

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y
FORESTAL



TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE AGUAS SUPERFICIALES
CONTAMINADAS POR EL BOTADERO LLOCLLAMAYO MEDIANTE
COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN CON ALMIDÓN DE
YUCA, PUNO - 2024

Erika Quispe Condori

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia



Juliaca - 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL



TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE AGUAS SUPERFICIALES
CONTAMINADAS POR EL BOTADERO LLOCLLAMAYO MEDIANTE
COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN CON ALMIDÓN DE
YUCA, PUNO - 2024

Erika Quispe Condori

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia



Juliaca - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL



TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE AGUAS SUPERFICIALES
CONTAMINADAS POR EL BOTADERO LLOCLLAMAYO MEDIANTE
COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN CON ALMIDÓN DE YUCA, PUNO –
2024

Erika Quispe Condori

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
FORESTAL

Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia

Juliaca, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Quispe, E. (2025). *Tratamiento fisicoquímico de aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo mediante coagulación y floculación con almidón de yuca, Puno-2024*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Erika Quispe Condori

Título: Tratamiento fisicoquímico de aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo mediante coagulación y floculación con almidón de yuca, Puno-2024.

Publicación: Juliaca, 2025

Descripción: Cantidad de páginas (83 páginas)

Nota: Tesis - Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca

Código: 01-000065-01/Q77

Nota: Incluye bibliografía

Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia

Palabras clave: almidón de yuca, calidad de agua, turbidez, sólidos suspendidos.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL
“TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE AGUAS SUPERFICIALES
CONTAMINADAS POR EL BOTADERO LLOCLLAMAYO MEDIANTE
COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN CON ALMIDÓN DE YUCA, PUNO –
2024”
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
FORESTAL

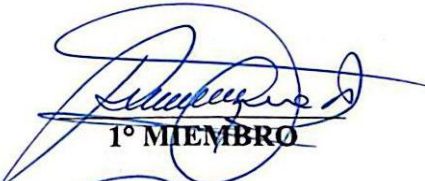
Presentada por:

Bach. Erika Quispe Condori

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

PRESIDENTE DE JURADO



1° MIEMBRO

M.Sc. Jael Calla Calla

JURADO (secretario)



2° MIEMBRO

M.Sc. Ebed David Paredes Rodríguez

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



Dr. José Luis Pineda Tapia
ASESOR DE TESIS

Erika Quispe Condori

TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE AGUAS SUPERFICIALES CONTAMINADAS POR EL BOTADERO LLOCLLAMAYO MEDIAN...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:old::3117:539902244

Fecha de entrega

12 dic 2025, 10:52 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

12 dic 2025, 10:54 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE AGUAS SUPERFICIALES CONTAMINADAS POR EL BOTADERO LL....pdf

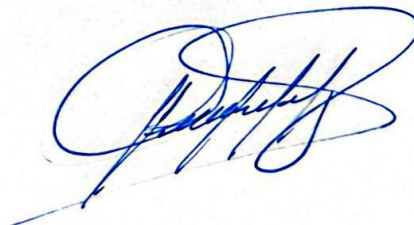
Tamaño del archivo

5.0 MB

83 páginas

14.310 palabras

86.661 caracteres



9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

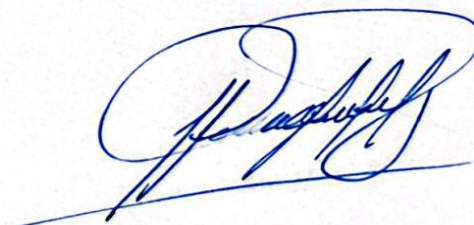
Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
1012 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



DEDICATORIA

A mis padres Hugo Quispe Gonza y Noemí Condori Casazola, por el amor incondicional, tiempo y paciencia en cada etapa de mi recorrido y a mis hermanos Yomaida y Jheferson, por ser mis mayores fuentes de motivación e inspiración.

Erika Quispe Condori

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida, fortaleza y guía, en cada recorrido de mi vida.

A mi familia por brindarme su apoyo, motivación, fuerza para superar cada desafío, y mi felicidad en los momentos de celebración. Agradezco por confiar en mí y permitirme realizarme como profesional.

Al Dr. José Luis Pineda Tapia por el tiempo y soporte durante el asesoramiento en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Erika Quispe Condori

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN.....	14

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática.....	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.2.1. Problema general	17
1.2.2. Problemas específicos.....	17
1.3. Objetivos de la investigación.....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos	18
1.4. Justificación	18
1.4.1. Justificación social.....	18

1.4.2. Justificación ambiental	18
1.4.3. Justificación técnica	19
1.4.4. Justificación económica	19

CAPITULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de investigación	20
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes nacionales	22
2.1.3. Antecedentes locales	25
2.2. Bases teóricas.....	26
2.2.1. La calidad del agua.....	26
2.2.2. Coagulación.....	31
2.2.3. Coagulantes comerciales.....	31
2.2.4. Coagulantes naturales	32
2.2.5. Floculación	33
2.2.6. Almidón de yuca	34
2.2.7. Contaminación del agua.....	36

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio.....	37
3.2. Tipo y nivel de investigación.....	38
3.2.1. Tipo de investigación.....	38
3.2.2. Nivel de investigación	38

3.2.3. Diseño de investigación	39
3.3. Población de estudio	39
3.4. Tamaño de muestra.....	39
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección.....	39
3.5.1. Técnicas.....	39
3.5.2. Instrumentos	40
3.6. Materiales y reactivos.....	41
3.6.1. Materiales.....	41
3.6.2. Reactivos.....	41
3.7. Metodología por objetivos.....	41
3.7.1. Evaluar los parámetros fisicoquímicos de las aguas superficiales del río San Gabán cercanas al botadero Llocllamayo.	41
3.7.2. Identificar la dosis óptima de almidón de yuca necesaria para el tratamiento eficaz de los parámetros fisicoquímicos en las aguas superficiales del río San Gabán.....	43
3.7.3. Cuantificar los porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial tras el tratamiento con almidón de yuca.....	44

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos pH, SST y turbiedad de las aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo.....	47
4.2. Determinación de la dosis óptima de almidón de yuca.....	48

4.3. Cuantificación de los porcentajes de remoción de los parámetros físicoquímicos de pH, turbiedad, SST, tras el tratamiento con almidón de yuca.....	49
---	----

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	54
5.2. Recomendaciones	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXOS.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua superficial categoría I, subcategoría A</i>	27
Tabla 2 <i>Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua superficial categoría I, subcategoría B</i>	28
Tabla 3 <i>Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua superficial categoría 2</i>	29
Tabla 4 <i>Coordenadas de los puntos de muestreo</i>	39
Tabla 5 <i>Fichas de recolección de datos</i>	40
Tabla 6 <i>Diseño experimental del estudio</i>	45
Tabla 7 <i>Parámetros iniciales de las aguas superficiales</i>	47
Tabla 8 <i>Tratamientos con el coagulante natural de almidón de yuca</i>	48
Tabla 9 <i>Porcentajes de remoción obtenidos en el tratamiento con almidón de yuca</i>	49
Tabla 10 <i>Valores óptimos tras el tratamiento</i>	50
Tabla 11 <i>Prueba de homogeneidad de varianza para los parámetros de turbidez, pH y SST</i>	51
Tabla 12 <i>Prueba de ANOVA para los parámetros de turbidez, pH y SST</i>	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Beneficios de los coagulantes naturales</i>	34
Figura 2 <i>Delimitación geográfica del distrito San Gabán</i>	37
Figura 3 <i>Mapa simplificado del ámbito de estudio</i>	38
Figura 4 <i>% de remoción de pH – Tratamiento 1 (0.5 ml)</i>	50
Figura 5 <i>% de remoción de turbidez – Tratamiento 1 (0.5 ml)</i>	67
Figura 6 <i>% de remoción de SST – Tratamiento 1 (0.5 ml)</i>	68
Figura 7 <i>% de remoción de pH – Tratamiento 2 (1 ml)</i>	68
Figura 8 <i>% de remoción de turbidez – Tratamiento 2 (1 ml)</i>	69
Figura 9 <i>% de remoción de SST – Tratamiento 2 (1 ml)</i>	69
Figura 10 <i>% de remoción de pH – Tratamiento 3 (1.5 ml)</i>	70
Figura 11 <i>% de remoción de turbidez – Tratamiento 3 (1.5 ml)</i>	70
Figura 12 <i>% de remoción de SST – Tratamiento 3 (1.5 ml)</i>	71
Figura 13 <i>Punto de muestreo 1</i>	72
Figura 14 <i>Punto de muestreo 2</i>	72
Figura 15 <i>Punto de muestreo 3</i>	73
Figura 16 <i>Análisis con el equipo multiparámetros</i>	73
Figura 17 <i>Análisis con el turbidímetro</i>	74
Figura 18 <i>Proceso de filtración de los sólidos suspendidos</i>	74
Figura 19 <i>Secado del papel filtro</i>	75
Figura 20 <i>Peso del papel filtro con las partículas</i>	75
Figura 21 <i>Yuca (Manihot esculenta)</i>	76

Figura 22 <i>Proceso de filtración</i>	76
Figura 23 <i>Toma de datos con el multiparámetro</i>	77
Figura 24 <i>Prueba de jarras</i>	77
Figura 25 <i>Proceso de floculación y sedimentación</i>	78
Figura 26 <i>Medición de los parámetros luego del tratamiento</i>	78
Figura 27 <i>Medición de los parámetros luego del tratamiento</i>	79
Figura 28 <i>Proceso de secado del papel filtro luego de analizar las muestras tratadas</i>	79
Figura 29 <i>Proceso de secado del papel filtro luego de analizar las muestras tratadas</i>	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	62
Anexo II. <i>Fichas de recolección de datos</i>	63
Anexo III. <i>Porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos.</i>	67
Anexo IV. <i>Panel fotográfico</i>	72

LISTA DE ABREVIATURAS

pH	: Potencial de Hidrógeno
SST	: Sólidos Suspendidos Totales
NTU	: Unidades Nefelométricas de Turbidez
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global
UTM	: Universal Transverse Mercator
VPi	: Valor parámetro inicial
VPf	: Valor parámetro final

RESUMEN

Los coagulantes naturales representan una alternativa sostenible para tratar aguas contaminadas. El presente estudio evaluó el tratamiento fisicoquímico de aguas del río San Gabán, afectadas por el botadero de Llocllamayo, siguiendo el protocolo de la Autoridad Nacional del Agua, mediante coagulación y floculación utilizando almidón de yuca (*Manihot esculenta*), aplicándose un diseño experimental con enfoque cuantitativo, dónde se recolectaron 30 litros de agua en tres puntos estratégicos del río. El almidón se obtuvo mediante extracción, secado y acondicionamiento de raíces de yuca. Las dosis evaluadas fueron 0.5 ml, 1 ml y 1.5 ml en la prueba de jarras, con agitación rápida a 150 rpm (1 min) y lenta a 40 rpm (15 min), seguido de 30 minutos de sedimentación. Se midieron pH, turbidez y sólidos suspendidos totales antes y después del tratamiento. Los resultados evidenciaron una reducción significativa de la turbidez, alcanzando un mínimo de 11.67 NTU, así como la corrección del pH hasta 7.24. Estadísticamente el análisis ANOVA muestra resultados con diferencias significativas para turbidez ($p = 0.00001257$), pH ($p = 0.000$) y sin diferencias para sólidos, aunque la mayor remoción fue del 90%, dónde se determina óptima, el uso del almidón de yuca para mejorar la calidad del agua superficial, siendo 1.5 ml la dosis óptima para la neutralización de pH reducción de sólidos y turbidez, Finalmente, los resultados obtenidos interesarán como instrumento base para posteriores estudios relacionados al tema, además permitirán información básica de las condiciones ambientales de la zona.

