulante de sábila (aloe vera) y nopal/tuna (opuntia ficus-indica) para la remoción de turbidez en aguas crudas*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/125068/records/6749825d7625988a3722e0e9>
- Canaza Chicasaca, G. J., & Mamani Condori, Y. (2020). *Revisión del uso de coagulantes naturales para remoción de turbidez del agua*. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3334>
- Cisneros Quispe, J. C. (2017). *Desarrollo de una bebida a partir de lactosuero y gel deshidratado de tuna (Opuntia ficus-indica)*.
- da Silva, R. M. P., de Farias, B. S., & Fernandes, S. S. (2025). From Natural to Industrial: How Biocoagulants Can Revolutionize Wastewater Treatment. *Processes*, 13(6), 1706. <https://doi.org/10.3390/pr13061706>
- Díaz Aliaga, S. (2019). *Remoción de turbidez de aguas superficiales mediante floculación*.
- Fernández, S. A., Figueroa, D., Lucero, E., Laura, G., Nelly, J., & Cárdenas, Q. (2024). Evaluación de la técnica magnética para el tratamiento de agua del río Caplina en la ciudad de Tacna, 2024. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 3038–3057. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15066

-
- Nicolas, E. C., Casas, R. M., Castillo, C. del. (2019). Comportamiento agronómico del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Con la aplicación de niveles de estiércol camélido. *RIIARn: Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(1), 41–49. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9001881&info=resumen&idioma=ENG>
- Oliveira, D. S. de, & Donadel, C. B. (2026). Experimental dataset on the application of aloe vera gel as a natural coagulant for water treatment. *Data in Brief*, 64(6), 112366. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.112366>
- Oliveira, D. S., Nascimento, R. S., & Donadel, C. B. (2025). Aloe Vera in Water Treatment: Toward a Greener Future for Environmental Engineering. *Sustainability (Switzerland)*, 17(9). <https://doi.org/10.3390/su17094163>
- Otálora, M. C., Wilches-Torres, A., & Gómez Castaño, J. A. (2021). Extraction and Physicochemical Characterization of Dried Powder Mucilage from *Opuntia ficus-indica* Cladodes and Aloe Vera Leaves: A Comparative Study. *Polymers*, 13(11), 1689. <https://doi.org/10.3390/polym13111689>
- Otálora, M. C., Wilches-Torres, A., Lara, C. R., Gómez Castaño, J. A., & Cifuentes, G. R. (2022). Evaluation of Turbidity and Color Removal in Water Treatment: A Comparative Study between *Opuntia ficus-indica* Fruit Peel Mucilage and FeCl₃. *Polymers*, 15(1), 217. <https://doi.org/10.3390/polym15010217>
- Paz Otiniano, D. (2025). *Efecto del coagulante/floculante a partir de dos variedades de Manihot esculenta (yuca) en aguas contaminadas a escala de laboratorio, 2024*. [Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/3397>
- Ramirez Neira, C. P. (2022). Optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante reactor anaerobio de flujo ascendente con filtros percoladores, en la localidad de Laberinto, Madre de Dios. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional - UNAP. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18251>
- Salas-Salvadó, J., Maraver, F., Rodríguez-Mañas, L., Sáenz de Pipaon, M., Vitoria, I., Moreno, L. A., Salas-Salvadó, J., Maraver, F., Rodríguez-Mañas, L., Sáenz de Pipaon, M., Vitoria, I., & Moreno, L. A. (2020). Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual. *Nutrición Hospitalaria*, 37(5), 1072–1086. <https://doi.org/10.20960/nh.03160>
- Xu, F., He, H., Liu, Y., -, al, Sari Ritonga, F., Humaidi, S., Sitorus, Z., Febrianti, N., W Permana, R. N., & Ariani, I. K. (2024). Utilization of aloe vera as a biocoagulant for turbidity, total dissolved solid (TDS), and iron (Fe) removal in well water. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1312(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1312/1/012007>