



Received: February 15, 2024 / Accepted: July 01, 2024

Artículo Original

Efecto de floculantes alternativos en la mejora de la calidad del agua de potencial consumo humano en Santa María, Huaura

Effect of alternative flocculants on the improvement of water quality for potential human consumption in Santa Maria, Huaura

H. Padilla-Ramírez¹ , M. Velarde-Condori² , E. Mendoza-Nieto³ 



<https://doi.org/>

Abstract

Objetivos: evaluar la eficiencia de diferentes floculantes naturales, químicos y la combinación de ambos, en la mejora de la calidad del agua de potencial consumo humano. **Metodología:** Se realizó un muestreo en tres ubicaciones diferentes: Centro Poblado Los Pinos, Sector de Sevilla y Río Huaura. Se evaluaron seis tratamientos: T0: Control, T1: Moringa oleífera 800 mg/L, T2: Polvo de mucílago de tuna, 40 mg/L, T3: Mucílago de tuna en trozos: 3 trozos, T4: Mezcla de almidón de yuca y sulfato de aluminio 40 mg/L, T5: Sulfato de aluminio 950 mg/L. Se analizó la variación de los niveles iniciales de turbidez (UNT), pH (unidades de pH), conductividad eléctrica (dS/m), total de sólidos disueltos (mg/L) y temperatura (°C) en agua. Los datos obtenidos fueron analizados mediante el análisis de la varianza de un diseño de bloques completos al azar. **Resultados:** Se encontraron diferencias significativas en el pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura entre los distintos tratamientos. El mucílago de tuna en polvo fue el tratamiento más eficaz en comparación a los demás tratamientos, logró una remoción de la turbidez del 40,60%, superando a los demás tratamientos naturales, pero fue menor al sulfato de aluminio, que alcanzó un 61,61% y registró una mayor sostenibilidad y viabilidad económica. **Conclusiones:** El polvo de mucílago de tuna, como floculante natural, presenta un efecto comparable al sulfato de aluminio en la mejora de la calidad del agua destinada para el consumo humano.

Palabras Clave: Floculantes, turbidez, calidad del agua, sostenibilidad, mucílago de tuna, sulfato de aluminio, almidón de yuca, moringa oleífera.

Abstract

Objectives: to evaluate the efficiency of different natural and chemical flocculants, and the combination of both, in improving water quality for potential human consumption. **Methodology:** Sampling was conducted in three locations: Centro Poblado Los Pinos, Sector de Sevilla and Río Huaura. Five types of flocculants were evaluated, three natural (Moringa, tuna powder and tuna pieces), one chemical (aluminium sulfate) and a mixture of both (78% cassava starch and 22% aluminium sulfate). The doses used were 800 mg/L, 40 mg/L, 3 pieces, 40 mg/L and 950 mg/L, respectively. The variation of the initial levels of turbidity (UNT), pH (pH units), electrical conductivity (dS/m), total dissolved solids (mg/L) and temperature (°C) in water was analyzed. The data obtained were analysed by ANOVA in a randomized complete block design. **Results:** Significant differences were found in pH, electrical conductivity, total dissolved solids and temperature among the different treatments. Powdered prickly pear mucilage was the most effective treatment compared to the other treatments, achieved a turbidity removal of 40.60%, surpassing the other natural treatments, but was lower than aluminium sulfate, which reached 61.61% and registered greater sustainability and economic viability. **Conclusions:** Tuna mucilage powder, as a natural flocculant, has an effect comparable to aluminium sulfate in improving the quality of water intended for human consumption.

Keywords: Flocculant, turbidity, water quality, sustainability, prickly pear mucilage, aluminium sulfate, cassava starch, moringa oleifera.

¹ Unidad Técnica de Gestión de Servicios de Agua y Saneamiento Ambiental, Municipalidad distrital de Pueblo Libre, Huaylas, Ancash, Perú

² Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú

³ Departamento Académico de Agronomía, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú

*Correspondencia al autor: ujcarlospradillaramirez@gmail.pe

Introducción

La calidad del agua, ha sido objeto de estudio por numerosos científicos a nivel mundial en las últimas décadas. Cada día las características del agua se deterioran debido a múltiples factores, tanto naturales como antropogénicos. Este deterioro provoca graves daños a la salud pública en las comunidades que dependen de este recurso vital (Villena, 2018).