Palabras clave: almidón de yuca, calidad de agua, turbidez, sólidos suspendidos.

ABSTRACT

Natural coagulants represent a sustainable alternative for treating contaminated water. This study evaluated the physicochemical treatment of water from the San Gabán River, affected by the Llocllamayo landfill, following the protocol of the National Water Authority, through coagulation and flocculation using cassava starch (*Manihot esculenta*), applying an experimental design with a quantitative approach, where 30 liters of water were collected at three strategic points along the river. The starch was obtained by extracting, drying, and conditioning cassava roots. The doses evaluated were 0.5 ml, 1 ml, and 1.5 ml in the jar test, with rapid agitation at 150 rpm (1 min) and slow agitation at 40 rpm (15 min), followed by 30 minutes of sedimentation. pH, turbidity, and total suspended solids were measured before and after treatment. The results showed a significant reduction in turbidity, reaching a minimum of 11.67 NTU, as well as pH correction to 7.24. Statistically, the ANOVA analysis shows results with significant differences for turbidity ($p = 0.00001257$), pH ($p = 0.000$) and no differences for solids, although the greatest removal was 90%, which is determined to be optimal, the use of cassava starch to improve surface water quality, with 1.5 ml being the optimal dose for pH neutralization, reduction of solids, and turbidity. Finally, the results obtained will be of interest as a basis for further studies related to the topic and will also provide basic information on the environmental conditions of the area.

Keywords: cassava starch, water quality, turbidity, suspended solids.

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un elemento vital en la existencia humana y para que se puedan realizar actividades de agricultura, ganadería y la minería. No obstante, en las últimas décadas, la calidad de aguas superficiales ha sufrido un notable deterioro debido al crecimiento urbano desordenado, el aumento de personas y la escasa gestión de residuos. Esta situación ha despertado una preocupación creciente respecto a la contaminación de ecosistemas acuáticos como ríos, lagos y quebradas, que son constantemente receptores de vertimientos de origen doméstico, industrial y orgánico (Nolasco, 2020). Tal deterioro hídrico compromete tanto la salud como el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad.

Entre los principales agentes contaminantes de las aguas superficiales se encuentran las partículas en suspensión, las cuales alteran características fundamentales del agua como la turbidez y el color, además de actuar como vectores de microorganismos patógenos o compuestos tóxicos (Charapaqui, 2019). Aunque algunas regiones, como Europa, han implementado tecnologías modernas y marcos normativos eficaces para tratar las aguas residuales, muchas zonas de América Latina aún enfrentan deficiencias significativas en infraestructura, lo que incrementa los riesgos ambientales y sanitarios (Balzan et al., 2020).

En el contexto peruano, pese a contar con abundantes fuentes de agua superficial, muchas de estas se ven amenazadas por su uso inapropiado como receptores de residuos. Un caso representativo se localiza en el distrito de San Gabán, región Puno, el botadero informal Llocllamayo ha provocado una fuerte contaminación de las aguas superficiales del río. Informes técnicos han evidenciado el vertimiento directo de residuos sólidos, lixiviados y aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento previo, lo cual agrava la contaminación y pone en riesgo la salud de las poblaciones cercanas (Gómez, 2018). Según el Programa Municipal de Educación Ambiental, cada habitante genera aproximadamente 0.40 kilogramos por habitante al día de residuos sólidos, una gran parte de los cuales termina ingresando al río por escorrentía superficial o infiltración.

Frente a este panorama, se vuelve imprescindible implementar soluciones sostenibles que permitan tratar aguas contaminadas de manera eficiente, económica y respetuosa con el ambiente. Para tratar la turbidez en el agua se aplica la coagulación y floculación, de los cuales se utilizan coagulantes químicos y naturales. En este sentido, el almidón de yuca como un coagulante natural ha

demostrado un alto potencial en la mejora de parámetros fisicoquímicos del agua, como la turbidez, el pH y la conglomeración de sólidos suspendidos (Vargas, 2021). Esta alternativa, además de ser accesible y económica, es especialmente útil en comunidades rurales donde la participación social puede ser clave para la conservación ambiental y la mejora de la salud pública.

Bajo esta premisa, se plantea analizar el tratamiento fisicoquímico aplicado a aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo, mediante el proceso de coagulación y floculación con almidón de yuca, en San Gabán. Para cumplir con dicho propósito, se formularon los siguientes objetivos específicos: (i) caracterizar los parámetros fisicoquímicos del agua superficial recolectada en las inmediaciones del botadero, (ii) identificar la dosis más adecuada de almidón de yuca para el tratamiento propuesto, y (iii) calcular los porcentajes de remoción alcanzados, a fin de evaluar la efectividad del proceso.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

El agua es indispensable en la existencia humana y cumple un rol fundamental en distintas actividades productivas. No obstante, estos los últimos años, el acceso a agua limpia y segura se ha visto comprometido por los altos niveles de contaminación en los cuerpos hídricos, situación provocada principalmente por el crecimiento urbano acelerado y el aumento poblacional. Diversas fuentes hídricas, ríos, lagos y mares, están siendo afectadas por el vertimiento de residuos orgánicos y sustancias químicas de procedencia industrial (Nolasco, 2020). Esta situación no solo es un riesgo latente en la salud, sino que también deteriora seriamente el ecosistema acuático, amenazando su biodiversidad y los recursos que de ellos dependen.

Dado que el agua dulce es un recurso limitado, resulta prioritario desarrollar soluciones eficaces que aseguren su disponibilidad. Esto implica adoptar enfoques sostenibles para la gestión y purificación de efluentes, a fin de asegurar la salud pública y conservar los ecosistemas.

Uno de los contaminantes más relevantes en las aguas superficiales son las partículas suspendidas, las cuales alteran indicadores claves como la turbidez y el color, además de facilitar el transporte de microorganismos y compuestos nocivos para la salud (Charapaqui, 2019). La ausencia de infraestructura suficiente para tratar aguas superficiales ha favorecido la propagación de enfermedades, problemática que afecta de manera más crítica a países de América Latina. En contraste, muchas naciones europeas han logrado tratar la totalidad de sus aguas residuales gracias al uso de tecnologías avanzadas y normativas ambientales estrictas, lo que ha permitido mantener una buena calidad de sus cuerpos de agua (Balzan et al., 2020). Investigaciones en microcuencas, como la de Severino en Ecuador, evidencian que la contaminación hídrica incrementa significativamente los riesgos sanitarios (Lucas y Carreño, 2018) y en el caso peruano, aunque se cuenta con una importante disponibilidad de agua superficial, la calidad de estas fuentes se ha visto comprometida por las acciones humanas, registrándose situaciones críticas en varias zonas del país (Gómez, 2018). Esto pasa en el río San Gabán, que constituye una fuente esencial para el sustento de las comunidades de la zona, ya que provee agua para consumo humano, actividades agrícolas y económicas. Sin embargo, el vertido directo de efluentes sin tratamiento desde centros poblados

cercanos ha causado un potente impacto negativo en la calidad. El arrojo de residuos en balnearios, el vertimiento de aguas residuales y los residuos provenientes del lavado doméstico han convertido el río en una fuente de infecciones. Según datos del Programa Municipal de Educación, Cultura y Ciudadanía Ambiental de San Gabán (2019–2022), se genera un promedio de 0.40 kg de residuos sólidos por habitante al día, los cuales son eliminados de forma inadecuada, constituyéndose así la presencia del botadero a orillas del río, que permite la escorrentía e infiltración de lixiviados, que terminan contaminando las aguas del río (MINAM, 2022). Esta situación demuestra la urgencia de establecer estrategias eficaces tanto para la gestión como para el tratamiento.

Frente a esta problemática compleja, surge como alternativa el uso de tecnologías ecológicas y accesibles, como los coagulantes de origen vegetal, destacando el almidón de yuca, que ha demostrado capacidad para optimizar la calidad del agua del río San Gabán (Vargas, 2021). Este método, además de ser ambientalmente responsable y técnicamente viable, permite que las comunidades participen en la administración y cuidado de sus recursos hídricos. La participación de la ciudadanía no solo refuerza el compromiso ambiental, sino que también contribuye a la adopción de prácticas sostenibles para el uso del agua. De este modo, se favorece la salud y se protege el equilibrio de los ecosistemas, promoviendo un desarrollo más armónico y consciente.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el resultado del tratamiento fisicoquímico mediante coagulación-floculación con almidón de yuca en las aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo, Puno – 2024?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos pH, SST y turbiedad de las aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo?

¿Cuál es la dosis óptima para tratar los parámetros fisicoquímicos pH, SST y turbiedad de las aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo?

¿Cuáles son los porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos pH, SST y turbiedad en las aguas superficiales contaminadas, tras el tratamiento con almidón de yuca?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar el tratamiento fisicoquímico, para pH, SST y turbiedad, mediante coagulación y floculación con almidón de yuca en las aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo, Puno – 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar los parámetros fisicoquímicos pH, SST y turbiedad de las aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo en el río San Gabán.

Determinar la dosis óptima para tratar eficazmente los parámetros fisicoquímicos pH, turbiedad, SST de las aguas superficiales contaminadas en el río San Gabán.

