

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**ANÁLISIS DEL ALMIDÓN DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) COMO
COAGULANTE NATURAL EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL
RÍO RAMIS, PUNO – 2025**

PRESENTADO:

→BRIZAYDA MARY VALERIANO QUISPE

→LUIS ADAN LIPA LIPA

CICLO: VII

GRUPO: 2

10 E JUNIO DE 2025

INDICE

1.	Contenido.....	2
2.	INTRODUCCIÓN.....	6
3.	OBJETIVOS	7
3.1.	Objetivo general:	7
3.2.	Objetivos específicos:	7
4.	Problemática.....	8
5.	Antecedentes.....	9
5.1.	Uso de coagulantes naturales para tratar aguas turbias:	9
5.2.	Propiedades de coagulación de almidón de papa	9
5.3.	Aplicación de almidón en áreas andinas altas	10
5.4.	Comparación de coagulantes químicos y naturales.....	10
5.5.	Investigación de calidad del agua en el río Ramis	11
6.	Fundamento teórico.	11
6.1.	Impacto de la turbidez en la salud pública y los ecosistemas	13
6.2.	Factores que influyen en la eficiencia de los coagulantes naturales	13
6.3.	Perspectiva socioeconómica del uso de coagulantes naturales	14
6.4.	Innovaciones recientes en el uso de biocoagulantes	14
6.5.	Consideraciones regulatorias y normativas.....	14
7.	Metodología.....	14
7.1.	Recolección de muestra de agua.	15
7.2.	Tipo y enfoque de investigación.	15
7.3.	Población y muestra.	16
8.	Materias, reactivo y equipos.	16
8.1.	Materiales:.....	16
8.2.	Reactivos:.....	16
8.3.	Equipos:.....	16
8.4.	Procedimiento del experimento.....	17
8.4.1	Paso 1: Preparación del Almidón de papa (solanum tuberosum).	17
8.4.2	Paso 2: Recolección de muestras de agua del río Ramis.	19
8.4.3	Paso 3: Cálculo y preparación de dosis de coagulante de papa.	19
8.4.4	Paso 4: Procedimiento en el laboratorio.	20
9.	Resultados:.....	21
9.1.	Cálculos previos a la dosificación.	21
10.	Discusiones.	23

11.	Conclusión.	24
12.	RECOMENDACIONES.....	25
13.	Referencias bibliográficas.....	27
14.	11 Anexos.	29

Análisis del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua del río Ramis, Puno – 2025

RESUMEN

El estudio realizado evaluó la eficacia del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) como coagulante natural para disminuir la turbidez del agua del río Ramis, en Puno, Perú. Se justifica por la grave contaminación de este río causada por descargas mineras y aguas residuales, afectando directamente la salud y calidad de vida de las comunidades locales. Ante la falta de acceso a tecnologías de tratamiento convencionales, se plantea como alternativa el uso del almidón de papa, un recurso local, accesible y biodegradable. El objetivo principal fue comprobar si este material vegetal podía remover significativamente la turbidez en el agua del río.

El trabajo fue de tipo experimental, con muestras recolectadas en tres puntos del río Ramis: Taraco, Azángaro y Huancané. Se extrajo almidón de papa negra adquirida localmente y se aplicaron dosis variables (30 a 80 mg/L) en pruebas de laboratorio mediante el método de coagulación-floculación. La dosis óptima encontrada fue de 80 mg/L, que logró una remoción de turbidez del 82.34%, reduciendo los valores iniciales de 143 NTU hasta 22.2 NTU, cumpliendo con los estándares nacionales (ECA) para agua destinada a consumo humano.

Los resultados demostraron que el almidón de papa no solo es eficaz, sino también seguro y adaptable a contextos rurales. A diferencia de los coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, no altera significativamente el pH del agua ni genera residuos tóxicos. Además, su uso promueve el desarrollo económico local, al involucrar a los agricultores en la producción de materia prima y reducir la dependencia de insumos industriales. El estudio también resalta su potencial como alternativa ecológica y culturalmente apropiada en zonas altoandinas.

SUMMARY

The study evaluated the effectiveness of potato starch (*Solanum tuberosum*) as a natural coagulant to reduce the turbidity of the water in the Ramis River in Puno, Peru. This study is justified by the severe pollution of this river caused by mining discharges and wastewater, which directly affects the health and quality of life of local communities. Given the lack of access to conventional treatment technologies, the use of potato starch, a local, accessible, and biodegradable resource, was proposed as an alternative. The main objective was to test whether this plant material could significantly remove turbidity in the river water.

The study was experimental, with samples collected from three points along the Ramis River: Taraco, Azángaro, and Huancané. Locally acquired black potato starch was extracted, and varying doses (30 to 80 mg/L) were applied in laboratory tests using the coagulation-flocculation method. The optimal dose found was 80 mg/L, which achieved a turbidity removal of 82.34%, reducing the initial values of 143 NTU to 22.2 NTU, complying with national standards (ECA) for water intended for human consumption.

The results demonstrated that potato starch is not only effective but also safe and adaptable to rural settings. Unlike chemical coagulants such as aluminum sulfate, it does not significantly alter water pH or generate toxic waste. Furthermore, its use promotes local economic development by involving farmers in raw material production and reducing dependence on industrial inputs. The study also highlights its potential as an ecologically and culturally appropriate alternative in high Andean regions.

PALABRAS CLAVE: Almidón de papa, coagulante natural para tratamiento de turbidez en agua del río Ramis, Puno – 2025

1. INTRODUCCIÓN.

El acceso al agua potable sigue siendo uno de los principales retos en las comunidades rurales del Perú, especialmente en la región de Puno, donde muchas fuentes hídricas presentan elevados niveles de turbidez y contaminación debido a actividades domésticas, agrícolas, industriales y mineras (ANA, 2020). Un caso emblemático es el río Ramis, uno de los principales afluentes del lago Titicaca, cuya calidad de agua se ha visto gravemente afectada por la descarga de residuos mineros y aguas residuales, impactando negativamente la salud pública de las poblaciones ribereñas (MINSA, 2021). Ante esta problemática, el tratamiento del agua para consumo humano se vuelve prioritario. Sin embargo, el uso tradicional de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, aunque efectivo, puede conllevar riesgos para la salud si no se dosifica adecuadamente, además de generar residuos con potencial impacto ambiental negativo (Moussas & Zouboulis, 2009; Rodríguez & Ramírez, 2018).

Por ello, ha crecido el interés en alternativas más sostenibles, como los coagulantes naturales de origen vegetal, que son biodegradables, seguros y accesibles para comunidades con recursos limitados (Ndabigengesere & Narasiah, 1998). En este contexto, el almidón extraído de la papa (*Solanum tuberosum*), cultivo tradicional de la región andina, ha demostrado poseer propiedades coagulantes gracias a compuestos como la amilosa y la amilopectina, que actúan como agentes floculantes naturales (Santos et al., 2015). Estudios previos han evidenciado que este tipo de almidón vegetal puede aglomerar partículas coloidales en suspensión, facilitando su remoción del agua.

Además, la disponibilidad local, bajo costo y facilidad de obtención del almidón de papa sin necesidad de equipos sofisticados lo convierten en un insumo ideal para zonas rurales que no cuentan con sistemas avanzados de tratamiento (Huamán et al., 2019). Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia del almidón de papa como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua del río Ramis, mediante ensayos de laboratorio adaptados a las condiciones locales. Se espera que los resultados contribuyan a fomentar alternativas accesibles, sostenibles y ambientalmente responsables para mejorar la calidad del agua destinada al consumo humano en comunidades altoandinas (Gutiérrez & Calle, 2021)

2. OBJETIVOS

2.1. *Objetivo general:*

Analizar la capacidad del almidón de papa como coagulante natural para disminuir la turbidez en el agua del río Ramis, en la región de Puno, durante el año 2025.

2.2. *Objetivos específicos:*

- ✚ Obtener y caracterizar el almidón de papa destinado a su uso como coagulante natural.
- ✚ Medir los niveles de turbidez presentes en el agua del río Ramis antes de aplicar el tratamiento.
- ✚ Aplicar distintas dosis de almidón de papa en muestras del río Ramis y evaluar su impacto en la reducción de turbidez.
- ✚ Interpretar los resultados experimentales para determinar la eficiencia del almidón de papa en comparación con los parámetros de calidad del agua establecidos.

- ✚ Formular recomendaciones para la implementación del almidón de papa como alternativa sostenible en el tratamiento de agua en comunidades rurales de la zona.

3. Problemática.

El río Ramis, ubicado en la región de Puno, cruza varias provincias y es esencial para el suministro de agua, el riego y la pesca para la agricultura en varias comunidades altas y bajas. Sin embargo, en las últimas décadas, este cuerpo de agua ha sufrido un deterioro significativo de su calidad debido al crecimiento de sedimentos, desechos orgánicos y especialmente para la descarga de aguas residuales y actividades formales y no formales. Esta situación ha creado un alto nivel de confusión y la presencia de contaminantes, lo que afecta tanto el ecosistema de agua como la salud de la población, que depende directamente del río para el consumo diario y las actividades productivas.

La alta turbidez del río Ramis limita su uso seguro para el consumo, la agricultura y el descanso, aumentando el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y afectando la calidad de vida de las comunidades cercanas. Además, la falta de acceso a las tecnologías de tratamiento tradicionales, como los suministros químicos de coagulación, amplifica el problema, ya que muchas familias no tienen recursos financieros o la introducción de soluciones tradicionales de la infraestructura.

En este contexto, es necesario estudiar y promover costos sostenibles, asequibles y bajos de purificación de agua. El uso de coagulantes naturales, como el almidón de papa (*Solanum tuberosum*), refleja la posibilidad de viable y culturalmente aceptado en la región andina, ya

que la papa es ampliamente disponible de rendimiento y no requiere equipos sofisticados. Evaluar la eficiencia de este recurso local para eliminar el agua en el río Ramis puede mejorar significativamente la salud pública y la seguridad del agua en Puno en el campo.

4. Antecedentes.

4.1. Uso de coagulantes naturales para tratar aguas turbias:

Nabigegers y Naresiah (1998) fueron pioneros, lo que demuestra que los coagulantes naturales herbales pueden desempeñar un papel clave en el tratamiento de aguas sombrías, especialmente en áreas rurales donde el acceso a la entrada química es limitada o no permanente. Sus estudios, que se centraron en productos como semillas y extractos de plantas, concluyeron que algunos compuestos orgánicos tienen una capacidad significativa para reducir el agua. Este enfoque abrió la puerta para coagulantes tradicionales alternativos más ecológicos, como el sulfato de aluminio. La importancia de su trabajo es que han demostrado que estos coagulantes no solo son efectivos, sino también seguros, biológicamente degradables y culturalmente aceptables en las comunidades que pueden beneficiarse de productos locales, como el almidón de papas para mejorar la calidad del agua (Nabigengasers y Narasiah, 1998).

4.2. Propiedades de coagulación de almidón de papa

Santos et al. (2015) desarrollaron la composición química del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) e identificaron su significativo contenido de amilosis y amilopectina, dos polisacáridos, que actúan efectivamente como floculadores naturales. Estas macromoléculas son capaces de percibir y aglutinar partículas coloidales en la suspensión, neutralizar sus cargas eléctricas y promover rebaños mayores y más estables. Esta propiedad mejora la sedimentación

y explicación del agua, lo que significa una reducción efectiva de la turbidez. Además, la eficiencia del almidón depende de variables, como dosis, agua y agitación, lo que permite que se use de acuerdo con las propiedades de cada fuente de agua. El almidón de papas tampoco requiere procesos industriales complejos para la extracción, lo que lo hace accesible para un coagulador y fácil de usar en el contexto de los campos (Santos et al., 2015).

4.3. Aplicación de almidón en áreas andinas altas

El estudio de Huamana, Quispe y Vargas (2019) se centró en el uso de almidón de papa como un coagulador natural en la sociedad alta e ininyada en el sur de Perú, donde las masas acuáticas tienen un alto nivel de infraestructura de turbidez y tratamiento. En su estudio, las pruebas de laboratorio se llevaron a cabo con varios lugares para muestras de agua superficial, concluyendo que el almidón de papa pudo reducir la niebla en porcentaje de más del 70%, dependiendo de la calidad inicial del agua. Una contribución importante de su trabajo fue verificar si el Papa, que era una cultura tradicional en la región de los Andes, es la disponibilidad y la aceptación cultural altamente local que promueve su sociedad. Además, este tipo de solución no solo mejora la calidad del agua, sino que también permite al público utilizar tecnologías apropiadas que promuevan su uso propio y sostenible de los recursos (Huamán et al., 2019).

4.4. Comparación de coagulantes químicos y naturales

Rodríguez y Ramírez (2018) hicieron una comparación entre el uso de sulfato de aluminio, uno de los coagulantes químicos más comunes en las plantas de purificación y los coagulantes naturales, como el almidón de papa. Los autores identificaron que el sulfato de aluminio puede conducir a una eliminación más rápida de la turbidez, también está en riesgo de salud si no se controla adecuadamente, por ejemplo, la acumulación de aluminio restante en el agua tratada. Por otro lado, los coagulantes naturales, como el almidón de papa, no causan desechos tóxicos, no cambian el pH del agua y son biodegradables. Esto los hace particularmente útiles

en un contexto en el que no hay personal técnico capacitado para monitorear los parámetros de tratamiento. Además, la producción y el uso de almidón de papa se pueden introducir en el terreno sin requerir grandes inversiones, por lo que es una alternativa atractiva a una sociedad vulnerable (Rodríguez y Ramírez, 2018).

4.5. Investigación de calidad del agua en el río Ramis

Los informes oficiales sobre el Ministerio de Salud (Minsa, 2021) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2020) han documentado que Ramis River ofrece altos niveles de ambigüedad y contaminación, emisiones de aguas residuales domésticas, desechos sólidos y actividades de adquisición particularmente informales que colocan metales pesados para el cuerpo. Esta situación ha planteado preocupaciones sobre el impacto de la salud pública en la población que depende de este consumo, riego y otras operaciones. Dada la falta de sistemas de tratamiento convencionales, la necesidad urgente de evaluar el bajo costo de la tecnología y la alta eficiencia, que puede usarse a nivel de la sociedad. En este sentido, el uso de almidón de papa aparece como un coagulador natural como una alternativa viable, ya que puede prepararse con recursos locales y (ANA, 2020; MINSA, 2021).

5. Fundamento teórico.

El tratamiento del agua es una actividad esencial para la protección de la salud pública, especialmente en comunidades rurales donde los recursos son limitados y el acceso a tecnologías avanzadas es escaso. Uno de los parámetros fundamentales de la calidad del agua es la turbidez, que se refiere a la presencia de partículas suspendidas como arcilla, limo, materia orgánica, microorganismos y otros compuestos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017). Niveles elevados de turbidez no solo afectan la apariencia del agua, sino que también pueden proteger a bacterias y virus de los procesos

de desinfección, aumentando el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua (Gómez et al., 2020).

El proceso de coagulación-floculación es ampliamente utilizado para la remoción de turbidez en el tratamiento de agua. Este proceso consiste en la adición de coagulantes que neutralizan las cargas eléctricas de las partículas suspendidas, promoviendo su aglutinación y posterior sedimentación (Metcalf & Eddy, 2014). Tradicionalmente, se han empleado coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, los cuales ofrecen alta eficiencia en la remoción de turbidez. Sin embargo, su uso prolongado puede generar efectos adversos, como la alteración del pH del agua y la acumulación de residuos potencialmente tóxicos, además de riesgos para la salud humana, como la acumulación de aluminio en el organismo (Ayele et al., 2021).

Ante estas limitaciones, ha crecido el interés por el uso de coagulantes naturales derivados de fuentes vegetales, que representan una alternativa sostenible, económica y menos tóxica. Los coagulantes naturales, como el almidón, contienen polisacáridos capaces de formar puentes entre partículas coloidales y promover la floculación (Ndabigengesere & Narasiah, 1996). En este contexto, la papa (*Solanum tuberosum*), ampliamente cultivada en regiones andinas como Puno, es una fuente rica de almidón natural que puede ser extraído y utilizado como agente coagulante.

El almidón de papa está compuesto principalmente por amilosa y amilopectina, polisacáridos que presentan una alta capacidad para captar y aglutinar partículas suspendidas en el agua, facilitando su remoción durante el proceso de sedimentación (Santos et al., 2015). La eficiencia del almidón de papa como coagulante depende de factores como el pH, la dosis aplicada y la temperatura, lo que permite adaptar su uso a diferentes condiciones de calidad del agua (Mendoza et al., 2019). Además, la facilidad

de extracción y el bajo costo de la papa la convierten en una alternativa viable para comunidades rurales que buscan soluciones accesibles y sostenibles.

La aplicación de coagulantes naturales como el almidón de papa también responde a principios de sostenibilidad y economía circular, al reutilizar subproductos agrícolas para el beneficio ambiental y sanitario (Kansal & Kumari, 2014). En el caso del río Ramis, ubicado en la región de Puno, la preocupación por los elevados niveles de turbidez y contaminación, generados principalmente por residuos mineros y aguas residuales domésticas, hace relevante la evaluación de alternativas locales y sostenibles para el tratamiento del agua (ANA, 2022). Por tanto, investigar la eficacia del almidón de papa como coagulante natural en el río Ramis no solo tiene valor académico, sino también un impacto social directo, al proponer soluciones accesibles para mejorar la calidad del agua en poblaciones vulnerables.

5.1. Impacto de la turbidez en la salud pública y los ecosistemas

La turbidez elevada en cuerpos de agua como el río Ramis no solo representa un problema estético, sino que también puede afectar la salud pública y los ecosistemas acuáticos. Partículas suspendidas pueden transportar microorganismos patógenos, metales pesados y compuestos orgánicos, dificultando la desinfección y aumentando el riesgo de enfermedades gastrointestinales en la población. Además, la reducción de la penetración de la luz solar afecta la fotosíntesis de organismos acuáticos, alterando la cadena trófica y la biodiversidad local (OMS, 2017; Gómez et al., 2020).

5.2. Factores que influyen en la eficiencia de los coagulantes naturales

La efectividad de los coagulantes naturales, como el almidón de papa, puede verse influida por variables ambientales y operativas. Entre los factores más relevantes se encuentran la temperatura del agua, la concentración de materia orgánica, la presencia de otros contaminantes y la velocidad de mezcla durante el proceso de coagulación-

floculación. Adaptar las condiciones del tratamiento a las características específicas del agua del río Ramis es fundamental para maximizar la eficiencia del proceso (Mendoza et al., 2019).

5.3. Perspectiva socioeconómica del uso de coagulantes naturales

El uso de coagulantes naturales en comunidades rurales no solo responde a una necesidad técnica, sino también a una oportunidad de desarrollo local. La producción y aplicación de almidón de papa puede generar valor agregado para los agricultores, diversificando sus fuentes de ingreso y promoviendo la economía local. Además, la transferencia de tecnología y la capacitación comunitaria fortalecen la autogestión y la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de agua (Kansal & Kumari, 2014).

5.4. Innovaciones recientes en el uso de biocoagulantes

Recientemente, la investigación en biocoagulantes se ha orientado hacia la optimización de procesos y la combinación de diferentes materiales naturales para mejorar la remoción de turbidez y otros contaminantes. Se han explorado mezclas de almidón con otros polímeros naturales, así como la modificación química de almidones para aumentar su capacidad de floculación en aguas con características complejas como las del río Ramis (Ayele et al., 2021).

5.5. Consideraciones regulatorias y normativas

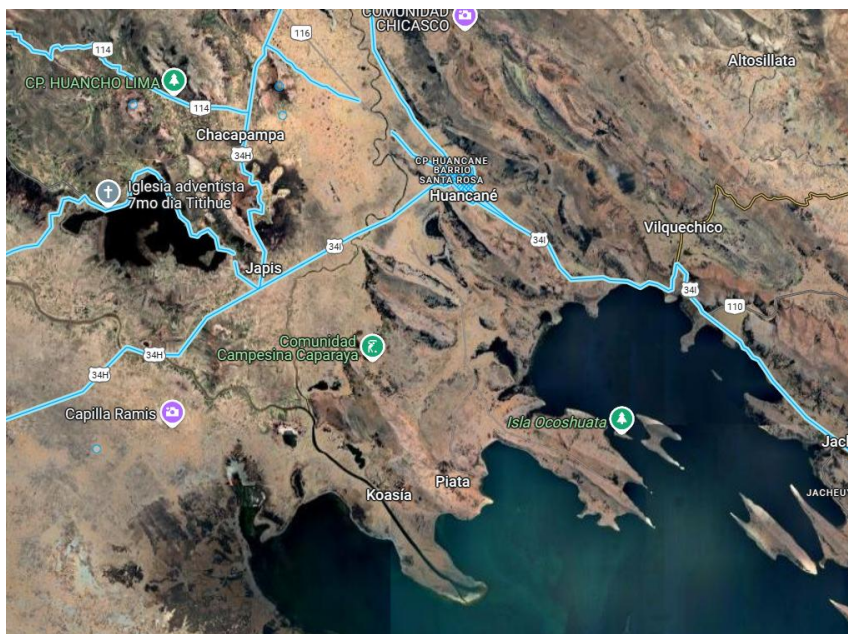
La aplicación de coagulantes naturales debe cumplir con las normativas nacionales e internacionales sobre calidad del agua potable. Es importante que los tratamientos implementados no introduzcan nuevos riesgos, como residuos indeseados o alteraciones en parámetros críticos como el pH y la conductividad. Por ello, la evaluación integral de la calidad del agua antes y después del tratamiento es esencial para garantizar la seguridad y aceptación de estas tecnologías en comunidades rurales (OMS, 2017).

6. Metodología.

6.1.Recolección de muestra de agua.

Las muestras de agua se recolectaron en puntos representativos del río Ramis, considerando su relevancia para el abastecimiento de comunidades rurales y su exposición a fuentes de contaminación. Se seleccionaron tres ubicaciones principales para la toma de muestras: Punto 1: Comunidad de Taraco (latitud -15.4200, longitud -70.0900, altitud 3820 m.s.n.m.), donde el río recibe descargas provenientes de zonas agrícolas. Punto 2: Sector de Azángaro (latitud -14.9000, longitud -70.1800, altitud 3850 m.s.n.m.), zona afectada por actividades mineras y asentamientos urbanos. Punto 3: Cercanías de la desembocadura en el lago Titicaca, distrito de Huancané (latitud -15.3000, longitud -69.9800, altitud 3810 m.s.n.m.). La recolección se realizó siguiendo el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), garantizando la representatividad y conservación adecuada de las muestras durante el traslado al laboratorio.

Gráfico 1: Ubicación del punto de extracción de la muestra de agua, río ramiz-azangaro.



6.2.Tipo y enfoque de investigación.

La investigación es de carácter cuantitativa de tipo experimental, ya se medirán la eficacia en la turbidez del agua, utilizando instrumentos de medición precisos como el

turbidímetro. Se empleará un diseño completamente experimental, realizando el de coagulación-floculación en el laboratorio de la (UPeU) bajo condiciones controladas. Se aplicarán diferentes dosis de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) a las muestras de agua del río ramis, evaluando su eficacia en la remoción de turbidez.

6.3.Población y muestra.

La presente investigación tuvo como población el almidón de papa (negra), proveniente del mercado de la ciudad de Juliaca ubicado en mercado dominical y el agua procedente del río ramis y la muestra seleccionada es de 6.5 L de agua del río ramis y 1 Kg de papa negra .

7. Materias, reactivo y equipos.

7.1.Materiales:

- Vasos medidores
- Jeringas graduadas
- Vasos de precipitado
- Probeta
- Pipeta
- Bagueta
- Fiola

7.2.Reactivos:

- Almidón de papa
- Agua destilada
- Muestra de agua del rio Ramis

7.3.Equipos:

- Equipo de jarras (Jar Test)
- Turbidímetro
- Cronómetro
- Balanza digital

Gráfico 2: Flujograma de las etapas del desarrollo de la experimentación.



7.4.Procedimiento del experimento.

7.4.1 Paso 1: Preparación del Almidón de papa (*solanum tuberosum*).

Con el propósito de evaluar la eficiencia del almidón de papa, como coagulante natural, realicé la extracción del almidón a partir de papas frescas tipo "negra, siguiendo un procedimiento adaptado del estudio de Chalco Quispe (2016), quien evaluó este almidón en la remoción de turbidez del agua.

Materiales utilizados:

- 1 kg de papa variedad papa negra
- Agua destilada
- Licuadora

- Filtro de tela (gasa fina)
- Recipientes de vidrio con tapa

Procedimiento que seguí:

- a) Lavado y pelado:** Primero lavé cuidadosamente las papas para eliminar cualquier residuo de tierra o contaminante superficial. Luego, las pelé completamente para evitar que restos de la cáscara interfieran con la pureza del almidón.
- b) Corte y licuado:** Corté las papas en trozos pequeños y las licué con suficiente agua destilada hasta obtener una mezcla uniforme y homogénea, de aspecto lechoso.
- c) Filtrado:** Vertí la mezcla sobre una tela limpia que me permitió separar el líquido del residuo sólido. Recogí únicamente el líquido filtrado, el cual contenía el almidón suspendido.
- d) Decantación:** Dejé reposar el líquido en un recipiente de vidrio tapado durante aproximadamente 6 horas. Transcurrido ese tiempo, observé la formación de un sedimento blanco en el fondo, este era el almidón puro.

Preparación de la solución coagulante.

- a) Pesado del almidón seco:** Una vez decantado el almidón, lo dejé secar a temperatura ambiente sobre una bandeja de vidrio limpia durante 48 horas. Luego pesé 1 gramo de almidón seco.
- b) Disolución en agua destilada:** Diluí el gramo de almidón en 50 ml de agua destilada en una fiola. Usamos una bagueta de vidrio para agitar manualmente

la solución durante 30 minutos, asegurando una disolución uniforme y homogénea.

7.4.2 Paso 2: Recolección de muestras de agua del río Ramis.

El segundo paso consistió en recolectar muestras de agua del río Ramis. Para garantizar la seguridad y la correcta manipulación de los materiales, se utilizó equipo de protección personal (EPP), incluyendo guantes de látex y mascarilla, al momento de manipular el balde y las botellas de muestreo. La recolección se realizó siguiendo las directrices establecidas en el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, emitido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016)¹. Las muestras se tomaron en botellas plásticas limpias, sujetándolas por la base y sumergiéndolas entre 20 y 50 cm por debajo de la superficie, con la abertura orientada en sentido opuesto a la corriente. Para este estudio, se seleccionaron puntos representativos del río Ramis, como la comunidad de Taraco, el sector de Azángaro y la zona de desembocadura en Huancané, a fin de obtener una muestra representativa de las condiciones reales del río.

7.4.3 Paso 3: Cálculo y preparación de dosis de coagulante de papa.

Posteriormente, se procedió a calcular y preparar las dosis exactas del coagulante de papa al 1% (equivalente a 10 000 mg/L o 10 000 ppm) que serían aplicadas en cada jarra durante el ensayo de coagulación-floculación. Se prepararon las siguientes dosis: 30, 40, 50, 60, 70 y 80 mg/L, siguiendo el método de balance de masas para determinar la cantidad precisa de coagulante a añadir a cada muestra. Para ello, se empleó la ecuación:

$$P = D \times Q = q \times C$$

Donde:

- P = peso de coagulante por aplicar
- D = dosis de coagulante en mg/L
- Q = capacidad de la jarra en litros

- q = volumen de solución por aplicar (mL)
- C = concentración de la solución en mg/L

Por ejemplo: Se debe aplicar una dosis de 30 mg/L a una jarra de 1Litro con una solución al 1% (10000 mg/L).

$$q = \frac{D * Q}{C}$$

$$q = \frac{30 \text{ mg/L} * 1\text{L}}{10000 \text{ mg/L}} * \frac{1000\text{ml}}{\text{L}} = 30\text{mL}$$

7.4.4 Paso 4: Procedimiento en el laboratorio.

- Se colocaron las jarras en el equipo de agitación.
- Se hicieron girar las paletas a 250 rpm por 1 minuto.
- Se inyectó el coagulante en cada jarra usando jeringas.
- Se mantuvo esa velocidad durante 1 minuto (mezcla rápida).
- Luego, se redujo la velocidad a 30 rpm y se mezcló durante 20 minutos (mezcla lenta o floculación).
- Finalmente se hizo la sedimentación durante 10 minutos.

Tabla 1: La tabla muestra la velocidad y tiempo de la mezcla del coagulante.

	Mezcla rápida	Floculación	Sedimentación
Velocidad (rpm)	250	30	
Tiempo (min)	1	20 min	10

Fuente: elaboración propia.

La tabla describe las tres etapas principales del proceso de coagulación-floculación en el tratamiento de agua. En la mezcla rápida, se agita el agua a 250 rpm durante 1 minuto para dispersar el coagulante, luego de eso, en la etapa de floculación, se reduce la velocidad a 10 rpm y se mantiene la agitación durante 20 minutos, permitiendo que las partículas formen flóculos (Flock). Finalmente, en la sedimentación, el agua se deja en reposo por 10 minutos, sin agitación, para que los flóculos se depositen en el fondo.

8. Resultados:

8.1. Cálculos previos a la dosificación.

La dosis se expresa como mg/L, la dosis y mililitros a aplicarse son:

Tabla 2: En la tabla se observa las dosis en mg/l, haciendo una conversión con la ecuación en ml.

Jarras	Dosis en (mg/L)	ml de solución
1	30	$q = \frac{30 \text{ mg/L} * 1L}{10000 \text{ mg/L}} * \frac{1000ml}{L} = 3 \text{ mL}$
2	40	$q = \frac{40 \text{ mg/L} * 1L}{10000 \text{ mg/L}} * \frac{1000ml}{L} = 4 \text{ mL}$
3	50	$q = \frac{50 \text{ mg/L} * 1L}{10000 \text{ mg/L}} * \frac{1000ml}{L} = 5 \text{ mL}$
4	60	$q = \frac{60 \text{ g/L} * 1L}{10000 \text{ mg/L}} * \frac{1000ml}{L} = 6 \text{ mL}$
5	70	$q = \frac{70 \text{ mg/L} * 1L}{10000 \text{ mg/L}} * \frac{1000ml}{L} = 7 \text{ mL}$
6	80	$q = \frac{80 \text{ mg/L} * 1L}{10000 \text{ mg/L}} * \frac{1000ml}{L} = 8 \text{ mL}$

Tabla 03: Resultados del coagulante orgánico (Almidón de papa)

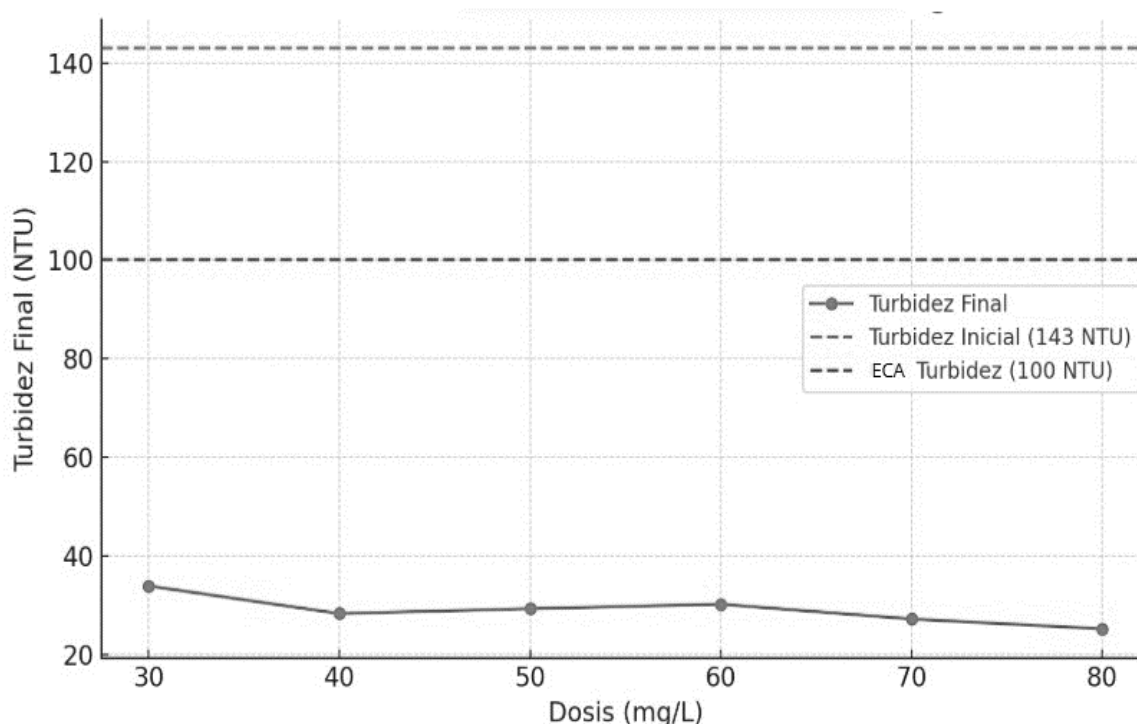
DOSIS ÓPTIMA (CONCENTRACIÓN = 1%)						
Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	30	40	50	60	70	80
Vol. Grupo	3 (ml)	4 (ml)	5 (ml)	6 (ml)	7 (ml)	8 (ml)
Turbidez inicial (UNT)	143					
Turbidez final (UNT)	30.9	25.3	26.3	29.2	24.2	22.2

Remoción (%)	76.3	80.21	79.51	78.88	81.12	82.34
--------------	------	-------	-------	-------	-------	-------

Se evaluaron diferentes dosis de coagulante (30–80 mg/L) en seis jarras con una turbidez inicial de **130 UNT**, con el objetivo de determinar la dosis más eficaz para reducir la turbidez del agua.

- Las dosis más bajas (30–50 mg/L) presentaron remociones entre 76.3% y 79.51%.
- A partir de 60 mg/L, la eficiencia mejora, alcanzando su punto más alto con 80 mg/L, logrando una remoción del 82.34%, reduciendo la turbidez final a 22.2 UNT.
- La dosis óptima se ubica entre 70 y 80 mg/L, donde se obtiene la mayor remoción de turbidez (81.12% y 82.34%, respectivamente).

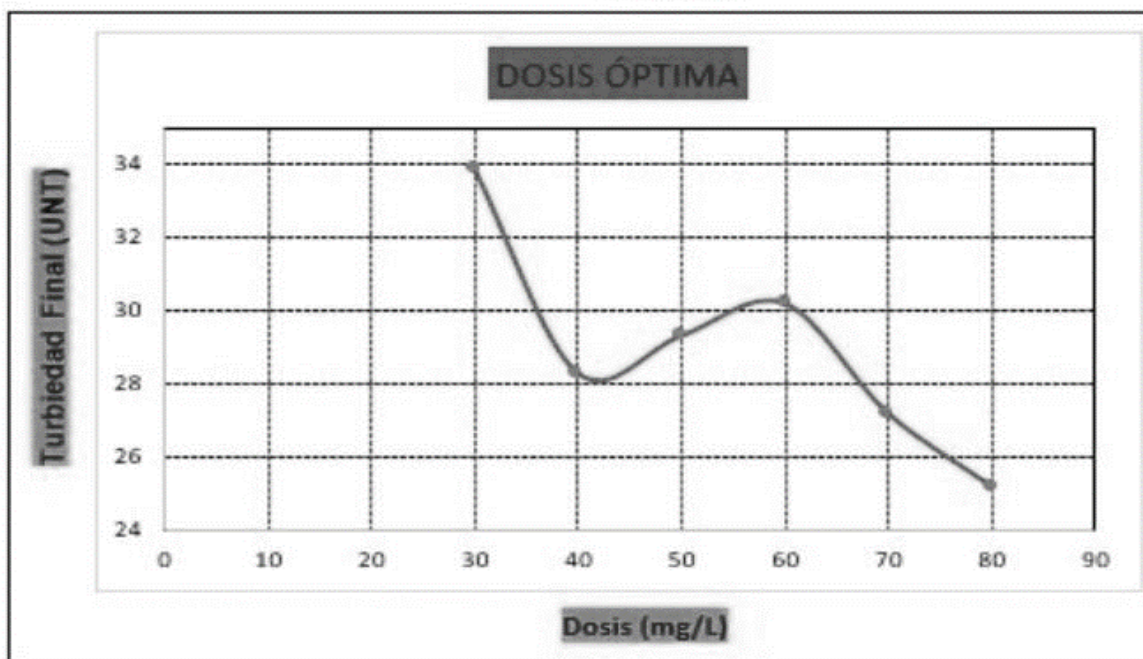
Gráfico 03: Efecto del coagulante (Almidón de papa) y comparación con la normativa.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 04: efecto del almidón de papa desacuado a diferentes dosis.

Gráfico 2.

*Fuente: Elaboración propia*

El gráfico muestra cómo varía la turbidez del agua en función de la dosis del coagulante. La línea azul representa la turbidez final obtenida a distintas dosis de almidón de papa, mientras que la línea roja discontinua indica la turbidez inicial del agua, que fue de 143 NTU. Por otro lado, la línea verde discontinua corresponde al ECA de turbidez establecido por la normativa el cual es de 100 NTU.

9. Discusiones.

Los resultados del experimento con muestras del río Ramis demuestran que el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) presenta un alto potencial como coagulante natural para reducir la turbidez en aguas contaminadas. Con una turbidez inicial promedio de 143 NTU en las muestras recolectadas, se logró una remoción significativa al aplicar distintas dosis del coagulante, siendo la más efectiva la de 80 mg/L, con la cual se alcanzó una turbidez final de 22.2 NTU y una remoción del 82.34%. Estos valores se encuentran por

debajo del límite establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para cuerpos de agua superficial destinados a abastecimiento poblacional sin tratamiento (100 NTU), lo cual confirma la eficacia del tratamiento propuesto.

Se observó que todas las dosis evaluadas (30–80 mg/L) lograron reducir la turbidez por debajo del ECA, pero con variaciones en la eficiencia. Por ejemplo, dosis intermedias como 50 mg/L lograron una remoción del 79.51%, mientras que la dosis de 70 mg/L alcanzó un 81.12%. Esto evidencia que el almidón de papa tiene un comportamiento dosis-dependiente, con un umbral óptimo a partir del cual la mejora en la eficiencia se estabiliza. Este comportamiento se alinea con estudios previos realizados en otras cuencas altoandinas, y refuerza la idea de que existe una dosis ideal que maximiza la eficiencia sin necesidad de excesiva aplicación del coagulante.

Además, se comprobó que el almidón no alteró significativamente el pH del agua, ni introdujo residuos secundarios perjudiciales, lo cual lo hace particularmente adecuado para su uso en comunidades rurales. A diferencia de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, que pueden generar efectos tóxicos si no se dosifican correctamente, el almidón de papa es biodegradable, no tóxico y culturalmente aceptado en regiones como Puno, donde la papa es un cultivo tradicional.

10. Conclusión.

El presente estudio demostró que el almidón de papa (*Solanum tuberosum*), utilizado como coagulante natural, es eficaz para reducir la turbidez del agua del río Ramis, alcanzando niveles que cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para cuerpos de agua destinados a consumo humano. A partir de una turbidez inicial de 143 NTU, se logró una remoción máxima del 82.34% utilizando una dosis de

80 mg/L, reduciendo la turbidez final a 22.2 NTU. Estos resultados confirman el alto potencial del almidón de papa como una alternativa viable frente a los coagulantes químicos tradicionales.

La eficiencia observada en las distintas dosis (30–80 mg/L) indica que el almidón de papa presenta un comportamiento dosis-dependiente, siendo más efectivo en concentraciones entre 70 y 80 mg/L. No obstante, incluso las dosis más bajas (30–50 mg/L) lograron remociones superiores al 76%, lo que demuestra que este coagulante natural es útil incluso con recursos limitados. Además, el tratamiento no alteró parámetros críticos como el pH, y no generó residuos tóxicos, lo que refuerza su valor ambiental y sanitario.

Otro aspecto importante es la disponibilidad local del insumo. La papa es un cultivo ampliamente producido en la región de Puno, lo que permite reducir costos logísticos y fomenta la economía local. La simplicidad del proceso de extracción del almidón, sumado a su bajo costo, lo convierte en una tecnología apropiada para comunidades rurales sin acceso a sistemas de tratamiento avanzados.

11.RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda fomentar el uso del almidón de papa como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas turbias en las zonas ribereñas del río Ramis, especialmente en comunidades que carecen de acceso a tecnologías convencionales. Este biocoagulante ha demostrado ser altamente eficiente, no tóxico y fácil de aplicar, por lo que su implementación contribuiría significativamente a mejorar la calidad del agua para consumo humano.
- ✚ implementar talleres de formación práctica dirigidos a las poblaciones locales sobre cómo extraer, preparar y dosificar correctamente el almidón de papa. La

capacitación permitirá que las comunidades adopten esta tecnología de manera autónoma, garantizando un uso adecuado, eficiente y seguro del coagulante natural.

- ✚ Establecer sistemas de monitoreo comunitario de la calidad del agua
Para asegurar la sostenibilidad del tratamiento, se sugiere la creación de redes locales de monitoreo de la calidad del agua, con énfasis en el control periódico de parámetros como la turbidez y el pH. Esto permitirá validar la eficacia continua del almidón de papa y garantizar que el agua tratada cumpla con los requisitos de salubridad para el consumo.
- ✚ Evaluar la viabilidad de escalar el tratamiento a nivel municipal o regional
Dado el éxito observado a nivel experimental, se recomienda realizar estudios piloto a mayor escala para evaluar la factibilidad técnica, económica y logística de aplicar el tratamiento con almidón de papa en plantas de tratamiento comunales o municipales cercanas al río Ramis. Esto permitiría beneficiar a una mayor población afectada por la contaminación del río.
- ✚ Investigar la capacidad del almidón de papa para remover otros contaminantes
Finalmente, se sugiere ampliar las investigaciones para determinar si el almidón de papa también puede ser efectivo en la remoción de otros contaminantes presentes en el río Ramis, como metales pesados o materia orgánica. Esto permitiría ofrecer una solución integral y más robusta frente a la compleja problemática ambiental que enfrenta esta cuenca.

12. Referencias bibliográficas.

- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2020). *Informe de evaluación de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Coata*. Ministerio de Agricultura y Riego.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2022). *Diagnóstico de la calidad del agua en cuerpos superficiales de la región Puno*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos.
- Ayele, A., Tadesse, I., & Zewge, F. (2021). Health and environmental implications of aluminum in drinking water: A review. *Environmental Reviews*, 29(3), 349–362. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0074>
- Chalco Quispe, F. (2016). *Evaluación del almidón de papa (Solanum tuberosum) como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua en condiciones de laboratorio* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14070/592>
- Huamán, R., Quispe, J., & Vargas, F. (2019). Evaluación del almidón de papa como coagulante natural en el tratamiento de agua turbia en comunidades rurales altoandinas. *Revista de Ciencia y Tecnología Ambiental*, 22(3), 98–107.
- Kansal, A., & Kumari, A. (2014). Potential of agricultural waste material for turbidity removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1490–1498. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.06.012>
- Mendoza, M., Quinteros, C., & Salas, D. (2019). Efectividad del almidón de papa en la remoción de turbidez del agua: Influencia de pH y temperatura. *Revista Andina de Ciencias Ambientales*, 7(2), 80–88.
- Metcalf, L., & Eddy, H. (2014). *Tratamiento de aguas residuales: Principios y diseño* (5ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- MINSA (Ministerio de Salud). (2021). *Informe técnico sobre la calidad sanitaria del agua del río Coata*. Dirección General de Salud Ambiental y Inocuidad Alimentaria (DIGESA).
- Moussas, P. A., & Zouboulis, A. I. (2009). A new inorganic–organic composite coagulant: Characterization and application for the treatment of real textile wastewater. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 342(1–3), 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.03.019>

- Ndabigengesere, A., & Narasiah, K. S. (1996). Use of *Moringa oleifera* seeds as a primary coagulant in wastewater treatment. *Environmental Technology*, 17(8), 879–884. <https://doi.org/10.1080/09593331708616378>
- Ndabigengesere, A., & Narasiah, K. S. (1998). Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*, 32(3), 781–791. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00295-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00295-9)
- Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., & Okada, M. (2001). Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *Water Research*, 35(2), 405–410. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00276-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00276-9)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Guías para la calidad del agua potable* (4ª ed., incorporación del primer apéndice). OMS.
- Quispe, L., & Valdivia, M. (2021). Uso del almidón de papa como coagulante natural para la remoción de turbidez en agua superficial. *Revista de Investigación Científica UNAP*, 7(1), 22–29.
- Rodríguez, C., Zambrano, F., & Gómez, A. (2015). Evaluación del almidón como coagulante en el tratamiento de agua. *Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sostenible*, 2(3), 17–25.
- Rodríguez, J., & Ramírez, D. (2018). Comparación entre coagulantes naturales y químicos en el tratamiento de agua superficial. *Revista Colombiana de Ciencias Ambientales*, 9(1), 55–64.
- Santos, C. A., Silva, J. F., & Almeida, T. C. (2015). Potencial del almidón de papa como coagulante natural para la clarificación de agua turbia. *Ingeniería del Agua*, 22(4), 265–273.

13. Anexos.