La caracterización del agua se ve afectada por diversos contaminantes que pueden alterar su temperatura, color y otras propiedades. La calidad del agua está estrechamente relacionada con sus componentes químicos, microbiológicos y físicos. Cada uno de estos componentes es crucial para la salud pública, lo que ha impulsado un creciente interés en su conservación y preservación en los últimos años. Un factor importante que afecta la calidad del agua es la presencia de materiales sólidos disueltos, como lodo, limo, coloides, plancton y organismos microscópicos que contribuyen a su turbidez. Estas partículas, cuyos tamaño varía entre 0,1 mm y 10 mm, se clasifican en tres tipos: húmicas, minerales y fibrosas (Lozano, 2018).

Muchas ciudades han implementado plantas de potabilización que incluyen plantas de potabilización, que incluyen tratamientos primario y físico-químicos. El proceso de tratamiento de agua potable y de las aguas residuales se basa en un tratamiento primario que utiliza coagulantes y floculantes para eliminar la mayor parte de los contaminantes. Estos productos químicos incluyen sulfatos y polímeros, que a menudo son importados de países con alto desarrollo económico (Carrasquero et al., 2017).

Aunque la aplicación de sustancias químicas en el tratamiento del agua es una solución común, puede representar otro riesgo, ya que estas sustancias dejan trazas tóxicas que son perjudiciales para la salud. La relación entre la salud y la calidad del agua es clara y fundamental para el sector sanitario. Esto se destacó en la conferencia internacional de salud más importante de los años 70, la Declaración de Alma-Ata que proclamó la meta “salud para todos” para el año 2000. Mejorar la calidad del agua potable y asegurar el saneamiento básico son estrategias clave para mejorar la salud de la población. Además, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha identificado una relación

directa entre la pobreza y la calidad de agua, subrayando que las comunidades más pobres suelen tener acceso a agua de menor calidad (Villena, 2018).

En las plantas potabilizadoras de agua se utilizan productos químicos como el sulfato de aluminio para eliminar la materia orgánica y los coloides, mejorando así la calidad del agua. Sin embargo, las altas concentraciones de aluminio residual en el agua tratada pueden causar problemas de salud en los consumidores. Por lo tanto, se sugiere desarrollar coagulantes alternativos que sean ambientalmente aceptables para reemplazar y complementar el uso de sulfato de aluminio (Acevedo, 2019).

Para las personas que viven en zonas rurales, tratar el agua disponible es a menudo una tarea imposible. Esto las obliga a recurrir fuentes de aguas precarias (Dávila et al., 2018). Por esta razón, es necesario desarrollar e implementar alternativas de bajo costo para la potabilización del agua. Estas soluciones deben ser respetuosas con el medio ambiente y no perjudicar a los organismos que dependen de estos recursos (Mera-Alegría et al., 2016). Por esta razón, la investigación tiene por objetivo evaluar la eficiencia de diferentes floculantes naturales, químicos y la combinación de ambos, en la mejora de la calidad del agua de potencial consumo humano

Metodología

Ubicación

El experimento se llevó a cabo en el distrito de Huacho, provincia de Huaura, en la región Lima. El estudio tuvo una duración de 50 días.

Tratamientos

Se tomaron muestras de tres poblaciones diferentes: Centro Poblado Los Pinos, Sector de Sevilla y del río Huaura (Tabla 1). La recolección de muestras se realizó siguiendo el protocolo de procedimientos para la toma de muestras, aprobado por la Resolución Directoral N.º 160-2015/DIGESA/SA, que establece normas para la toma, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua destinado para el consumo. Además, se cumplió con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA.