Cuantificar los porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos de pH, turbiedad, SST en aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo tras el tratamiento con almidón de yuca.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación social

Esta investigación es importante para la salud de quienes utilizan las aguas del río San Gabán como fuente indispensable para sus necesidades básicas. Analizar la calidad del agua en esta cuenca permitirá alcanzar un diagnóstico preciso de su situación actual, lo cual es fundamental para plantear acciones que contribuyan a reducir sus efectos negativos y sobre las actividades fructíferas que, actualmente, están involucradas en su deterioro ambiental. El empleo del proceso de coagulación y floculación con insumos naturales muestra como una solución accesible y eficaz en estas circunstancias (Choquehuanca, 2022).

1.4.2. Justificación ambiental

Aplicar métodos sostenibles en el tratamiento de aguas superficiales ofrece una contribución positiva al medio ambiente. En este sentido, el almidón de yuca se perfila

como una alternativa ecológica relevante, ya que disminuye la sujeción de coagulantes sintéticos, los cuales pueden generar efectos colaterales como la alteración del equilibrio del pH del agua, costos operativos y residuos tóxicos que afectan los ecosistemas. Además, el proceso de floculación, al favorecer la agregación y conglomerado de partículas contaminantes, mejora la eficiencia del tratamiento sin generar subproductos nocivos (Barreto et al., 2020).

1.4.3. Justificación técnica

En lo que respecta, esta investigación aporta significativamente al desarrollo de soluciones prácticas, pues se orienta a establecer un procedimiento para producir coagulantes naturales a partir del almidón de yuca. Asimismo, se busca determinar las cantidades más eficientes del coagulante y analizar su capacidad para remover contaminantes fisicoquímicos mediante coagulación y floculación, aportando con ello criterios técnicos útiles para mejorar el tratamiento de aguas contaminadas (Ramirez et al., 2020)

1.4.4. Justificación económica

El empleo del coagulante natural derivado del almidón de yuca representa una solución rentable y ambientalmente sostenible porque, su aplicación permite un aprovechamiento total, ya que los residuos que se generan son considerados residuos orgánicos y se disponen para la fabricación de varios tipos de abonos, por ende la optimización de costos y disminución de su impacto negativo hacia el medio ambiente, así como en las facilidades para la obtención de la materia prima, siendo este cultivo de la zona. Lo que impactaría positivamente en el entorno al tiempo que generaría oportunidades económicas y laborales para la población local (Huamani y Chahuasoncco, 2022). Además de optimizar su eficacia mediante el uso combinado de coagulación y floculación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Mercado et al. (2024), desarrollaron una investigación centrada en evaluar la capacidad clarificante del agua mediante coagulantes naturales, específicamente almidón de yuca y semillas de moringa. El procedimiento consistió en combinar estos coagulantes en diferentes proporciones, midiendo la turbidez y el pH. Para su prueba, se aplicó una agitación rápida 120 RPM durante 1 minuto, seguida de una agitación lenta de 30 RPM durante 20 minutos, dejando luego la mezcla en reposo por 15 minutos. Entre todas las combinaciones, la más eficiente fue la de moringa y almidón de yuca con una proporción de 60:40, la cual logró reducir la turbidez en un 80.4%, alcanzando un valor final de 4 UNT.

Donado y Leones (2023), evaluaron el alcance del coagulante de almidón de yuca en la depuración del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico, comparándolo con el sulfato de aluminio mediante ensayos de prueba de jarras. Para ello, prepararon soluciones al 1% y aplicaron dosis de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L, utilizando una agitación rápida de 120 rpm durante y una lenta de 30 rpm por 20 minutos y un periodo de conglomeración de 15 minutos. Se obtuvo que 20 mg/L de sulfato de aluminio redujeron la turbidez de 39,1 a 1,80 UNT, mientras que 10 mg/L de almidón de yuca lograron disminuirla a 11,3 UNT. En conclusión, se obtuvo que el almidón de yuca constituye una alternativa viable y natural en sustituir el uso de coagulantes químicos.

Martínez y Huérfino (2022), realizaron su estudio con el objetivo de verificar el cumplimiento de los compromisos establecidos en los CONPES 3624 de 2009 y 3710 de 2011, así como la caracterización de los efectos ambientales y sociales generados en las actividades del proyecto de tratamiento de lixiviados, cierre y clausura del basurero de Navarro. Se usó un diseño no experimental, basada en la revisión documental, la construcción de una línea base a través de encuestas y entrevistas, y la aplicación de guías metodológicas DSEPP-DNP de SINERGIA para evaluar el funcionamiento del sistema.

Los resultados evidenciaron que el sistema de tratamiento de lixiviados, puesto en preoperación en junio de 2014, ha permitido reincorporar agua tratada al sistema, contribuyendo a disminuir la contaminación de la cuenca alta del río Cauca, aunque con limitaciones debido a que la planta opera solo algunos meses al año, lo que afecta su eficiencia técnica. Se concluyó que se requiere garantizar la continuidad del tratamiento para enfrentar el incremento de lixiviados, especialmente en temporadas de intensas lluvias.

Kumar et al. (2021), realizaron un estudio en el que aplicaron un diseño experimental que contempla evaluar el potencial del almidón de yuca frente a los coagulantes químicos, como el alumbre. Los resultados reflejaron que el alumbre consiguió una reducción de 83.44% en turbidez, 76.83% en SST y 32.87% en DQO. Por su parte, el almidón de yuca alcanzó una remoción del 60.19% en turbidez, 57.79% en SST y 30.19% en DQO. Además, se destacó que esta alternativa natural presentó una tasa de retorno del 34.49%, reforzando su viabilidad económica.

Padilla et al. (2020), compararon el rendimiento coagulante del almidón de yuca con el sulfato de aluminio. Tomaron como muestra el agua de la ciénaga grande y aplicaron la prueba de jarras tras un muestreo simple inicial. Usando una proporción de 2:8 entre ambos coagulantes y una dosis de 60 mg/L, observaron su reducción de turbiedad del 71.06%. Cuando se utilizó solamente el sulfato de aluminio, la reducción fue del 70%, evidenciando así el buen desempeño del coagulante natural.

Villabona et al. (2020), buscaron mitigar la turbidez del agua utilizando el coagulante natural echa por el almidón de yuca extraído directamente de sus raíces, en el que se analizaron parámetros como turbidez, color y pH, con una dosis de 250 mg/L y una agitación a 40 RPM, se logró remover más del 70% de la turbidez. Además, el almidón no afectó ni el color ni el pH del agua, lo cual refuerza su valor como coagulante natural respetuoso del equilibrio fisicoquímico.

Abd et al. (2019), desarrollaron un experimento para tratar aguas contaminadas utilizando almidón de yuca como coagulante natural. Inicialmente caracterizaron la recolección de agua, seguido aplicaron el jar test para evaluar los cambios en turbidez, SST y DQO. En

condiciones de pH 9 y con un tiempo de sedimentación de 60 minutos, lograron una remoción del 90.32% en turbidez, 89.86% en SST y 18.87% en DQO. Estos resultados demostraron el alto potencial del coagulante natural como una alternativa sustentable al tratamiento químico.

Ortiz et al. (2018), evaluaron el uso de un polímero natural extraído de almidón de yuca para eliminación de contaminantes en el agua. Los cuales, analizaron 54 muestras para definir la dosis óptima y 162 para realizar las mezclas. Al aplicar 250 mg/L del coagulante químico junto con 750 mg/L de almidón de yuca, se obtuvo una disminución del 75% en turbidez y 78% en color. Este estudio evidencia que los coagulantes naturales pueden disminuir de forma significativa la dependencia de productos químicos, impulsando el uso de tecnologías más sostenibles.

Masmela y Aguilar (2017), se enfocaron en determinar la efectividad de un coagulante natural elaborado con almidón de yuca y plátano. El estudio evaluó parámetros como el color, turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y pH mediante pruebas de jarras. Se identificó que la dosis más efectiva para el almidón fue de 20 ml a 252 ppm, logrando su efectividad al 38.1%. Sin embargo, al compararse con los coagulantes químicos, estos últimos demostraron un rendimiento superior.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Morocco (2025), desarrolló su estudio con el objetivo de evaluar los niveles de contaminación en el suelo y el agua ocasionados por lixiviados del botadero de Conchatanca, identificando metales pesados y otros contaminantes químicos generándose un impacto ambiental. Se usó el diseño no experimental, tipo descriptivo, determinando parámetros fisicoquímicos en recolección de agua y suelo. Estos resultados revelaron concentraciones elevadas de cadmio en el suelo (1.57 mg/kg) que superan el límite permitido para suelos agrícolas (1.40 mg/kg), así como altos niveles de cadmio (1.05 mg/L), cromo total (0.35 mg/L), DBO (37.15 mg/L) y DQO (47.85 mg/L) en el agua, excediendo ampliamente los valores establecidos por las normativas. Además, se reportó una alta conductividad eléctrica (1566.67 μ S/cm) y un pH alcalino en algunas, lo que confirma una degradación en la calidad de los cuerpos hídricos superficiales y subterráneos

cercanos al botadero. Se concluyó que los lixiviados han generado una contaminación considerable de los recursos hídricos y edáficos, con especial énfasis en la presencia de metales pesados como cadmio y cromo VI.

Cerna et al. (2024), realiza su estudio con el propósito de evaluar la suficiencia del floculante de almidones extraídos de tres especies de papa (blanca, amarilla y pituca) para reducir la turbidez en aguas superficiales. El procedimiento consistió en triturar los tubérculos en una proporción específica de agua, dejar sedimentar y secar el producto a 45 °C durante 24 horas. Luego, los almidones se disolvieron en agua caliente y se aplicaron en el tratamiento del agua. Los resultados fueron alentadores, pues las tres variedades lograron una eficiencia de mitigación superior al 95% en la turbidez. Sin embargo, también se identificó un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno debido a una carga orgánica adicional y a la generación de lodos, por lo que se concluyó que una dosis mayor a 0.3 ml no mejora el tratamiento.

Ticona et al. (2024), evaluaron la eficacia del almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y del polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*), para la mitigación de la turbidez del agua del río Caplina en Tacna, Perú. La investigación se desarrolló con un diseño con tres tratamientos y tres repeticiones, aplicando distintas dosis de cada coagulante (0.2, 0.4 y 0.6 g/100 mL para almidón de yuca; y 0.35, 0.40 y 0.45 g/100 mL para moringa), sobre muestras con una turbidez inicial de 168,80 UNT. Demostrándose que ambas sustancias obtuvieron una reducción significativa del parámetro, siendo más eficiente la dosis de 0.45 g/100 mL de moringa. Se concluyó que ambos coagulantes representan alternativas sostenibles y eficaces.

García y Roque (2024), evaluaron la eficiencia del almidón de (*Manihot esculenta*) yuca en la mitigación de turbidez en aguas superficiales del río Sucse, considerando también variables como pH y temperatura. Para ello, recolectaron tres muestras de 5 litros, que fueron mezcladas para formar una muestra testigo, el cual fue sometida con distintas dosis de almidón durante una prueba de jarras, y luego se trasladaron las muestras a conos Imhoff para permitir la sedimentación de sólidos suspendidos antes del análisis final. El tratamiento con (*Manihot esculenta*) logró una remoción del 92,55% de turbidez, además de contribuir a la estabilización del pH, temperatura y conductividad del agua.

Azabache et al. (2022), ejecutaron un estudio con la propuesta de utilizar un agente floculante natural extraída de almidón de yuca para eliminar color y turbidez en agua de una quebrada. Se realizaron nueve ensayos variando la concentración y velocidad de agitación, y se encontró que una solución al 1% logrando una disminución del 48% en color y el 50% en la turbidez, sin alterar el pH del agua. Estos hallazgos sugieren que este clarificante puede funcionar como floculante auxiliar del sulfato de aluminio, evitando alteraciones químicas adicionales.

Ñahui y Acosta (2021), realizaron un estudio, donde se propuso evaluar el efecto de lixiviados provenientes por el exbotadero “El Edén”, ubicado cerca de los ríos Shullcas y Mantaro en la provincia de Huancayo. Se utilizó el diseño no experimental, longitudinal y descriptiva, donde se aplicó un muestreo por conveniencia recolectando muestras 5 veces durante la temporada de estiaje. Analizadas estas, mostraron que, los parámetros de DQO, DBO5 y hierro en los lixiviados superaron significativamente los Límites Máximos Permisibles al 5 % de significancia estadística, indicando una alteración en la calidad del agua superficial. Es así como la descarga de lixiviados afecta de manera significativa el cuerpo de agua adyacente, que conlleva un riesgo de contaminación la cual compromete a la salud ambiental de la zona.

Delgado y Julca (2019), realizaron una investigación enfocada en la mitigación de turbidez en aguas de canal empleando almidón de yuca y sulfato de aluminio. Este estudio se realizó entorno de laboratorio controlado, aplicando la técnica de la prueba de jarras en cuatro ensayos con distintas dosis de ambos coagulantes. Aunque no se identificaron diferencias significativas entre tratamientos, la combinación más efectiva fue 22 ppm de sulfato de aluminio con 8 ppm de almidón de yuca, obteniéndose turbidez del 80.83%.

Pajuelo (2018), investigó la celeridad de sedimentación al aplicar almidón de yuca en la purificación de aguas superficiales. Utilizando la prueba de jarras, observó una disminución de turbidez del 88.70%, sólidos suspendidos totales (SST) en 31% y una remoción de parámetros microbiológicos del 99%, todo esto empleando una concentración de 0.8% y un pH de 7.5. Estos resultados mostraron que el almidón de yuca es eficaz para disminuir la turbidez a menos de 5 UNT, cumpliendo así con lo establecidos por el decreto supremo.

Maldonado (2018), también evaluó el almidón de yuca como clarificante natural para el tratamiento de aguas de quebrada. Se realizaron 36 pruebas con diversas concentraciones y velocidades de agitación. Los resultados fueron consistentes con estudios previos: removiéndose el 48% del color y el 50% de la turbidez sin afectar el pH. Por ello, el autor propone utilizar el almidón de yuca como coadyuvante junto al sulfato de aluminio, mejorando así los resultados del tratamiento.

Rivera (2017), por su parte, investigó la eficiencia de coagulantes naturales elaborados por almidón de yuca y agua de plátano en la disminución de contaminantes presentes en el agua. A partir de 27 litros de agua recolectada de un riachuelo, se aplicaron distintas dosis de estos coagulantes. El almidón disminuyó la turbidez en un 12.36%, Por otra parte, el agua generó una remoción del 27.42%. Aunque estos porcentajes fueron considerados bajos, se reportó una eliminación de *E. coli* cercana al 99%, lo que representa un resultado relevante en términos microbiológicos.

2.1.3. Antecedentes locales

Choquehuanca (2022), desarrolló un estudio en el río San Gabán para tratar sus aguas mediante un coagulante natural extraído de la penca de tuna. Se llevó a cabo el estudio cuantitativo y diseño experimental puro, se basó en 28 muestras del río. Al aplicar el coagulante en dosis de T-10 mg y velocidades de 50 y 100 RPM, se logró reducir la turbidez a 3.115 NTU, cumpliendo con los límites exigidos por el MINAM. El autor concluyó que el uso del coagulante natural puede ser una selección efectiva y viable en el tratamiento de aguas en dicho contexto.

Arias (2021), analizó la eficiencia del tratamiento fisicoquímico aplicado en la estructura de una planta de tratamiento para aguas ubicada en Puno. Se evaluaron parámetros como DBO, DQO, pH y STS, siguiendo los protocolos de la Autoridad Nacional del Agua. El análisis reveló bajas eficiencias: 7.99% para el pH, 2.60% para la DBO₄ y 1.85% para la DQO. Además, se obtuvo un valor negativo (-7.48%) en la remoción de sólidos, lo que evidenció un desempeño deficiente del tratamiento, siendo el pH el único parámetro dentro de los límites permitidos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La calidad del agua

Es el recurso renovable más amplio sobre la superficie terrestre, a pesar de esto, su composición se ve influenciada por el origen y su cauce por lo que encontrarla en estado puro es muy poco común. Uno de los factores más fundamentales que destruyen la composición de las aguas son las descargas de origen industrial, agroindustrial y doméstico que van a parar a los cuerpos hídricos, llenándola de sustancias y materiales en suspensión que alteran la formula molecular del agua pura (Masmela y Aguilar, 2017).

El agua puede ser suministrada a la población a través de las fuentes superficiales o subterráneas. Las superficiales comprenden aquellos cuerpos de agua como manantiales, ríos, lagunas y presas expuestos a la superficie, por lo mismo, su composición puede cambiar debido a las lluvias y las descargas de contaminantes. Las impurezas del agua crean la necesidad de un tratamiento, puesto que los seres humanos solo pueden consumirla pura (Ferrer, 2012).

Para analizarla en contextos de uso humano y recreativo, el Estado peruano ha establecido ciertos valores de referencia que deben cumplirse. Estos valores están definidos en una norma ambiental vigente que establece límites permisibles para distintos parámetros fisicoquímicos. En la Tabla 1 se detallan aquellos que aplican a aguas superficiales destinadas al consumo humano, es decir, aquellas que posteriormente serán tratadas para convertirse en agua potable.

Tabla 1

Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua superficial categoría 1, subcategoría A

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**

Fuente: (MINAM, 2017)

La Tabla 2 presenta los valores de referencia establecidos para distintos parámetros fisicoquímicos en aguas superficiales que se utilizan con fines recreativos, como el baño o contacto directo. Estos estándares están pensados para proteger el bienestar humano que interactúan con cuerpos acuáticos en espacios naturales destinados al esparcimiento.

Tabla 2

Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua superficial categoría 1, subcategoría B.

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**

Fuente: (MINAM, 2017)

Finalmente, la Tabla 3 muestra los valores estándar de los parámetros fisicoquímicos aplicables a cuerpos acuáticos utilizados en actividades como la pesca, acuicultura y otros usos relacionados con ecosistemas marino-costeros y continentales.

Tabla 3

Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua superficial categoría 2.

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3

Fuente: (MINAM, 2017)

Entre los diferentes parámetros fisicoquímicos considerados, esta investigación se enfocará particularmente en tres: el pH, la turbidez y los sólidos en suspensión. Estos serán base para estructurar el diseño metodológico y experimental. Al concluir el tratamiento propuesto, los efectos serán contrastados con los valores establecidos en la Categoría 1, subcategorías A2 y B del marco normativo nacional.

El potencial de hidrógeno representa la concentración de iones hidrógeno presentes en el agua. Este parámetro es crucial, ya que influye directamente en la capacidad del agua para sostener la vida biológica en ecosistemas acuáticos. En cuerpos de agua contaminados, un desequilibrio en el pH puede interferir en los procesos de tratamiento y poner en riesgo a las especies que habitan en ese entorno (Sperling, 2012).

Por otro lado, la turbidez está relacionada con la cantidad de partículas suspendidas que reducen la transparencia del agua. Según el Ministerio del Ambiente, cuanto mayor sea la concentración de estos sólidos, más turbia se verá el agua, en lo que se transforma un

indicador clave para analizar su calidad (MINAM, 2017). Entre los materiales que suelen provocar turbidez se encuentran arcillas, sedimentos minerales, materia orgánica e inorgánica, así como microorganismos. Este parámetro también refleja la dificultad de atravesar la luz a través del agua, debido a la presencia de partículas coloidales o finas, comunes especialmente en aguas superficiales. Su medición permite evaluar de forma indirecta la eficiencia de procesos como la coagulación (Briones, 2018).

La turbiedad es una característica del agua que se manifiesta cuando esta baja su nitidez natural dado que están presentes las pequeñas partículas suspendidas. Estas partículas, que pueden ser restos minerales, sedimentos u otros materiales inorgánicos, interfieren con el paso de la luz, haciéndola más difícil de atravesar. A medida que aumentan en cantidad, el agua se vuelve visiblemente más opaca. Además, estas partículas actúan como superficies de contacto donde se pueden adherir distintas sustancias disueltas, así como microorganismos como bacterias y algas. Esta interacción favorece procesos biológicos y químicos que pueden alterar la calidad del agua, ya que los compuestos que se adhieren a las partículas suspendidas pueden ser aprovechados por organismos microscópicos como alimento o fuente de energía (Daoliang y Shuangyin, 2019).

Las Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) son una unidad para expresar el nivel de turbiedad en un líquido. Este valor se obtiene a partir de la forma en que la luz es dispersada y absorbida por las partículas suspendidas dentro de una muestra de agua contenida en un recipiente con dimensiones estandarizadas. Cuanto mayor es el número de NTU, más turbia es la muestra. Para fines prácticos, se compara el resultado con un patrón de referencia que permite determinar si el agua cumple con ciertos niveles de claridad aceptables (Panamarathupalayam y Manzolelua, 2022).

En general, los tratamientos de agua buscan eliminar los compuestos contaminantes para mejorar su calidad en términos físicos, químicos y microbiológicos. Aunque existen distintos métodos de purificación, su efectividad depende de la fuente y de la técnica utilizada. Por ello, el tratamiento de aguas superficiales provenientes de ríos implica procedimientos más complejos y costosos antes de que puedan ser utilizadas para consumo humano (Idrovo, 2010).

2.2.2. Coagulación

La coagulación es el proceso más importante en el tratamiento del agua, que incluye la remoción de especies en suspensión, desestabilizando las partículas y la formación de flóculos (Endale et al., 2024).

Los coagulantes neutralizan las atracciones opuestas en las moléculas coloidales, lo que da como resultado una masa esponjosa similar a una gelatina conocida como aglomerado (Kakkar et al., 2025).

Es una etapa esencial en el tratamiento, donde se agregan sustancias químicas denominadas coagulantes con el fin de desequilibrar las partículas presentes en suspensión. Estas partículas, al tener cargas similares, tienden a repelerse entre sí y no sedimentan de forma natural. El coagulante neutraliza estas cargas, permitiendo que las partículas comiencen a agruparse (Ferrer, 2012).

Este proceso ocurre en un tiempo muy corto, desde fracciones de segundo hasta un minuto, dependiendo de la calidad y del tipo de coagulante utilizado. Para que la coagulación sea eficiente, se requiere una agitación rápida que asegure la dispersión uniforme del coagulante (Almendarez, 2016).

Además, factores como el pH son determinantes en la eficiencia del proceso. Un pH fuera del rango óptimo puede reducir la formación de flóculos, lo que incrementa la turbidez final del agua tratada (Cardenas y Vargas, 2014).

2.2.3. Coagulantes comerciales

Los coagulantes comerciales más utilizados son de origen químico, y se agrupan principalmente en dos categorías:

- Sales metálicas: Las más comunes son el sulfato de aluminio (alumbre) y cloruro férrico. Son ampliamente empleados debido a su bajo costo y alta efectividad en una amplia gama de condiciones. Sin embargo, pueden generar residuos secundarios y afectar el pH del agua (Zambrano y Liliana, 2014).

- Polímeros sintéticos (polielectrolitos): Estos se utilizan como coadyuvantes de coagulación o floculación. Pueden ser aniónicos, catiónicos o no iónicos, y mejoran la formación y estabilidad de los flóculos (Cardenas y Vargas, 2014).

Si bien son eficientes, su uso excesivo o mal controlado puede generar efectos adversos, además de incrementar los costos de operación.

2.2.4. Coagulantes naturales

Los coagulantes naturales se perfilan como una alternativa, ya que presentan varias ventajas con respecto a los químicos, como su capacidad tampón del pH debido a su alcalinidad, su fácil biodegradabilidad, lo que los hace respetuosos con el medio ambiente, y su eficacia, teniendo en cuenta que con una dosis baja de coagulante aumenta la velocidad de sedimentación y, por lo tanto, disminuye el tiempo necesario para el proceso de coagulación (Alazaiza et al., 2022). Estas se utilizan como alternativa ecológica y económica a los productos químicos tradicionales. En el tratamiento de aguas, han cobrado relevancia por ser biodegradables, de bajo costo y con menor generación de residuos tóxicos (Bedoya, 2013).

Dentro de los más analizados están:

- Semillas de Moringa
- Cáscara de plátano
- Nopal (*Opuntia spp.*)
- Almidones naturales (como el de yuca o papa)

Estos coagulantes actúan gracias a compuestos como proteínas catiónicas, polisacáridos o mucílagos, que neutralizan las partículas suspendidas. La mejora de muchos parámetros en las aguas residuales tratadas es la función principal de los coagulantes-biocoagulantes o coagulantes naturales son ciertamente seguros, amigables con el ambiente y libres de toxicidad (bajo condiciones adecuadas de uso) (Pastrana et al., 2023). Aunque su eficiencia puede ser menor que la de los coagulantes comerciales, en condiciones adecuadas logran reducciones significativas de turbidez y sólidos suspendidos, sin alterar el equilibrio químico del agua (Ramirez et al., 2020).

El uso de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) como coagulante ha demostrado ser una opción prometedora en contextos rurales y zonas con acceso limitado a tecnologías industriales, debido a su disponibilidad, bajo costo y capacidad coagulante natural (Villabona et al., 2020).

2.2.5. Floculación

La etapa posterior y es la formación de flóculos más grandes y pesados. En este proceso las partículas desestabilizadas colisionan mediante una agitación lenta, formando copos de impurezas que posteriormente se eliminan en las siguientes etapas, como la sedimentación y la filtración (Santos et al., 2020). Es decir, la floculación da lugar a un aumento significativo de la masa y la densidad de las partículas coaguladas (Kakkar et al., 2025).

Durante esta fase, las partículas previamente desestabilizadas entran en contacto entre sí y se agrupan, formando agregados que pueden sedimentar con mayor facilidad (Idrovo, 2010).

Este proceso es decisivo y depende del tiempo de agitación, la velocidad de mezcla, el tipo de coagulante y las características fisicoquímicas del agua. Una floculación inadecuada puede generar flóculos débiles que se rompen antes de sedimentar, afectando la eficiencia del tratamiento (Zambrano y Liliana, 2014).

Por otro lado, los coagulantes o floculantes naturales tienen varias ventajas, como se puede ver en la figura 1.

Figura 1

Beneficios de los coagulantes naturales



Fuente: (Kakkar et al., 2025).

2.2.6. Almidón de yuca

Los coagulantes naturales son sustancias que se obtienen de manera espontánea a partir de fuentes vegetales y destacan por su carácter no tóxico. Su funcionamiento es similar al de los coagulantes químicos, ya que favorecen la unión de las partículas suspendidas, facilitando su remoción a través flóculos. Entre los compuestos naturales están almidones, que son macromoléculas ampliamente distribuidas en el reino vegetal. Constituyen la

principal reserva de carbohidratos de muchas plantas y se sacan con relativa facilidad. Estas estructuras están formadas principalmente por la amilosa y la amilopectina, que son polisacáridos con propiedades coagulantes.

El almidón vegetal está presente en múltiples fuentes naturales: en los cereales como el maíz y el trigo, en tubérculos como la papa, en raíces como la yuca, así como en legumbres (por ejemplo, los frijoles) y algunas frutas como la manzana (Campos y Bernardo, 2020)

La yuca, conocida científicamente como (*Manihot esculenta*), es la segunda fuente más importante de almidón a nivel mundial. Este almidón se utiliza en su forma nativa sin modificaciones; sin embargo, para diversas aplicaciones industriales que requieren propiedades específicas, se somete a un procesamiento que mejora su consistencia y estabilidad frente a variaciones de pH y temperatura. La extracción del almidón es relativamente sencilla, y existen métodos tanto artesanales como industriales que siguen una secuencia específica:

- 1) Selección de las raíces.
- 2) Lavado y pelado de las raíces.
- 3) Rallado.
- 4) Filtrado y extracción.
- 5) Sedimentación.
- 6) Deshidratación.
- 7) Secado y acondicionamiento.

La yuca, objeto de estudio en este trabajo, pertenece al reino vegetal y a la división Spermatophyta. Se clasifica en la familia Euphorbiaceae y en la tribu Manihotae, lo que la ubica dentro del género Manihot. Este género es de gran importancia y se encuentra exclusivamente en las Américas, siendo la única especie de relevancia económica cultivada entre las 98 especies identificadas. La yuca es una planta perenne de tipo arbusto, con un tamaño variable y un ciclo de luz corto. Es una planta monoica que presenta un crecimiento simpodial y puede alcanzar alturas de entre 1 y 5 metros, aunque generalmente no supera los 3 metros de altura máxima (Suarez & Mederos, 2011). La cantidad puede variar según la efectividad del proceso de extracción (Masmela y Aguilar, 2017).

2.2.7. Contaminación del agua

En el Perú, la contaminación viene desde hace muchos años. Factores como el crecimiento poblacional ocasionan que los ríos, lagos y mares reciban la basura como si fueran botaderos de todo tipo de residuos, tanto sólidos como aquellos químicos que constituyen los aceites usados (Murrugarra, 2021).

Cuando se habla de contaminación, esta se entiende como una alteración en la calidad provocada por la actividad humana, lo que puede hacerla total o parcialmente inadecuada para ciertos usos. La calidad del agua se define por las características que la componen (ANA, 2019):

- Parámetros físicos, como la temperatura y la transparencia.
- Parámetros químicos, como la presencia de sales y metales.
- Parámetros microbiológicos.

Con base en los niveles que presentan estas características, es posible evaluar la calidad de un cuerpo de agua, permitiendo identificar los usos que puede tener y aquellos que no. Por ejemplo, el agua de una represa puede ser útil para la generación de energía eléctrica o para el riego de cultivos, pero al mismo tiempo podría estar contaminada y no ser apta para el consumo humano (MINAM, 2017).

En cuanto a los cuerpos de agua, las fuentes superficiales son las más expuestas a la contaminación por diversos agentes, sin importar su origen. En el Perú, se estima que cada persona genera aproximadamente 200 litros diarios de aguas residuales. Estas aguas contienen altos niveles de sales disueltas, materia orgánica, sólidos en suspensión y microorganismos, que muchas veces terminan en ríos y mares sin recibir ningún tipo de tratamiento previo. Algunos de los ríos con mayores niveles de contaminación en el país son Santa, Cañete y Mantaro (MINAM, 2016)

Las causas principales de esta situación están relacionadas con actividades como la minería, la industria y la falta de sistemas adecuados de saneamiento en muchas ciudades.

CAPÍTULO III

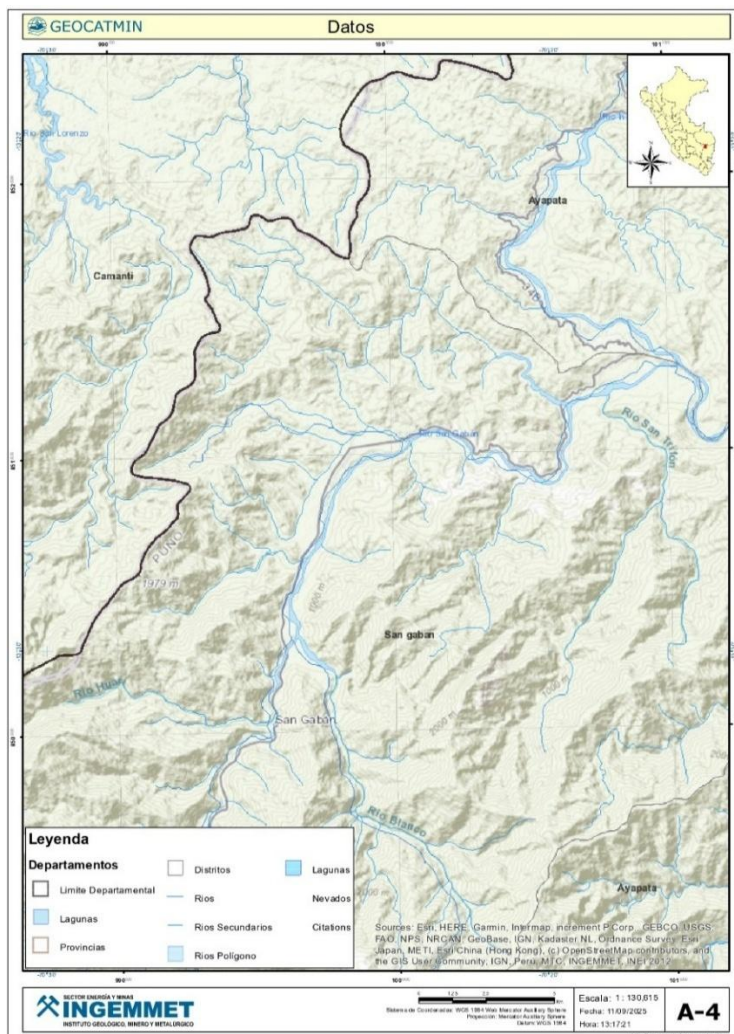
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Ámbito de estudio

La zona donde se llevó a cabo el estudio se encuentra en el sector Llocllamayo, un área de la microcuenca del distrito de San Gabán, en la provincia de Carabaya, departamento de Puno. Situada en las coordenadas 13°26'00" de latitud sur y 70°23'22" de longitud oeste, y abarca una extensión de 2029.22 km².

Figura 2

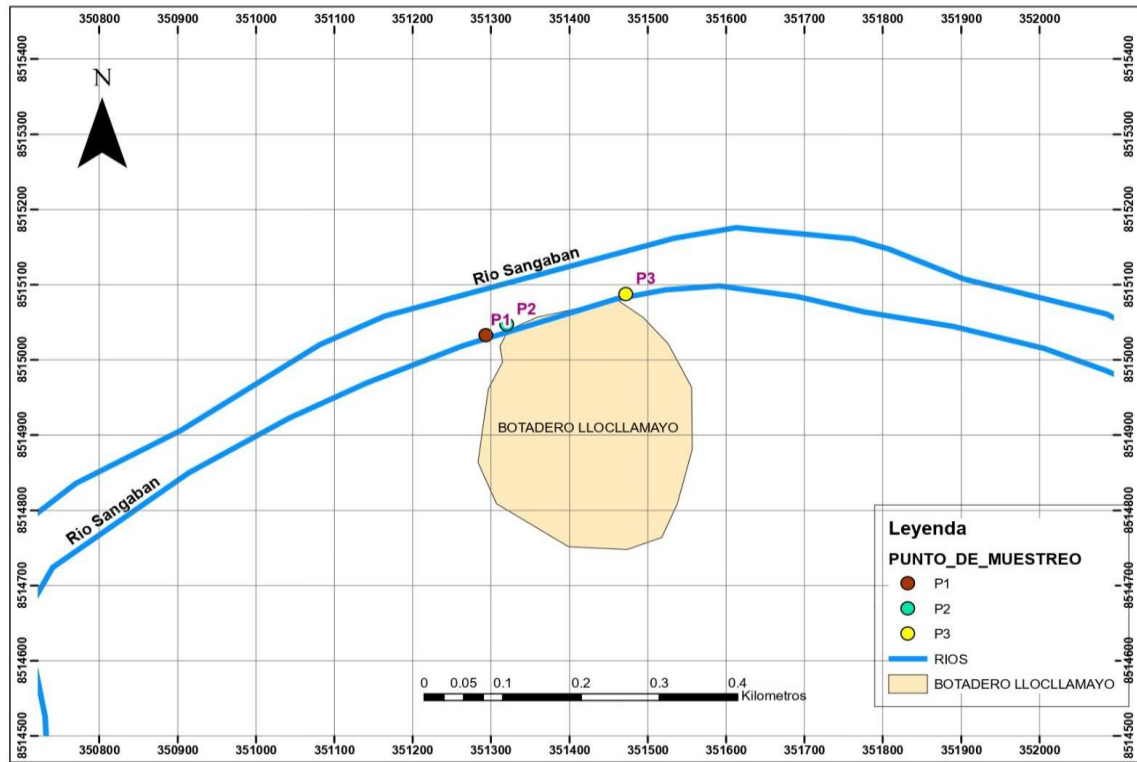
Delimitación geográfica del distrito San Gabán



Fuente (Geocatmin, 2025)

Figura 3

Mapa simplificado del ámbito de estudio



3.2. Tipo y nivel de investigación

3.2.1. Tipo de investigación

El estudio fue de tipo aplicado, se centra en la aplicación de ciencias y técnicas para abordar un problema práctico en el mundo real; en el estudio se busca identificar problemas ambientales específicos y desarrollar recomendaciones prácticas para su mitigación, la investigación no busca proporcionar soluciones tangibles.

3.2.2. Nivel de investigación

El alcance fue correlacional, este busca explicar y determinar porque se dan los fenómenos estudiados, estableciendo una relación entre las variables de investigación.

3.2.3. Diseño de investigación

El diseño fue cuasi experimental, ya que se manipularon las variables de forma deliberada, sin embargo, los grupos ya se encontraron formados, no se asignaron al azar; en este caso, la investigación se basó en el tratamiento a través de un coagulante natural.

3.3. Población de estudio

La población objeto de estudio se centró en las aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo del río San Gabán, ubicada en la región de Puno. Este río tiene un caudal de 12.3 m³/seg, según datos proporcionados por la Central Hidroeléctrica San Gabán II.

3.4. Tamaño de muestra

La muestra se seleccionó usando un método no probabilístico de conveniencia, en el cual se tomarán un total de 30 litros del río San Gabán. Se establecieron tres puntos de muestreo estratégicos, con el objetivo de cubrir las zonas antes, cerca y después del botadero Llocllamayo, para evaluar la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos a lo largo del cauce. En cada uno de los tres puntos, se extrajeron 10 litros de agua, siguiendo el protocolo establecido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016).

Los puntos de muestreo fueron georreferenciados y se ubicaron de la siguiente manera:

Tabla 4

Coordenadas de los puntos de muestreo

PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS
P1	351298 E, 8515038 N
P2	351320 E, 8515047 N
P3	351450 E, 8515117 N

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección

3.5.1. Técnicas

Se utilizó la técnica de la observación estructurada, por su utilidad en el proceso de muestreo y tratamiento de aguas superficiales del río San Gabán. Esta técnica permitió

registrar de manera directa y controlada los parámetros físicoquímicos, tanto antes como después del tratamiento con el coagulante natural a base de almidón de yuca. La aplicación de esta técnica siguió un protocolo específico verificando la validez y reproducibilidad de los datos. En primer lugar, se seleccionaron tres puntos de muestreo estratégicos en el cauce del río, ubicados antes, durante y después de la influencia del botadero Llocllamayo. Estos puntos fueron georreferenciados mediante GPS y su ubicación se registró en coordenadas UTM. En cada punto se recolectaron 10 litros de agua, completando un total de 30 litros, siguiendo el protocolo establecido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), el cual establece criterios de representatividad, seguridad de acceso y condiciones óptimas de recolección.

Durante el proceso de muestreo se observaron y registraron variables ambientales relevantes, como el clima, la hora del día y las condiciones del cauce. Los parámetros básicos fueron medidos in situ utilizando un equipo multiparámetro portátil. Con las muestras, se transportaron en coolers con hielo al laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca, donde se realizaron los tratamientos de coagulación-floculación con almidón de yuca. Finalmente, se repitió la medición de los parámetros físicoquímicos para determinar el porcentaje del tratamiento.

3.5.2. Instrumentos

Se usaron las fichas de recolección de datos, detalladas en el Anexo 2. En la tabla 5 se muestran de forma general.

Tabla 5

Fichas de recolección de datos

FICHA 1	Ficha de recolección – ubicación de los puntos de muestreo
FICHA 2	Ficha de recolección – datos del muestro de las aguas
FICHA 3	Ficha de recolección – características físicoquímicas iniciales de las aguas
FICHA 4	Ficha de recolección – características físicoquímicas finales luego del tratamiento

3.6. Materiales y reactivos

3.6.1. Materiales

- 10 kg de yuca
- 30 L de agua del río
- Cooler
- Equipos de Protección Personal
- Guantes de látex
- Rotulador
- Etiquetas
- Prueba de jarras (Marca: BIOBASE; Proporcionado por el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca)
- Vasos de precipitado 1 Litro
- Medidor Multiparámetro (Marca: Hanna INSTRUMENTS; Modelo: HI98190; Proporcionado por el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca)
- Turbidímetro (Marca: LOVIBOND wáter testing; Proporcionado por el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca)
- Estufa eléctrica (Marca: P-SELECTA; Modelo: F6A; Proporcionado por el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca)
- Balanza analítica (Marca: Oaus; Modelo: PX5; Proporcionado por el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca).

3.6.2. Reactivos

- Ácido clorhídrico
- Agua destilada

3.7. Metodología por objetivos

3.7.1. Evaluar los parámetros fisicoquímicos de las aguas superficiales del río San Gabán cercanas al botadero Llocllamayo.

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua se realizó conforme a la metodología propuesta por (León y Nureña, 2023). Para ello, se seleccionaron tres puntos

estratégicos de muestreo a lo largo del río San Gabán, ubicados en zonas clave que representan la influencia del botadero Llocllamayo, siguiendo los lineamientos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016). Según este protocolo, los puntos deben ubicarse río arriba de la confluencia con afluentes laterales importantes, incluir al menos un punto en el cauce principal del río, considerar zonas situadas aguas abajo de fuentes contaminantes tanto puntuales como difusas, y también después de salidas de embalses o lagunas. Además, los sitios seleccionados deben ser de acceso seguro, evitando terrenos empinados, zonas rocosas o con vegetación densa.

Los puntos de muestreo estuvieron en los siguientes lugares:

Punto 1: 20 metros aguas arriba del botadero Llocllamayo (antes de la contaminación).

Punto 2: En el cauce más cercano al botadero Llocllamayo.

Punto 3: 150 metros aguas abajo del botadero Llocllamayo (posterior a la contaminación).

Estos se establecieron estratégicamente a lo largo del cauce del río para evaluar de forma representativa el efecto del botadero Llocllamayo en la calidad. El Punto 1 se ubicó a 20 metros aguas arriba del botadero, con el objetivo de contar con una muestra de referencia o línea base, representativa del estado del agua antes de la influencia directa de los residuos. Esta distancia fue seleccionada porque se consideró suficiente para evitar interferencias del foco de contaminación, pero lo suficientemente cercana para mantener similitud en las condiciones hidrológicas y ambientales del cauce.

El Punto 2 se localizó en el tramo más cercano al botadero, captando el agua en el lugar donde ocurre el mayor ingreso de lixiviados o residuos al río. Esto permitió registrar el impacto directo e inmediato del botadero sobre la calidad del agua.

Finalmente, el Punto 3 se ubicó 150 metros aguas abajo del botadero, considerando la necesidad de evaluar el comportamiento y dispersión de los contaminantes a lo largo del cauce. Esta distancia fue elegida con base en criterios hidrodinámicos y recomendaciones técnicas de monitoreo ambiental, las cuales sugieren permitir una distancia suficiente para observar los efectos de atenuación, dispersión y posible acumulación de contaminantes a medida que el agua fluye (ANA, 2016).

Las muestras se tomaron siguiendo el protocolo de la ANA, con un volumen total de 10 litros por punto de muestreo. Los puntos fueron georreferenciados con un sistema GPS, y las coordenadas de cada punto se registraron en formato UTM (Universal Transverse Mercator).

Los parámetros fisicoquímicos para evaluar fueron:

- pH
- Turbidez
- Sólidos suspendidos

Para el análisis del pH, se utilizó un equipo multiparámetro, realizando mediciones en un vaso de precipitado. La turbidez se determinó utilizando un turbidímetro, el cual proporcionó el valor en NTU. Los sólidos suspendidos se cuantificaron usando un filtro y una bomba de vacío, seguido de un proceso de secado a 105°C durante 1 hora, para finalmente pesar los sólidos obtenidos (Abd et al., 2019).

3.7.2. Identificar la dosis óptima de almidón de yuca necesaria para el tratamiento eficaz de los parámetros fisicoquímicos en las aguas superficiales del río San Gabán

Para la elaboración del coagulante natural, se empleó almidón extraído de la yuca (*Manihot esculenta*), siguiendo la metodología adaptada del protocolo descrito por (Villabona et al., 2020). Este proceso se realizó en varias etapas consecutivas y controladas, que permitieron obtener un producto seco, libre de impurezas y apto para ser utilizado como agente coagulante.

El proceso inició con la elección de raíces sanas y frescas, descartando aquellas que presentaban signos de deterioro, hongos o golpes. A continuación, se lavó con agua potable para quitar tierra y otras impurezas superficiales, seguido del pelado manual de cada raíz.

Una vez limpias, las raíces fueron ralladas finamente utilizando un rallador metálico, formando una masa que fue depositada en un recipiente limpio. A esta masa se le agregó una cantidad moderada de agua potable y se sometió a agitación manual vigorosa durante varios minutos, con el fin de favorecer la liberación del almidón.

La suspensión obtenida fue filtrada utilizando un lienzo o tela limpia, recolectando el líquido lechoso en otro recipiente. Este líquido se dejó en reposo durante aproximadamente 12 horas, permitiendo que el almidón se sedimentara naturalmente en el fondo.

Transcurrido el tiempo de sedimentación, el sobrenadante fue cuidadosamente eliminado y el almidón depositado fue deshidratado parcialmente, eliminando el exceso de humedad por escurrido. Luego, el almidón húmedo fue extendido en bandejas limpias y sometido a secado al ambiente, en un área protegida de la luz solar directa, hasta alcanzar un punto de secado completo.

Finalmente, el almidón seco fue triturado y acondicionado para obtener un polvo fino, el cual fue almacenado en recipientes herméticos y etiquetados, conservándolo en condiciones adecuadas para su posterior uso experimental en las pruebas de coagulación-floculación.

Tras obtener el coagulante, se realizaron pruebas de coagulación-floculación utilizando tres dosis diferentes: 0.5 ml, 1 ml y 1.5 ml. Estas dosis fueron probadas en un test de prueba de jarras para evaluar su eficacia de remoción de los parámetros fisicoquímicos. En cada prueba, se mantuvieron constantes las condiciones de agitación: un mezclado rápido de 150 rpm durante 1 minuto, luego mezclado lento a 40 rpm durante 15 minutos. Después, se permitió un período de sedimentación de 30 minutos para separar los flóculos formados.

Se eligió la dosis que mostró el mayor efecto sobre los parámetros fisicoquímicos analizados como la dosis óptima. Los resultados obtenidos fueron procesados utilizando el software estadístico SPSS, considerando tanto la dosis del coagulante como el porcentaje en la remoción de los parámetros evaluados (Ortiz et al., 2018).

3.7.3. Cuantificar los porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial tras el tratamiento con almidón de yuca.

Una vez realizado el tratamiento de las aguas con el coagulante de almidón de yuca, se procedió a medir nuevamente los parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez y sólidos suspendidos) en las muestras tratadas (Abd et al., 2019). Para esto se utilizó la ecuación 1:

$$\%Remoción = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Donde:

VPi: Valor parámetro inicial.

VPf: Valor parámetro final.

El análisis estadístico se hizo con SPSS utilizando el método ANOVA analizando los tratamientos, después de haber organizado y tabulado la información obtenida con el programa Excel. Este análisis permitió encontrar patrones y conductas entre los tratamientos y los parámetros estudiados (Ortiz et al., 2018).

a. Diseño experimental

Teniendo en cuenta el diseño, se realizaron los tratamientos por triplicado con 3 dosis distintas del coagulante hecho en base de almidón de yuca siendo estas de 0.5 ml, 1 ml y 1.5 ml en la prueba de jarras, la velocidad y el tiempo fue un constante en todos los tratamientos, con un mezclado rápido de 150 rpm durante 1 minuto y el lento a 40 rpm durante 15 minutos, dejando sedimentar por 30 minutos. Cabe destacar que el diseño es completamente al azar, asimismo, se usó varianza ANOVA.

Tabla 6

Diseño experimental del estudio

TRATAMIENTO	REPETICIONES		
	Parámetros de la repetición 1	Parámetros de la repetición 2	Parámetros de la repetición 3
Testigo (0 ml/L)	C1	C2	C3
T1 (0.5 ml/L)	X1	X2	X3
T2 (1ml/L)	Y1	Y2	Y3
T1 (1.5 ml/L)	Z1	Z2	Z3

b. Recolección de datos

El registro de datos antes, durante y después el tratamiento se realizó mediante la técnica de la observación experimental, llenando la información recolectada en los instrumentos elegidos para este estudio, los cuales fueron las fichas de datos mostradas en los Anexos.

c. Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos sobre los parámetros iniciales y finales fueron organizados y procesados según los valores obtenidos utilizando el software Microsoft Excel para la base de datos, con la que se construyeron tablas de análisis según lo obtenido. Posteriormente, se hizo la evaluación de estadística denotando y analizando los patrones de conducta que pudieran existir en los datos y determinando si existen diferencias significativas entre los procesos, basándose en un modelo lineal.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos pH, SST y turbiedad de las aguas superficiales contaminadas por el botadero Llocllamayo.

Tabla 7

Parámetros iniciales de las aguas superficiales

Parámetro	Valor obtenido
pH	5.65
Turbidez	197 NTU
Sólidos Suspendidos	0.0012 g/mL

En la tabla 7, se detallan los parámetros fisicoquímicos evaluados, como resultado de estos análisis se obtuvieron los siguientes parámetros de pH, turbidez y sólidos suspendidos:

El valor de pH registrado (5.65) indica una condición ácida en las aguas del río San Gabán, posiblemente relacionada con la lixiviación de residuos sólidos del botadero Llocllamayo. Así como también (Morocco, 2025) indica que puede asociarse a la presencia de metales pesados derivados de los desechos sólidos no tratados. Sin embargo, el valor obtenido del pH en el río Llocllamayo contrasta con lo reportado por (Garcia y Roque, 2024), quienes en su estudio evaluaron el pH en aguas superficiales del río Sauce, el cual también recepcionaba lixiviados de botaderos, los cuales presentaron valores ligeramente alcalinos de pH (8.43, 8.65 y 8.59), demostrando que pueden existir otros factores que influyen en la variabilidad de la calidad del agua.

La turbidez alcanzó los 197 NTU, superando ampliamente el límite establecido por los ECA (5 NTU para categoría 1-A). Este resultado es consistente con los hallazgos de (Ñahui y Acosta, 2021), quienes también evidenciaron niveles altos de turbidez en cuerpos de agua cercanos a botaderos y con respecto a los sólidos suspendidos totales (1.2 g/L) también, reflejan una elevada presencia de materia particulada, que, según (Martínez y Huérfano, 2022), esta afecta la

penetración de luz y los procesos biológicos en cuerpos de agua. En conjunto, los tres parámetros iniciales confirman una calidad de agua severamente comprometida.

4.2. Determinación de la dosis óptima de almidón de yuca.

Tabla 8

Tratamientos con el coagulante natural de almidón de yuca

TRATAMIENTO	REPETICIONES		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Testigo	pH: 5.65	pH: 5.65	pH: 5.65
	NTU: 38.69	NTU: 32.51	NTU: 33.02
	SST: 0.0004	SST: 0.00028	SST: 0.00019
T1 (0.5 ML)	pH: 7.80	pH: 7.67	pH: 7.50
	NTU: 15.06	NTU: 11.47	NTU: 16.91
	SST: 0.00015	SST: 0.00023	SST: 0.00015
T2 (1 ML)	pH: 7.32	pH: 7.44	pH: 7.36
	NTU: 12.40	NTU: 13.28	NTU: 15.87
	SST: 0.00061	SST: 0.00021	SST: 0.00015
T3 (1.5 ML)	pH: 7.24	pH: 7.24	pH: 7.31
	NTU: 14.55	NTU: 11.67	NTU: 12.07
	SST: 0.00012	SST: 0.00025	SST: 0.00016

La tabla 8 describe los tratamientos realizados con almidón de *Manihot esculenta* (yuca) en el proceso de coagulación y floculación mediante la prueba de jarra, para ella se aplicaron tres dosis y tres repeticiones para cada dosis.

El tratamiento con almidón de yuca mejoró significativamente los parámetros analizados. El pH aumentó hacia la neutralidad en todos los tratamientos, alcanzando un valor de 7.24 en el tratamiento T3. Este resultado concuerda con (Cerna et al., 2024), quienes reportaron que coagulantes naturales como el almidón de yuca y plátano pueden estabilizar el pH sin generar cambios bruscos. (Azabache et al., 2022) también hallaron que el almidón de yuca no altera negativamente el pH, manteniéndolo dentro de rangos seguros para la vida acuática.

Respecto a la turbidez, la mayor eficiencia se logró también con el tratamiento T3 (1.5 mL), alcanzando 11.67 NTU, lo que representa una remoción superior al 93%. Este resultado es superior al obtenido por (Azabache et al., 2022), quienes alcanzaron solo un 50% de remoción, y también a lo reportado por (Villabona et al., 2020), que lograron un 70%. Así es como (Delgado y Julca, 2019) destacan que dosis adecuadas, como las usadas en este estudio, mejoran notablemente la eficiencia sin provocar resuspensión de partículas.

4.3. Cuantificación de los porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos de pH, turbiedad, SST, tras el tratamiento con almidón de yuca.

Tabla 9

Porcentajes de remoción obtenidos en el tratamiento con almidón de yuca.

PARÁMETRO	TRATAMIENTO	DOSIS ml	REPETICIONES		
			Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Turbidez	1	0.5	92.34%	94.13%	91.38%
	2	1	93.65%	93.23%	91.93%
	3	1.5	92.62%	94.06%	93.88%
pH	1	0.5	-38.05%	-35.75%	-32.74%
	2	1	-29.56%	-31.68%	-30.27%
	3	1.5	-28.14%	-28.14%	-29.38%
SST	1	0.5	87.5%	80.83%	87.5%
	2	1	49.17%	82.50%	87.50%
	3	1.5	90.00%	79.17%	86.67%

La tabla 9 se detalla la cantidad de repeticiones realizadas en cada tratamiento, sometida a una dosis de 0.5, 1 y 1.5 ml de almidón de yuca y como resultado muestra los porcentajes de remoción para los parámetros de turbidez, SST y neutralización para el pH, dónde gráficamente se muestra en el Anexo 3 y se detallan los valores óptimos en la siguiente tabla:

Tabla 10*Valores óptimos tras el tratamiento*

Parámetro	Valor inicial	Valor final (T3)
pH	5.65	7.24
Turbidez	197 NTU	11.67 NTU
SST	1.2 g/L	0.12 g/L

De los resultados se obtiene que el tratamiento T3 (1.5 mL) logró los mayores porcentajes de remoción: más del 93% en turbidez, cerca del 90% en SST y una neutralización significativa del pH, tal como se indica en la tabla 10, estos resultados son comparados al valor inicial, tras el tratamiento, obteniéndose el valor final para el pH un 7.24 de 5.65, turbidez reduciéndose de 197 a 11.67 NTU y los SST de 1.2 g/L a 0.12 g/L. Estos valores son comparables con los de (Abd et al., 2019), quienes reportaron hasta 90.32% de remoción de turbidez, Así como también (Garcia y Roque, 2024) reportaron porcentajes similares (92.55%) usando almidón de yuca en condiciones parecidas. Estos hallazgos refuerzan que la eficiencia del almidón de yuca depende directamente de su correcta dosificación y de las condiciones fisicoquímicas del agua a tratar.

En contraste estos resultados superan los obtenidos por (Arias, 2021), quien logró solo un 7.99% de mejora en pH y una reducción negativa en SST (-7.48%). Además, en comparación con estudios como el de (Masmela y Aguilar, 2017), que solo alcanzaron un 38.1% de remoción. Lo cual puede deberse a dosis inadecuadas o a condiciones experimentales distintas. La eficiencia del tratamiento en esta investigación es notoriamente superior. Ya que, para el éxito del tratamiento depende de factores como la dosis, la calidad del almidón y las características del agua, como señalan (Pajuelo, 2018) y (Abd et al., 2019), Los resultados obtenidos confirman que el almidón de yuca es una opción eficaz y viable para el tratamiento del recurso hídrico, lo que demuestra la ventaja frente a algunos coagulantes químicos.

4.3.1. Tratamiento estadístico con la prueba ANOVA

Tabla 11

Prueba de homogeneidad de varianzas para los parámetros de turbidez, pH y SST

PARÁMETRO		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TURBIDEZ	Se basa en la media	1.377	3	8	0.318
	Se basa en la mediana	0.198	3	8	0.895
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.198	3	4.844	0.893
	Se basa en la media recortada	1.209	3	8	0.367
	Se basa en la media	3.186	3	8	0.084
pH	Se basa en la mediana	1.967	3	8	0.198
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.967	3	3.665	0.271
	Se basa en la media recortada	3.110	3	8	0.089
SST	Se basa en la media	5.098	3	8	0.029
	Se basa en la mediana	0.695	3	8	0.581
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.695	3	2.723	0.619
	Se basa en la media recortada	4.454	3	8	0.040

En la tabla 11 se muestra los resultados de la prueba de Levene aplicada a los datos de turbidez, pH y SST, con el fin de verificar la homogeneidad de varianzas entre los

tratamientos evaluados, condición necesaria para la validez del ANOVA. La prueba de Levene se emplea porque permite determinar si las varianzas de los grupos son estadísticamente iguales, incluso cuando los datos no siguen estrictamente una distribución normal. En la tabla se muestran cuatro versiones del estadístico de Levene: basada en la media, en la mediana, en la mediana con grados de libertad ajustados y en la media recortada. En todos los casos, los valores de significancia (Sig.) son mayores a 0.05, lo que indica que no se encontraron diferencias significativas en las varianzas entre los grupos. Los grados de libertad gl1 corresponden al número de grupos menos uno ($k-1$), mientras que gl2 representa los grados de libertad del error o del total de observaciones menos el número de grupos ($N-k$). Estos resultados confirman que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, permitiendo continuar con el análisis ANOVA para la comparación de medias de los parámetros entre tratamientos, tal como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12

Prueba ANOVA para los parámetros de turbidez, pH y SST.

PARÁMETRO		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TURBIDEZ	Entre grupos	1000.7687	3	333.589567	53.1497552	1.2574E-05
	Dentro de grupos	50.2112667	8	6.27640833		
	Total	1050.97997	11			
pH	Entre grupos	7.38489167	3	2.46163056	351.661508	0.000
	Dentro de grupos	0.056	8	0.007		
	Total	7.44089167	11			
SST	Entre grupos	0.000	3.000	0.000	0.871	0.495
	Dentro de grupos	0.000	8.000	0.000		
	Total	0.000	11.000			

La Tabla 12 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a los valores de turbidez, pH y SST obtenidos con las diferentes dosis del coagulante natural. El ANOVA se utilizó para determinar si existían diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. La suma de cuadrados entre grupos y dentro de grupos refleja la variabilidad explicada por los tratamientos y la variabilidad residual, respectivamente. Al dividir cada suma de cuadrados entre sus correspondientes grados de libertad (gl), se obtienen las medias cuadráticas. El estadístico F indica que la variabilidad entre los tratamientos es considerablemente mayor que la variabilidad interna. Además, el valor de significancia (p) debe ser menor a 0.05, el cual confirma que existen diferencias estadísticamente significativas entre las dosis evaluadas.

Finalmente, según los análisis estadísticos, mostraron diferencias significativas entre tratamientos para los parámetros de pH ($p = 0.000$) y turbidez ($p = 0.000012574$), lo que valida la efectividad del almidón de yuca como coagulante. Estos resultados coinciden con (Padilla et al., 2020), quienes señalaron que los coagulantes naturales pueden producir efectos estadísticamente significativos cuando se aplican en concentraciones óptimas y bajo condiciones controladas. Para los SST, el valor de significancia ($p = 0.495$) indicó que no existieron diferencias estadísticamente significativas, a pesar de observarse una reducción visual. Esto también fue reportado por (Mercado et al., 2024), quienes afirman que el comportamiento de los SST puede ser menos predecible y requerir tiempos de sedimentación más prolongados para mostrar efectos medibles.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El diagnóstico inicial de las aguas del río San Gabán presenta una contaminación crítica, con pH ácido (5.65), turbidez elevada (197 NTU) y presencia de sólidos suspendidos.

La dosis óptima de almidón de yuca identificada fue de 1.5 mL, se lograron remociones numéricas de hasta el 90%, lo que abre la posibilidad de ajustes en el protocolo para optimizar su eficacia.

El tratamiento fisicoquímico mediante coagulación y floculación con almidón de yuca demostró ser eficiente y sostenible para mejorar la calidad del río San Gabán, fuertemente afectada por el botadero de Llocllamayo. Se logró una reducción significativa de la turbidez superior al 94% y una neutralización efectiva del pH ácido, alcanzando valores dentro del rango aceptable para aguas superficiales, siendo estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

5.2. Recomendaciones

Se debe implementar el uso de almidón de yuca como coagulante en zonas rurales o con recursos limitados, priorizando cuerpos de agua impactados por botaderos o residuos urbanos. Su facilidad de obtención y efectividad comprobada lo convierten en una solución ambientalmente sostenible.

La dosis de 1.5 mL es punto de partida para futuros tratamientos, considerando también la capacitación de personal local en técnicas simples de preparación y aplicación, así como es el tipo de especie y la extracción del almidón, ya que esto determina que el coagulante natural obtenida sea la óptima. También se recomienda investigar la sinergia con otros coagulantes naturales como moringa u otras fuentes vegetales para mejorar el porcentaje de remoción en diferentes matrices de agua.

Finalmente, se exhorta a las autoridades a considerar la mejora en el manejo de los residuos de Llocllamayo, como medida complementaria para evitar nuevas fuentes de contaminación y preservar la calidad de manera sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd, Othman, Fahirah, Asharuddin, & Malek. (2019). *Turbidity, COD and Total Suspended Solid Removal: Application of Natural Coagulant Cassava Peel Starch* . International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) .
- Alazaiza, M., Albahnasawiv, A., Ali, G., Bashir, M., Eddin Nassani, D., