



Remoción de Turbidez y Hierro en Aguas del Río crucero Huancane Mediante el Uso de Cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) y Planta de Totora (*Scirpus californicus*) como Coagulantes Naturales.

Quispe Rodrigo Gladia Ibeth ¹, Espinoza Mamani Fernando ²

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

El propósito de este estudio es valorar la eficacia de disminuir la turbidez y el hierro en las aguas del río crucero a través del método de prueba de jarras, empleando la cáscara de patatas (*Solanum tuberosum*) y la planta de totora (*Scirpus californicus*) como coagulantes naturales. Los primeros valores se situaron en 86.9 NTU en términos de turbiedad y 3.6 mg/L en relación al hierro. Se empleó un diseño cuantitativo experimental para evaluar las propiedades fisicoquímicas de las soluciones coagulantes, tales como el pH, la turbidez, la conductividad eléctrica y el hierro. Se determinó la dosis correcta a través de la prueba de Jarras con concentraciones de 100, 150 y 200 mg/L para ambas soluciones.

Los hallazgos indicaron que tanto la cáscara de papa como la planta de totora disminuyeron de manera notable la turbidez y los niveles de hierro. Finalmente, la turbidez alcanzó los 7.80 NTU con cáscaras de papa y 8.35 NTU con planta de totora, ambas con una dosis de 200 mg/L. Los niveles de hierro disminuyeron a 0.65 mg/L con cáscaras de papa y 0.40 mg/L con planta de totora, ambos con una dosis de 200 mg/L. Para concluir, tanto las cáscaras de papas como la planta de totora han probado ser coagulantes eficaces para disminuir la turbidez y los niveles de hierro en las aguas. Esto indica que la utilización de coagulantes naturales podría ser una opción viable y sustentable para el tratamiento de aguas contaminadas, gracias a su habilidad para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua, disminuyendo de esta manera los contaminantes disueltos.

Palabras clave: Turbidez, Coagulante, Cascara de papa, Totora, Test de jarras.

Abstract

The purpose of this study is to assess the effectiveness of reducing turbidity and iron in the waters of the Crucero River using the jar test method, using potato peels (*Solanum tuberosum*) and the cattail plant (*Scirpus californicus*) as natural coagulants. Initial values were 86.9 NTU for turbidity and 3.6 mg/L for iron. A quantitative experimental design was used to evaluate the physicochemical properties of the coagulant solutions, such as pH, turbidity, electrical conductivity, and iron. The correct dosage was determined using the jar test with concentrations of 100, 150, and 200 mg/L for both solutions.

The findings indicated that both potato peels and the cattail plant significantly reduced turbidity and iron levels. Finally, turbidity reached 7.80 NTU with potato peels and 8.35 NTU with totora reeds, both at a dose of 200 mg/L. Iron levels decreased to 0.65 mg/L with potato peels and 0.40 mg/L with totora reeds, both at a dose of 200 mg/L. In conclusion, both potato peels and totora reeds have proven to be effective coagulants in reducing turbidity and iron levels in water. This indicates that the use of natural coagulants could be a viable and sustainable option for the treatment of contaminated water, thanks to their ability to destabilize colloidal particles present in the water, thus reducing dissolved contaminants.

Keywords: Turbidity, Coagulant, Potato peel, Totora, Jar test.

1. Introducción

El problema de la contaminación en las aguas superficiales es serio, impactando tanto en la calidad del agua como en la salud de las personas. En el distrito de crucero, ubicado en la región de Puno, Perú, el río crucero se encuentra con grados preocupantes de contaminación, principalmente a causa de las actividades mineras en la región. Esta polución ha provocado elevadas dosis de turbidez y acumulación de metales pesados, en particular hierro, amenazando la salud de las comunidades locales y la diversidad biológica del río. Un precedente significativo es el reporte del Ministerio del Ambiente de Perú, que indica que las actividades mineras en crucero han aportado de manera considerable a la polución del río de crucero, perjudicando la calidad del agua y la vida en él. En este escenario, se vuelve claro la importancia de encontrar técnicas eficaces y sostenibles para la purificación del agua contaminada.

Los procedimientos convencionales de purificación de aguas son costosos y pueden perjudicar el entorno, en cambio, los coagulantes naturales representan una opción ecológica, económica y sustentable. Estos materiales son numerosos, asequibles y biodegradables, lo que los hace asequibles para las comunidades perjudicadas. Investigaciones anteriores han evidenciado la efectividad de varios coagulantes naturales para incrementar la calidad del agua. Por ejemplo, Okuda et al. (2001) descubrieron que el extracto de semilla de moringa oleífera resulta efectivo en la purificación del agua, mientras que Vijayaraghavan et al. (2009) demostraron que la cáscara de banana puede emplearse para eliminar metales pesados del agua.

Los coagulantes naturales brindan varias ventajas, que incluyen la sostenibilidad, el costo reducido y la eficacia. Estos materiales son biodegradables y no tóxicos, lo que los hace una alternativa respetuosa con el entorno natural. Además, al ser residuos o subproductos agrícolas, resultan económicos y asequibles, particularmente en comunidades rurales o de ingresos bajos. Diversas investigaciones han evidenciado que los coagulantes naturales pueden resultar tan eficaces como los coagulantes químicos convencionales en la eliminación de turbidez y metales pesados (Sanghi et al., 2002; Yin, 2010; Ali et al., 2016).

Este estudio se centra en valorar la efectividad de disminuir la turbidez y el hierro en las aguas del río crucero a través del método de prueba de jarras, empleando coagulantes naturales producidos a partir de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y la planta de totora (*Scirpus californicus*). Se ha reconocido a los coagulantes naturales como una opción viable y sustentable para el tratamiento de aguas contaminadas, dado que tienen la capacidad de desestabilizar las partículas coloidales suspendidas en el agua, disminuyendo de esta manera los contaminantes disueltos. La hipótesis de este estudio es que la aplicación de coagulantes naturales hechos de cáscaras de papa y la planta de totora resulta eficaz para disminuir la turbidez y los contenidos de hierro en las aguas del río crucero.

Para lograr el propósito de este estudio, se elaboró un experimento cuantitativo que contempló la valoración de las propiedades fisicoquímicas de las soluciones coagulantes, como el pH, la turbidez, la conductividad eléctrica y la concentración de hierro. Se utilizaron variadas cantidades de los coagulantes naturales y se analizaron sus impactos en la calidad del agua del río crucero. Los hallazgos de este estudio pueden ayudar a descubrir soluciones sustentables y eficaces para el manejo de aguas contaminadas en el río crucero y otros cuerpos de agua parecidos, mejorando de esta manera la calidad de vida de las comunidades impactadas y protegiendo el entorno natural.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

- cáscara de papa Canchan.
- Totora

- Mortero
- Probeta de plástico PP de 2000ml
- Vasos precipitados de 100ml y 1000ml.
- Matraces Erlenmeyer de 500ml, 100 ml
- Balde de 15L.
- Tamiz # 60.
- Papel filtro.
- Guantes quirúrgicos.
- Pipeta.
- Reactivo para hierro.
- Viales.
- Agua destilada

2.2. *Equipos*

- Test de jaras.
- Estufa Binder.
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg (Sartorius)
- Multiparámetro portátil hach.
- Turbidímetro VELP
- Peachímetro de bolsillo HI98128

2.3. *Metodología*

2.3.1. **Identificación de puntos contaminados del río**

Antes de realizar cualquier tratamiento del agua, el primer paso fue identificar los lugares más afectados por la contaminación en el río Crucero, ubicado en el distrito de Crucero, región Puno, Perú. Los investigadores seleccionaron tres puntos diferentes del río. Estos puntos se eligieron estratégicamente para tener una buena representación de las condiciones reales del río. Para asegurarse de que estos lugares pudieran ser localizados con exactitud más adelante, se usaron coordenadas GPS en formato UTM (Universal Transverse Mercator). Esta etapa es fundamental, porque conocer de dónde viene el agua permite tener claridad sobre los niveles reales de contaminación y cómo varían en distintos tramos del río.

2.3.2. **Análisis del agua antes del tratamiento (pretratamiento)**

Luego de recoger las muestras de agua en los tres puntos seleccionados, se llevaron al laboratorio para analizarlas. En esta etapa, se evaluaron algunas características básicas del agua conocidas como parámetros fisicoquímicos, entre ellos:

- **pH:** para saber si el agua es ácida o básica.
- **Turbidez:** indica qué tan clara o sucia está el agua.
- **Conductividad eléctrica:** mide la cantidad de minerales disueltos (como sales).
- **Hierro:** se midió porque este metal está presente en exceso en ríos contaminados, especialmente por actividades mineras.

Cada muestra fue colocada en matraces (frascos de laboratorio) de 150 ml y se usó un equipo multiparámetro (marca HACH) para hacer las mediciones. Este análisis inicial sirve como referencia para comparar con los resultados después del tratamiento.

2.3.3. . Medición especial del hierro

Durante esta etapa, se detectaron niveles de hierro tan altos que el equipo no podía medirlos directamente. Para resolver esto, se realizó un procedimiento llamado dilución, que consiste en mezclar la muestra con agua destilada para reducir su concentración.

El procedimiento fue el siguiente:

- Se colocaron 9 ml de agua destilada en un frasco.
- Luego se agregó 1 ml de la muestra original de agua del río.
- Esta nueva mezcla se midió con el equipo.

Como se trataba de una muestra 10 veces más diluida, el valor que se obtuvo se multiplicó por **10** para obtener el valor real del hierro en la muestra original.

Este paso fue clave para obtener datos confiables sobre los niveles de hierro en el agua antes del tratamiento.

2.3.4. Recolección de una muestra grande de agua

De los tres puntos analizados, el tercero resultó ser el más contaminado. Por eso se decidió recoger una muestra grande de 15 litros de agua de ese lugar. Esta agua se transportó cuidadosamente hasta el laboratorio de la Universidad Peruana Unión (filial Juliaca) para realizar allí todos los experimentos.

Tener esta cantidad suficiente de agua permitió hacer todas las pruebas necesarias con distintas concentraciones de los coagulantes naturales.

2.3.5. Preparación de los coagulantes naturales

Para limpiar el agua, se utilizaron dos materiales naturales como coagulantes:

a) Cáscara de papa (*Solanum tuberosum*)

- Se recolectaron cáscaras de papa tipo Canchan, que normalmente se consideran residuos.
- Estas cáscaras fueron lavadas con agua limpia para quitarles la tierra y otras impurezas.
- Luego se secaron por 72 horas (3 días) usando un deshidratador solar.
- Después se molieron a mano con un mortero hasta hacerlas polvo.
- Ese polvo se pasó por un tamiz (colador fino N° 60) para que quedara lo más fino posible.
- Finalmente, se almacenó en recipientes limpios, listos para preparar la solución coagulante.

Este proceso transforma un desecho doméstico en un producto útil para limpiar el agua.

b) Planta de totora (*Scirpus californicus*)

- Se recolectaron tallos de la planta totora (muy común en los humedales del altiplano).
- Se usaron 2 kilos de totora, cortados en pedazos de unos 15 cm.
- Los tallos se lavaron con agua, se secaron por 72 horas al aire y luego se molieron.
- También se tamizaron (igual que la papa) para obtener un polvo fino.
- Este polvo se guardó en envases plásticos para usarlo en la preparación del coagulante.

Así se obtuvo el segundo coagulante natural para las pruebas.

2.3.6. Prueba del test de jarras (simulación de tratamiento de agua)

Con los coagulantes listos, se hizo una prueba de laboratorio muy conocida llamada **test de jarras**. Este procedimiento simula el proceso que ocurre en una planta de tratamiento de agua para ver cómo funcionan los coagulantes.

El procedimiento fue el siguiente:

- Se colocaron 800 ml de agua contaminada en seis vasos de precipitado.
- Se añadieron diferentes cantidades de coagulante: 100, 150 y 200 mg/L para cada uno (papa y totora).
- Se agitó el agua de forma rápida durante 10 minutos a 200 rpm.
- Luego se agitó más lento durante 25 minutos a 70 rpm, para permitir que las partículas empiecen a unirse y sedimentar.

Estas condiciones imitan cómo se mezcla el agua en plantas reales. El objetivo fue observar cuál cantidad de coagulante funciona mejor para limpiar el agua.

2.3.7. Filtración de las muestras

Después de agitar el agua con los coagulantes, se dejó reposar por 30 minutos. Esto permitió que las partículas sucias se fueran al fondo.

Luego se hizo lo siguiente:

- Se vertió el agua con cuidado en otros frascos para evitar que se mezcle el sedimento con el agua limpia.
- Se fraccionó el agua en dos frascos grandes de 1000 ml, formando dos muestras de 500 ml.
- Esto permitió manejar mejor las muestras y prepararlas para el análisis final.

2.3.8. Análisis del agua después del tratamiento (postratamiento)

Finalmente, se analizaron nuevamente las muestras tratadas para ver cuánto habían mejorado. Se tomaron 15 ml de cada muestra filtrada y se midieron los mismos parámetros que al inicio:

- **Turbidez:** usando un turbidímetro para ver qué tan clara estaba el agua.
- **pH y conductividad eléctrica:** con un multiparámetro.
- **Hierro:** para saber cuánto había bajado la concentración de este metal.

Este paso sirvió para comprobar si los coagulantes naturales realmente funcionaron y qué tan efectivos fueron.

2.3.9. Identificación de puntos de impacto

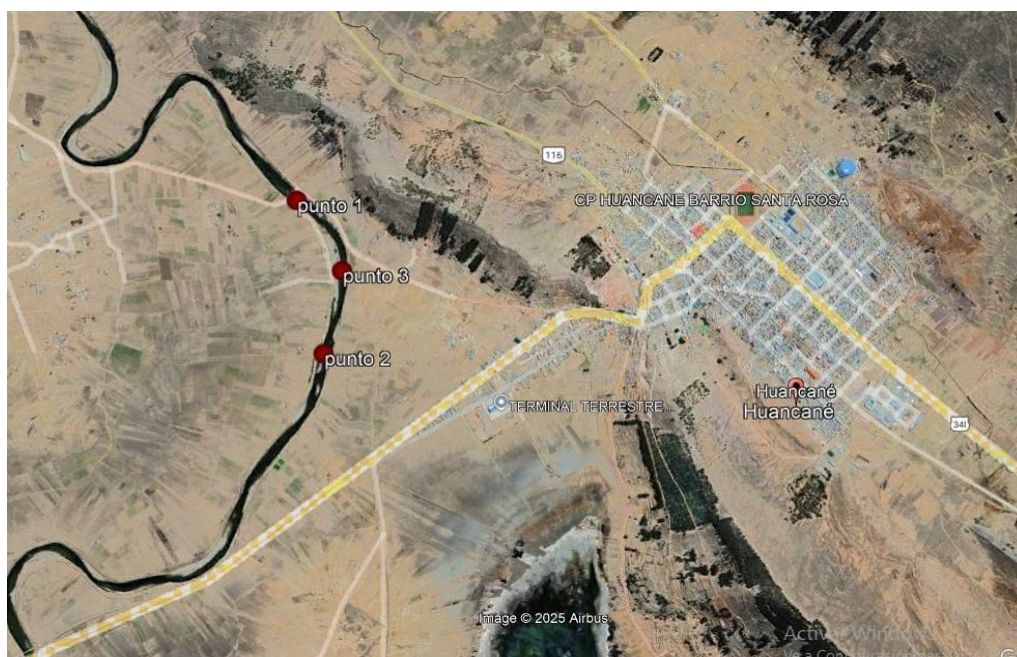


Figura 1: Puntos de impacto.

Table 1: Puntos de muestreo inicial

Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19L		
muestra	ESTE	NORTE
1	298052.89	8346417.90
2	297933.76	8346159.35
3	297709.40	8345927.89

2.3.10. Análisis físico químico y hierro del agua inicial-PRE TRATAMIENTO

Las muestras fueron tomadas en diferentes puntos a lo largo del río para asegurar una representación adecuada de las condiciones del agua. Se tomo 3 puntos de muestreo, para el cual se evaluaron parámetros fisicoquímicos como el pH, conductividad eléctrica, turbiedad y el hierro por medio de un multiparámetro marca HACH. Se utilizaron 3 matraces con una muestra de 150 ml de cada muestra, para luego hacer su medición.

2.3.11. Medición del hierro inicial

Durante la evaluación del contenido de hierro, se detectaron concentraciones tan elevadas que superaron la capacidad de medición del equipo disponible. Ante esta situación, se decidió diluir la muestra para obtener resultados precisos. El procedimiento de dilución consistió en agregar 9 ml de agua destilada a la muestra inicial. Este proceso se llevó a cabo utilizando una pipeta para medir con precisión el volumen de agua destilada, la cual se transfirió a un vial. Posteriormente, se añadió 1 ml de la solución original a dicho vial. Esta dilución permitió obtener una concentración de hierro dentro del rango medible por el equipo, facilitando así una evaluación más precisa de su contenido en la muestra original. La cual para obtener el resultado, se debe multiplicar por 9 el resultado.

Tabla 2: Análisis de laboratorio - pre tratamiento

Muestra	pH	Turbiedad	Cond. Elec	Hierro
		NTU	us/cm	Mg/L
1	6.85	22.0	6.12	0.18
2	7.38	57.7	6.12	3.06
3	7.46	86.9	6.12	3.6
Promedio	7.23	55.53	6.12	2.25

Elaboración propia

2.3.12. Recolección de Muestra de Agua de 15L

Se recolecto una muestra de 15 L de agua del río crucero en la provincia de carabaya, región de Puno, exactamente en el 3 punto por ser el más alto, para luego ser transportado y almacenado en el laboratorio de saneamiento ambiental en la universidad peruana unión (UPeU- Juliaca).

2.3.13. Mecanismo para la obtención de coagulante

Se prepararon dos soluciones coagulantes naturales preparadas a partir de residuos vegetales (*Solanum tuberosum* y *Scirpus californicus*)

2.3.13.1. Preparación de coagulante a base de cascaras de papa

Primeramente, se recolectó de cáscara de papa (*Solanum Tuberosum*), seguidamente las cáscaras de papa fueron lavadas con abundante agua, luego secadas a una temperatura ambiente durante 72 horas en un deshidratador solar. Seguidamente se sometió a molienda, de manera manual (mortero) para después pasar al tamizado con una medida de N° 60 y obteniendo polvo fino de las mismas para su almacenamiento en recipientes plásticos y posterior uso en la preparación de la solución coagulante.

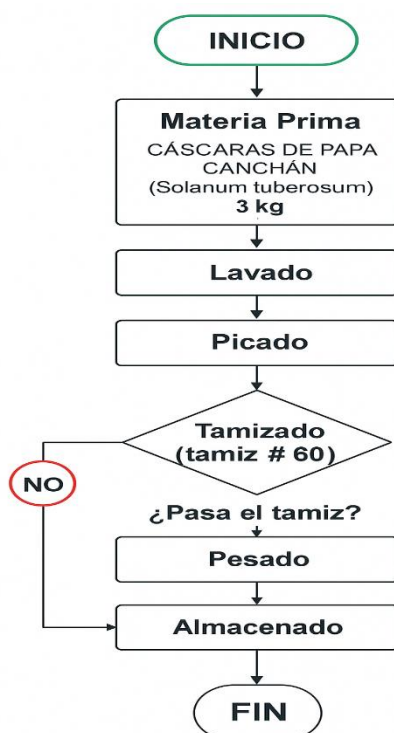


Figura 2: Metodología para la obtención de coagulante a base de cascaras de papa.

2.3.13.2. Preparación de coagulante a base de plantas de totora

Primeramente, se recolectó plantas de totora (*Scirpus Californicus*), se utilizaron 2 kg de tallo, los cuales fueron trozadas con las manos longitudinalmente, hasta dejar trozos 15 cm de largo. Una vez lavadas y trozadas, para después ser secadas a una temperatura ambiente durante 72 horas en un deshidratador solar para así poder generar una mayor maleabilidad a la hora de la molienda, posteriormente fue molido y pasado por un tamiz de N° 60; el material pasante fue almacenado en un envase de plástico para ser utilizado en la preparación de la solución coagulante.

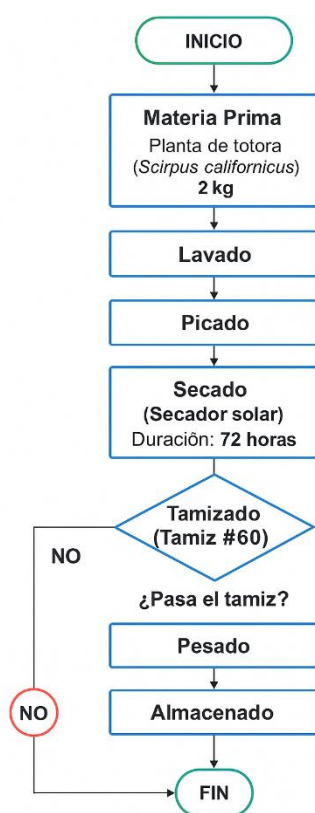


Figura 3: Metodología para la obtención de coagulante a base de planta de totora.

2.3.14. Prueba experimental del test de jarras

Para evaluar la eficiencia de reducción de contaminantes en el agua del río crucero, se realizó la prueba del test de Jarras, un equipo constituido por un agitador múltiple de seis paletas y velocidad variable marca VELP.

Se inició agregando 800 mL de agua madre en cada vaso precipitado, para así asignarle a cada envase una paletilla de mezcla. Se hizo la prueba aplicando concentraciones de 100, 150 y 200 mg/L de las soluciones preparadas (3 pruebas para el *Solanum tuberosum* y 3 pruebas para el *Scirpus californicus*) que anticipadamente fueron medidas con una balanza analítica. Se comenzó con una mezcla rápida de 200 rpm durante 10 minutos, seguida de una mezcla lenta a 70 rpm por 25 minutos.

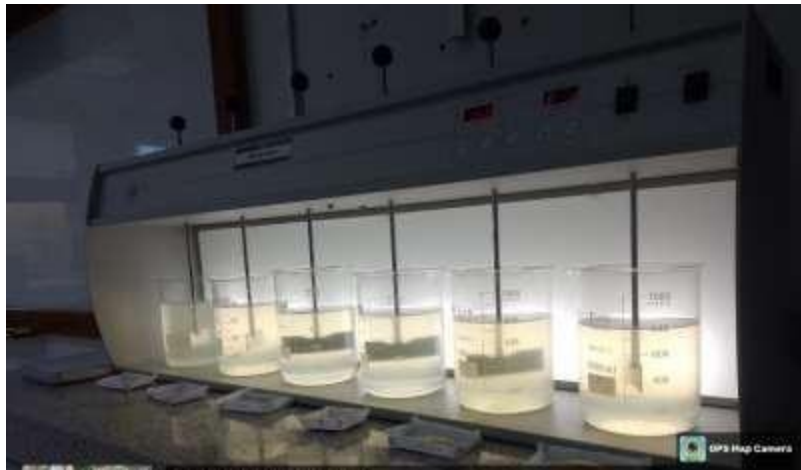


Figura 4: Prueba de jarras 3 pruebas de cada coagulante.

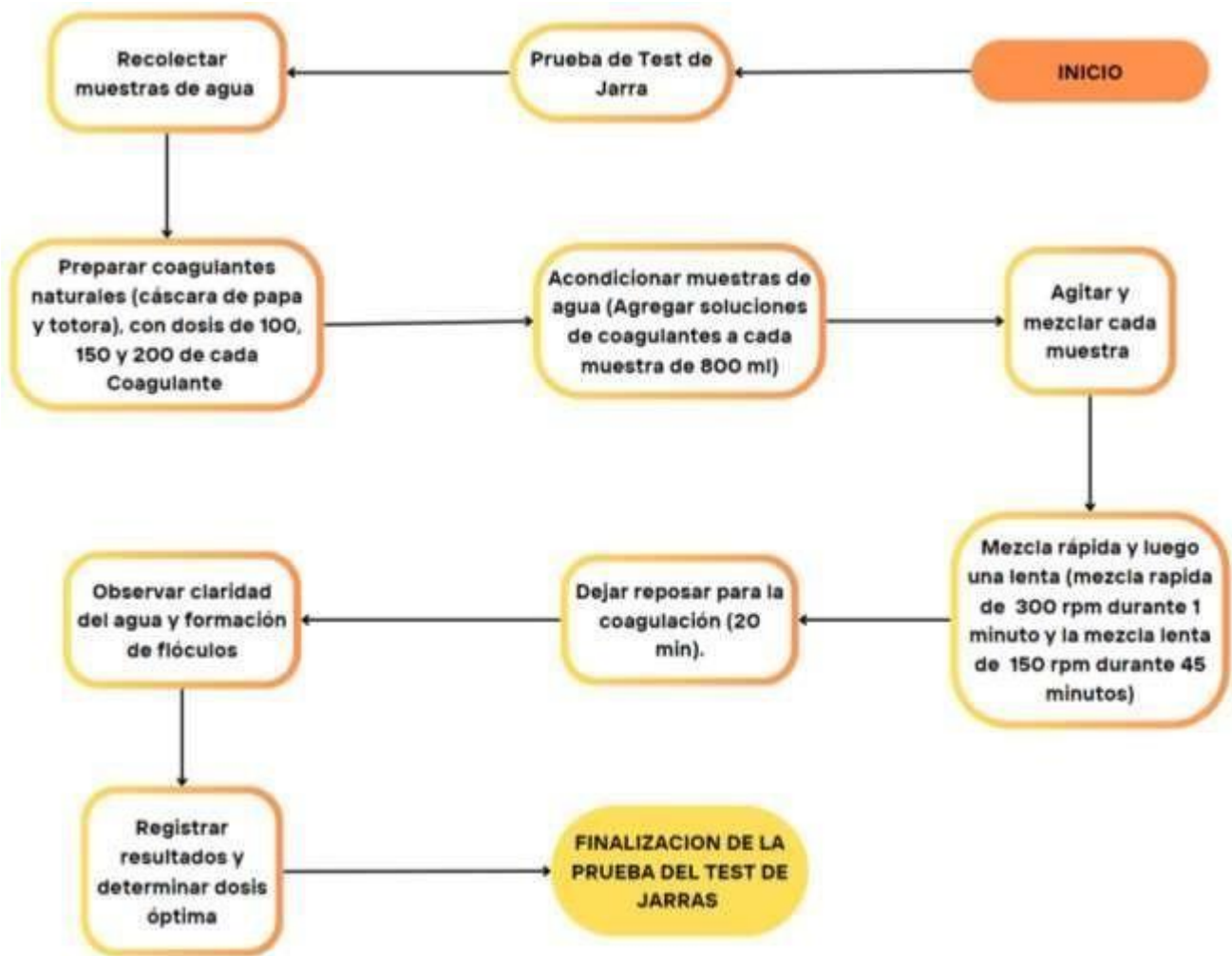


Figura 5: Metodología para la experimentación con el test de jarras.

2.3.15. Filtración de las muestras óptimas (cáscaras de plátano y papa)

Con el objetivo de llevar a cabo el proceso de filtración, se implementó un procedimiento preliminar que consistió en dejar reposar la muestra durante un período de 30 minutos para permitir la sedimentación de los sólidos presentes. Posteriormente, se procedió a transferir la muestra a través de un vertido cuidadoso en dos matraces Erlenmeyer de 250 ml cada uno. Esta etapa se realizó con el fin de facilitar el manejo y la posterior manipulación de la muestra. Una vez transferida la muestra, se fraccionó en dos vasos precipitados de 1000 ml de capacidad, resultando en dos muestras de 500 ml cada una. Este fraccionamiento se llevó a cabo con el propósito de obtener muestras representativas que permitieran realizar los análisis y ensayos pertinentes con precisión y exactitud.



Figura 6: Filtración de las 2 muestras.

2.3.16. Análisis físico químico y hierro del agua final-POST TRATAMIENTO

Para llevar a cabo el análisis posterior al tratamiento, se extrajo una porción de 15 ml de la muestra filtrada utilizando una jeringa, con el propósito de determinar los valores de turbidez. Estos valores fueron evaluados utilizando un turbidímetro VELCOP para asegurar la precisión de las mediciones. Además, se realizaron mediciones adicionales de los parámetros de turbidez, conductividad eléctrica y pH utilizando un multiparámetro HACH una vez completado el tratamiento. Este enfoque integral de análisis permitió una evaluación exhaustiva de la eficacia del tratamiento y proporcionó información crucial para la evaluación de la calidad del agua tratada

Tabla 3: Análisis post tratamiento.

Parámetros	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Scirpus californicus</i>
<i>Turbiedad</i>	7.80 NTU	8.35 NTU
<i>pH</i>	5.41	7.43
<i>Conductividad eléctrica</i>	647 us/cm	728 us/cm
<i>Hierro</i>	0.65 mg/L	0.40 mg/L

Elaboración propia



Figura 7: Medición del pH y conductividad eléctrica.



Figura 8: Medición de hierro con las 2 muestras.

3. Resultados y discusiones

Los resultados de la investigación confirmaron que tanto la cáscara de papa como la planta de totora son efectivos en la reducción de la turbidez y los niveles de hierro en el agua del río crucero. La turbidez final se redujo a 7.80 NTU con cáscaras de papa y a 8.35 NTU con planta de totora, ambas a una dosis de 200 mg/L. En cuanto a los niveles de hierro, estos se redujeron a 0.65 mg/L con cáscaras de papa y a 0.40 mg/L con planta de totora, también a una dosis de 200 mg/L. Estos resultados sugieren que los coagulantes naturales pueden ser una alternativa viable y sostenible para el tratamiento de aguas contaminadas, mostrando una capacidad significativa para desestabilizar las partículas coloidales suspendidas en el agua y reducir los contaminantes disueltos.

3.1. Eficiencia de los residuos de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*)

Tabla 4: Efectividad de remoción de la cascara de papa.

Parámetros	Inicial	<i>Solanum tuberosum</i>
<i>Turbiedad</i>	86.9 NTU	7.80 NTU
<i>pH</i>	7.46	5.41
<i>Conductividad eléctrica</i>	6.24 us/cm	647 us/cm
<i>Hierro</i>	3.6 mg/L	0.65 mg/L

Elaboración propia

Reducción de turbidez con cáscara de papa:

$$86.9 - 7.8 / 86.9 \times 100\% = 91.03\%$$

Reducción de hierro con cáscara de papa:

$$3.6 - 0.65 / 3.6 \times 100\% = 81.94\%$$

3.2. Eficiencia del coagulante a base de la planta de totora (*Scirpus californicus*)

Table 5: Efectividad de remoción de la planta de totora.

Parámetros	Inicial	<i>Scirpus californicus</i>
<i>Turbiedad</i>	86.9 NTU	8.35 NTU
<i>pH</i>	7.46	7.43
<i>Conductividad eléctrica</i>	6.24 us/cm	728 us/cm
<i>Hierro</i>	3.6 mg/L	0.65 mg/L

Elaboración propia

Reducción de turbidez con planta de totora:

$$86.9 - 8.35 / 86.9 \times 100\% = 90.39\%$$

Reducción de hierro con planta de totora:

$$3.6 - 0.40 / 3.6 \times 100\% = 88.94\%$$

En ambas pruebas, se visualiza que, para la turbidez, se destacaría la cáscara de papa con un porcentaje de remoción de 91% de la planta de totora debido a su reducción considerable en la turbidez en comparación con el agua cruda del río. Se observaría que, a una dosis de 200 mg/L, la cáscara de papa logra una turbidez final de 7.8 NTU, mientras que la planta de totora alcanza 8.35 NTU.

Para los niveles de hierro, se resaltaría la capacidad de ambos coagulantes naturales para reducir significativamente la concentración de hierro en el agua. Se notaría que, a una dosis de 200 mg/L, la cáscara de papa reduce los niveles de hierro a 0.65 mg/L, mientras que la planta de totora los reduce aún más a 0.40 mg/L, haciendo que esta destaque con un 88.94% de remoción.

4. Conclusiones

Se deduce que este estudio evidenció la eficacia de la cáscara de papa y la planta de totora como coagulantes naturales para eliminar la turbidez y los niveles de hierro en las aguas del río Crucero, disminuyéndolos de manera notable.

De igual forma, al analizar los porcentajes de disminución, se resalta que la planta de totora consiguió una disminución superior en los niveles de hierro en comparación con la cáscara de papa. La planta de totora consiguió una disminución del 88.89% en los niveles de hierro, en cambio, la cáscara de patatas consiguió una disminución del 81.94%. Esto indica que la planta de totora podría ser un poco más eficaz en la eliminación de hierro bajo estas circunstancias particulares.

Estos descubrimientos indican que la utilización de coagulantes naturales como la cáscara de patatas y la planta de totora poseen la habilidad para desestabilizar las partículas coloidales en suspensión y disminuir los contaminantes disueltos, lo que fortalece su posible uso en sistemas de tratamiento de aguas, particularmente en zonas donde los recursos y tecnologías tradicionales son escasos. Así pues, este estudio aporta a la búsqueda de soluciones ecológicas y rentables para la administración de recursos acuáticos, fomentando la utilización de materiales naturales y renovables.

Recomendaciones

Continuar con la investigación para establecer las dosis y condiciones ideales que potencien la efectividad de los coagulantes naturales, tales como las cáscaras de patatas y las plantas de totora, en la purificación de aguas contaminadas.

Promover la capacitación de comunidades locales y operadores de plantas de tratamiento de agua en el uso adecuado de coagulantes naturales, así como la difusión de los resultados de la investigación para fomentar su adopción.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Peruana Unión, filial Juliaca por el apoyo material brindado para la realización de esta investigación en cuanto la disponibilidad de sus laboratorios. También extendemos nuestro agradecimiento a los miembros del equipo de laboratorio por la guía y apoyo durante las pruebas experimentales. Agradecemos especialmente a los pobladores de Llalli por su colaboración y paciencia durante el período de muestreo.

Referencias

- Asencio Huayanay, D. D., & Quispe Amao, B. R. (2022). Eficiencia en reducción de turbidez y metales pesados usando el almidón de *Colocasia Esculenta* L. con *Canna Indica* en aguas del río Chillón.
- Asto Huamani, E., & Chahuasoncco Curi, S. D. (2022). Coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados a nivel mundial: Una revisión sistemática los últimos 5 años.
- Esparza Vargas, C., Acosta Ramírez, A. P. D. V., Bustos Jaimes, D., Moreno Carpinteyro, M., Ortega Del Angel, J., & Vega Chávez, I. H. (2023). Reducción de metales pesados mediante el uso de la *Moringa oleifera* Lam.
- Bravo Gallardo, M. A. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales.
- Cueva Clemente, H. J. (2014). Diseño de experimentos en la remoción de metales pesados en aguas residuales de la industria minera por procesos de coagulación con sulfato ferroso.

- Quispe Amao, B. R., & Asencio Huayanay, D. D. Eficiencia en reducción de turbidez y metales pesados usando el almidón de *Colocasia Esculenta* L. con *Canna Indica* en aguas del río Chillón.
- Al-Sameraiy, M. (2012). Un nuevo enfoque de pretratamiento del agua para la eliminación de la turbidez utilizando semillas de dátil y vaina de polen. *Journal of Water and Health*, 10(4), 506-516.
- Ali, E. N., Muyibi, S. A., Salleh, H. M., Alam, M. Z., & Salleh, M. R. M. (2010). Producción de coagulante natural a partir de semillas de moringa oleífera para su aplicación en el tratamiento de agua de baja turbidez. *Journal of Water Resource and Protection*, 2(3), 259-266.
- Beltrán-Heredia, J., & Sánchez-Martín, J. (2009). Eliminación de sulfato de sodio y laurilo mediante coagulación/floculación con extracto de semillas de moringa oleífera. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2-3), 713-719
- Simate, G. S., & Onyango, M. S. (2013). Water treatment using *Moringa oleífera* and other locally available seeds in developing countries: A review. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 62(4), 223-234.
- AGUILAR, Henry. Utilización de la *Moringa oleífera* como coagulante para la remoción de arsénico en el agua de los pozos del centro poblado Cruz del Médano del Distrito de Mórrope, 2018 Tesis (Pregrado). Chiclayo: Universidad César Vallejo. Disponible en https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/39485/Aguilar_DHR.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- AQUINO, Kendy y TOVAR, Milagros. Eficiencia de remoción del Plomo (ii) de aguas residuales mineras utilizando almidón de cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) como coagulante natural. Tesis (Título de Ingeniero Químico Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6862/T010_7004_2501_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ARIAS, José. et al. Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia por Arias, José, et al. *Rivista Heliyon*. Vol. 6, no 6, p. e04296. Perú: Universidad de Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2020. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2405844020311403?token=C13EA41ED34AA8777D769561F17C9D0469CDA330342767DDA3BABB018CBA6182F7BC9D64D7E00DBB5C8A6522E14236B8&originRegion=us-east1&originCreation=2022070615482>
- ACEVEDO María, SANTOS Luis y REALPE Álvaro. Removal of Turbidity from Water by Using Modified Starch of Achira, *Canna Edulis* Ker Gawl. [Cannaceae]. *Revista Ciencias de la Ingeniería Contemporánea*, vol. 11, no 23, p 2. [Colombia] Universidad de Cartagena, 2018. Disponible en : http://www.mhikari.com/ces/ces2018/ces21-24_2018/p/acevedomorantesCES21-24-2018.pdf
- ALAN David y CORTEZ Liliana. Procesos y fundamentos de la investigación científica. Libro. Editorial UTMACH, 2017. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12498/1/Procesos-yFundamentosDeLainvestigacionCientifica.pdf>
- CUADRO, William y RODAS, Josué. Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y *Moringa oleífera* en tratamiento de aguas superficiales. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. 2018. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33216>
- DEL RIO Lady. y GRANDE Carlos. Valorización de residuos industriales en la producción de almidón de yuca. *Revista Prospectiva*, vol. 19, no 2, p. 3. Colombia: Universidad del Atlántico, 2021. Disponible en: <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/2556/2416>
- HUAMÁN, Claudia y JAIMES, Hillary. Metodología de superficie de respuesta en la eficiencia de remoción de turbidez de agua empleando almidón de pituca (*Colocassia Esculenta*) como auxiliar de coagulación. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental) Lima: Universidad Peruana Unión, 2019. Disponible en: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2079/Claudia_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MORENO, Gabriela et al. Application of *Solanum tuberosum* (potato) starch as a natural coagulant in the water treatment of the Punrún lagoon - Perú, Huancayo: Universidad Continental, 2021. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11352/1/IV_FIN_107_TE_Moreno_Ortega_Valerio_2021.pdf