Tabla 1

Tratamientos y lugares de toma de las muestras de agua

Tratamientos	Los Pinos	Sevilla	Río Huaura	Control
T0: Testigo	1.1	1.2	1.3	1.4
T1: Mucilago tuna en polvo	2.1	2.2	2.3	2.4
T2: Mucilago tuna en trozos	3.1	3.2	3.3	3.4
T3: Semilla moringa en polvo	4.1	4.2	4.3	4.4
T4: Sulfato aluminio	5.1	5.2	5.3	5.4
T5: Sulfato aluminio + almidón yuca	6.1	6.2	6.3	6.4

Procedimiento

En el estudio se propusieron varios floculantes: uno químico (sulfato de aluminio), tres naturales (mucilago de tuna en polvo, mucilago de tuna en trozos y *Moringa oleifera* en polvo) y una mezcla (almidón de yuca con sulfato de aluminio). Para preparar el floculante de *Moringa oleifera*, se adquirió 1 kg de semillas, que luego fueron peladas, molidas y tamizadas con una malla de 1mm para obtener el polvo. En el caso del mucilago de tuna en polvo, se utilizaron cinco pencas de tuna, que fueron peladas, trituradas, centrifugadas precipitadas, filtradas y secadas. Para obtener el almidón de yuca, se procesó 1 kg de yuca mediante lavado, pelado, picado, macerado, molido, centrifugado y secado. El sulfato de aluminio tipo B, utilizado en las mezclas, fue adquirido de una farmacia local, en una cantidad de 250 g.

Tratamientos

Se establecieron seis tratamientos para evaluar la calidad del agua, incluyendo un tratamiento control, Las aguas utilizadas provenían de cuatro fuentes diferentes, incluyendo un control). Las dosis aplicadas para cada tratamiento fueron las siguientes:

T0: Control

T1: Moringa oleifera 800 mg/L,

T2: Polvo de mucilago de tuna, 40 mg/L,

T3: Mucilago de tuna en trozos: 3 trozos,

T4: Mezcla de almidón de yuca y sulfato de aluminio 40 mg/L

T5: Sulfato de aluminio 950 mg/L.

Equipos y parámetros evaluados

Las réplicas consistieron en vasos de 500 ml

llenos de agua, homogenizados utilizando un equipo Forney, serie LA-3770-03, en Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental. La variable respuesta fue la variación en los siguientes parámetros: turbidez (UNT), pH (unidad de pH), Conductividad eléctrica ($\mu\text{mho/cm}$), sólidos totales disueltos (mg/L), calculados a partir de la diferencia entre los niveles inicial y final de cada parámetro. La turbidez se midió utilizando un turbidímetro de la marca Hach modelo 2100q01, mientras que los parámetros complementarios se determinaron con un medidor multiparámetros de agua marca Hanna, modelo Hi98130.

Determinación de la sostenibilidad

Para evaluar la sostenibilidad, se utilizó un sistema de valoración desarrollado por los autores. Este sistema asigna valores numéricos a cada medio por parámetro utilizado, después de aplicar un tratamiento. Para el parámetro pH se asignó valores 1 y 2 según si la variación promedio de las muestras tratadas mantenía una diferencia positiva o negativa dentro de un margen del 20% respecto a su nivel inicial. Para la conductividad eléctrica se asignaron valores de 1 y 2 si las muestras superaban o caían por debajo del 10% de su valor inicial, siendo el valor mayor para variaciones superiores al 10%. Los sólidos totales disueltos se evaluaron según porcentajes de variación positiva y negativa (10 %, 20 %, 40 % y 60 %) respecto a su nivel inicial, puntuándose 1 al 4, donde el valor más alto correspondía a la mayor variación porcentual.

Para el parámetro temperatura, se asignaron valores de puntuación de 1 y 2. El valor 2 se otorgó cuando hubo una variación positiva que superó los 3 °C, mientras que el valor 1 se asignó si la variación estaba por debajo del umbral establecida por la normativa aplicable.

Además, se realizó una valoración económica considerando el costo de obtener la dosis de tratamiento necesaria para un litro de agua tratada. Se valoró esta variable en relación al sueldo básico en Perú (S/. 1025.00). Se asignaron valores 1, 2 y 3 a los costos de tratamiento por litro de agua tratada, dependiendo de si eran inferiores al 0,05 %, entre el 0,05 y el 1 % , o superiores al 1% del sueldo básico. Finalmente se evaluó el porcentaje de remoción de turbidez, asignando valores de puntuación 1, 0 y 2, a las variaciones negativas, sin variación y positivas, respectivamente. (Tabla 2)

Análisis de los datos

Se empleó un diseño de bloques completos al azar, donde el tipo de floculante se consideró como el tratamiento y la procedencia como

Tabla 2

Valores iniciales y finales de parametros de campo y turbidez comparados con sus respectivos limites maximos permisibles (LMP)

Tratamientos	pH inicial	pH final **	LMP		CE inicial	CE final	LMP	Turbidez inicial	Turbidez Final**	LMP
			Mín.	Máx.						
1.1	8.25	8.57	6.5	8.5	747	850	1500	104	62.4	5
1.2	7.83	8.55	6.5	8.5	196	197	1500	68.9	54.5	5
1.3	8.26	8.48	6.5	8.5	700	800	1500	44.6	32.3	5
1.4	5.79	6.51	6.5	8.5	840	850	1500	1.45	2.45	5
2.1	8.26	8.72	6.5	8.5	745	856	1500	177	110.3	5
2.2	7.84	8.75	6.5	8.5	807	210	1500	84.7	63.5	5
2.3	8.34	8.58	6.5	8.5	680	730	1500	88	36	5
2.4	7.57	8.65	6.5	8.5	820	850	1500	1.47	13.7	5
3.1	8.25	8.68	6.5	8.5	146	151	1500	124	78.3	5
3.2	7.79	8.72	6.5	8.5	206	218	1500	90.1	64	5
3.3	8.31	8.47	6.5	8.5	680	960	1500	53.4	33.2	5
3.4	7.54	8.32	6.5	8.5	900	1040	1500	1.49	15.2	5
4.1	8.43	8.84	6.5	8.5	691	700	1500	38.9	excedencia ¹	5
4.2	7.85	8.79	6.5	8.5	802	840	1500	80.4	excedencia	5
4.3	8.26	8.42	6.5	8.5	690	878	1500	60.5	excedencia	5
4.4	5.71	8.2	6.5	8.5	895	615	1500	1.9	excedencia	5
5.1	8.3	5.35	6.5	8.5	144	174	1500	146	50.2	5
5.2	7.87	5.13	6.5	8.5	197	213	1500	66.1	31	5
5.3	8.29	5.21	6.5	8.5	680	832	1500	30.1	10.2	5
5.4	5.64	3.16	6.5	8.5	830	924	1500	1.59	17.9	5
6.1	8.46	7.96	6.5	8.5	194	212	1500	18.1	10.32	5
6.2	7.81	8.04	6.5	8.5	192	192	1500	99.1	67.6	5
6.3	8.26	8.05	6.5	8.5	700	794	1500	56.8	40.1	5
6.4	5.61	5.13	6.5	8.5	770	859	1500	1.48	16.7	5

pH: Unidades de Ph; Ce: Conductividad eléctrica: $\mu\text{mho/cm}$

** representa diferencias altamente significativas

¹Excedencia” representan valores por encima del umbral máximo de detección del equipo medidor.

bloque. Los datos cumplieron las asunciones de normalidad (prueba de Shapiro) y homocedasticidad (prueba de Bartlett). Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa Minitab versión 19.

Resultados y discusión

Se compararon los niveles iniciales y finales de los parámetros complementarios evaluados con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo 031-2010-SA y el Decreto Supremo 004-2017-MINAM, tal como se detalla en la Tabla 2 y 3. Mediante el análisis de varianza, se evaluaron los valores de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura, tanto al inicio como al final del estudio. Este análisis reveló diferencias altamente significativas entre los tratamientos para cada uno de estos parámetros.

Tabla 3

Valores iniciales y finales de TDS y temperatura con sus respectivos límites máximos permisibles (LMP)

Tratamientos	TDS inicial	TDS final**	LMP	T° inicial	T° final**	ECA
1.1	740	780	1000	19.4	20.7	Δ 3
1.2	980	990	1000	18.7	20.5	Δ 3
1.3	740	420	1000	18.6	20.6	Δ 3
1.4	420	430	1000	19	20.4	Δ 3
2.1	730	760	1000	19.2	20.8	Δ 3
2.2	1030	1040	1000	18.5	20.7	Δ 3
2.3	350	360	1000	18.3	21	Δ 3
2.4	410	430	1000	18.9	20.8	Δ 3
3.1	730	760	1000	19.3	21.3	Δ 3
3.2	1040	1010	1000	18.3	21.5	Δ 3
3.3	360	460	1000	18.2	22.9	Δ 3
3.4	450	520	1000	18.9	24.5	Δ 3
4.1	960	490	1000	19.4	22.1	Δ 3
4.2	1010	520	1000	18.4	22.2	Δ 3
4.3	340	210	1000	18.02	20.4	Δ 3
4.4	440	230	1000	19	22.5	Δ 3
5.1	720	760	1000	19.5	20.1	Δ 3
5.2	990	945	1000	18.5	22.32	Δ 3
5.3	340	632	1000	18.5	22.39	Δ 3
5.4	440	569	1000	19	23.1	Δ 3
6.1	960	457	1000	19.5	19.9	Δ 3
6.2	900	402	1000	18.9	19.6	Δ 3
6.3	350	133	1000	18.9	20.33	Δ 3
6.4	410	164	1000	18.3	19.11	Δ 3

Nota 1: Unidades de medición (TDS: ppm; temperatura: °C)

Nota 2: ** representa diferencias altamente significativas.

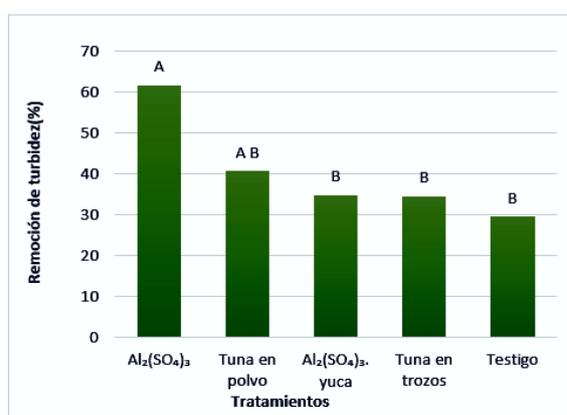
Nota 3: (1.) Representa el número de tratamiento aplicado, (I) representa el número de bloque y (1.1) representa la unidad experimental.

Los parámetros complementarios de la calidad del agua mostraron resultados de conductividad eléctrica por debajo del límite máximo permisible según la normativa. En cuanto a los sólidos totales disueltos, únicamente el valor final de la muestra 2.2 (Tabla 3) correspondiente al Sector de Sevilla donde se aplicó el polvo de mucilago de tuna, excedió el límite máximo permisible.

En relación al pH, el sulfato de aluminio acidificó todas las muestras de agua por debajo de los límites máximos permisibles. De manera similar la combinación de sulfato de aluminio y almidón de yuca también redujo el pH, atribuido a la presencia del compuesto químico, como se fundamenta en los estudios previamente mencionados, tal como se observa en la Tabla 2.

Figura 1

Porcentaje de remoción de turbidez por tratamiento



La aplicación del tratamiento polvo de mucilago de tuna resultó en una remoción de la turbidez del 40,60%, lo cual es estadísticamente significativo ($P < 0,01$). En un estudio realizado por Morejón (2017), se reportó un efecto altamente significativo ($P < 0,01$) en la remoción de la turbidez, alcanzando un 65,42% con una dosis de 50% de floculante (Figura 1).

La aplicación de *Moringa oleifera* como floculante no produjo los resultados esperados; por el contrario los niveles de turbidez se incrementaron a valores que superaron la capacidad de medición del equipo. Esta observación contrasta con estudios anteriores que avalan la eficacia de la moringa como floculante. Meza-Leones et al (2018) lograron remover el 76,3% de la turbidez utilizando una dosis de 750 mg/L, la misma empleada en nuestra investigación. Asimismo, Acevedo (2019) reportó una reducción de 40,3 % en la turbidez inicial aplicando una dosis de 5 mg/L.

La combinación de sulfato de aluminio con almidón de yuca como floculante logró una remoción de la turbidez del 34,72 % (Figura 1),

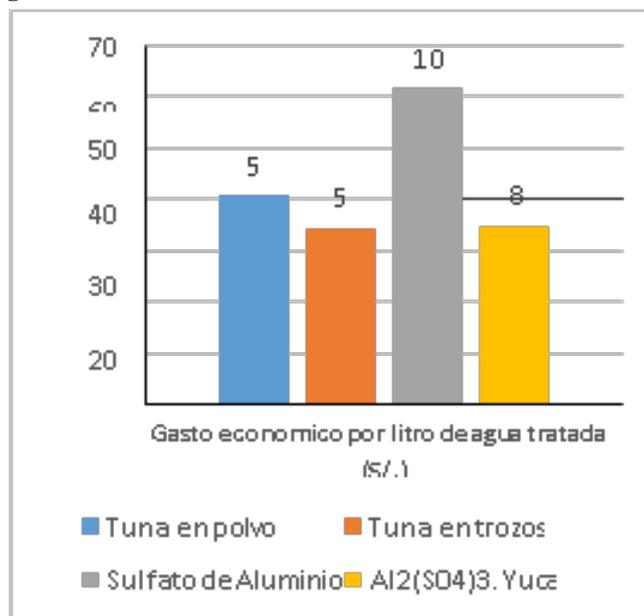
mostrando un efecto altamente significativo ($p < 0,01$). Ortiz et al (2018) aplicaron un método similar, utilizando almidón de yuca como coadyuvante y obtuvieron una reducción entre el 44,8 % y el 61,4 %, lo que concuerda estadísticamente con los resultados de nuestra investigación.

El sulfato de aluminio, reconocido como un floculante eficaz, alcanzó un promedio de remoción de turbidez del 61,61 % en este estudio (Figura 1). Estos resultados son consistentes con los reportados por Meza-Leones et al (2018) Ortiz et al (2018), quienes lograron una remoción de hasta 96 % utilizando este producto químico.

En esta investigación, se consideró fundamental cuantificar el costo económico asociado a cada tratamiento por litro de agua tratado. La Figura 2 muestra los gastos correspondientes a cada floculante aplicado. La *Moringa oleifera* resultó ser el tratamiento más costoso, con un gasto de once soles por litro de agua tratada, debido a los materiales requeridos para su preparación.

Figura 2

Gasto (S/.) por litro de agua tratada de acuerdo al % de turbidez removida.



La Tabla 4 muestra el tratamiento con el mejor valor de sostenibilidad. Estos valores fueron determinados utilizando criterios que consideran tanto el costo del tratamiento como su impacto en los parámetros fisicoquímicos del agua tratada. Se presenta los valores asignados y la influencia de cada tratamiento en los

parámetros analizados, junto con su valoración económica. Estos valores reflejan como cada tratamiento afecta la calidad del agua en términos de sus propiedades fisicoquímicas y su costo, destacando que el mucilago de tuna en polvo es el floculante más sostenible entre los evaluados..

Tabla 4

Valor de sostenibilidad de los tratamientos

Tratamientos Parámetros	Tuna polvo	Tuna trozos	Moringa	Sulfato Aluminio	Sulfato Aluminio. + yuca	Ponderación
pH	2	2	2	1	2	
CE	2	1	1	1	2	
T°	2	1	1	1	2	20%
STD	2	1,5	4	1	2	
Total	8	5,5	8	4	8	
Porcentaje remoción turbidez	2	1	1	3	1	50%
Valoración económica	3	3	1	2	1	30%
Valor sostenibilidad	4	2,5	2	2,9	2,4	

Conclusiones

Se encontraron diferencias significativas entre los valores iniciales y finales de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura en los diferentes tratamientos. Los tratamientos naturales, como el mucilago de tuna y almidón de yuca demostraron ser tan efectivos como el sulfato de aluminio, en la reducción de la turbidez del agua, lo que sugiere que son alternativas viables para el tratamiento del agua. En particular, el polvo de mucilago de tuna se destacó como el tratamiento más sostenible y económico.

Referencias

- Acevedo, E. (2019). *Uso de Semillas de Moringa (Moringa Oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de Rio Negro, Rio de Oro y Quebrada Floridablanca, Santander* [Tesis de pregrado, Universidad de Santander]. <http://repositorio.udes.edu.co/handle/001/1050>
- Bravo, M. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/5609>
- Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, D., Parra, P., Marín, J., y Díaz, A. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90–99. <http://doi.org/10.18359/rfcb.1941>
- Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C., Ramos-Pacheco, B., Solano-Reynoso, A., Choque-Quispe, Y., Peralta-Guevara, D., y Quispe-Quispe, Y. (2020). Optimización de la capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. *Revista DYNA*, 87 (2 1 2) , 9 0 - 95. <http://doi:10.15446/dyna.v87n212.80467>
- Congreso Constituyente Democrático (1993). Constitución Política del Perú aprobado mediante Referéndum constitucional de 1 9 9 3 . P e r ú . <http://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/198518/>
- Constitución Política del Perú de 1993. Carta magna por el cual se establecen los derechos y deberes de los ciudadanos peruanos. 26 de agosto de 1993.
- Dávila, C., Huamán, M., Flores, J., Polo, R., y Araujo, N. (2018). Efectividad de especies naturales como ayudantes de coagulación, para la clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas.

- Revista Aporte Santiaguino*, 11(2), 299 – 310.
<http://doi:10.32911/as.2018.v11n2.583>
- Instituto Nacional de defensa Civil [INDECI]. (2007). Informe Final mapa de peligros de la ciudad de Huacho. <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/2729>
- Guevara, G., Verdesoto, A., y Castro, E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista científica mundo de la investigación y el conocimiento*, 4 (3) , 1 6 3 – 1 7 3 .
<http://doi:10.26820/recimundo/4>
- Ley N° 28611 de 2015. Norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. 15 de octubre de 2005.
- Lozano, L. (2018). Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de opuntia ficus-indica (tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018 [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/721/statistics>
- Mera-Alegría, C., Gutiérrez-Salamanca, C., Montes-Rojas, C., y Paz-Concha, J. (2016). Efecto de la moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. *Revista Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 14(2), 100 – 109. [http://doi:10.18684/BSAA\(14\)100-109](http://doi:10.18684/BSAA(14)100-109)
- Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Mercado-Martínez, I., Olivero-Verbel, R., y Jurado-Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 1 7 (2) , 9 5 – 1 0 4 .
<http://doi:10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MIDAGRI]. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. R. J. N° 010-2016-A N A .
<http://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-010-2016-ana-0>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua*. D. S. N° 004-2017-MINAM. <http://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- Ministerio de Salud [MINSA] (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. D. S N° 031-2010-SA. <http://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Ministerio de Salud [MINSA]. (2015). Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo. R. D. N° 160-2015/DIGESA/SA. http://www.digesa.minsa.gob.pe/normaslegales/normas/rd_160_2015
- Morejón, B. (2017). Utilización del mucilago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi [Tesis de postgrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6621>
- 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(13), 18 – 46. <http://doi:10.23913/ciba.v7i13.73>
- Renault, F., Sancey, B., Badot, M., y Crini, G. (2008). Chitosan for coagulation/flocculation processes – an eco-friendly. *European Polymer Journal*, 45(2009), 1337-1348. <http://doi:10.1016/j.eurpolymj.2008.12.027>
- Rodríguez, L., Hernández, A., Rodríguez, C. (2017). Diversificación del uso industrial del yacimiento Río del Callejón: Obtención de Sulfato de aluminio para tratamiento de agua. *Minería y Geología*, 33(2), 177 – 190. http://scielo.sld.cu/scielo.php?scrip=sci_artext&pid=S19938012201700020000
- Silva, M. (2017). Extracción del mucilago de la
Peruvian Agricultural Research 6(1), 51-59, 2024

penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <http://hdl.handle.net/20.500.12672/7155>

Torres-Parra, C., García-Ubaque, C., García-Ubaque, J., García-Vaca, M., y Pacheco-García, R. (2017). Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativa de filtración. *Revista salud pública*, 19(4), 453 – 459. <http://doi:10.15446/rsap.v19n56039>

Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de medicina experimental y salud pública*, 35(2), 304 – 308. <http://doi:10.17843/rpmesp.2018.352.3719>

Zamudio, J., Reinel, J., Ibarra, D., Solaque, Ó., Cafiero, A., y Garzón, E. (2015). Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá. *Revista tecnología y productividad*, 1(1), 71 – 83. <http://doi:10.23850/24632465.248>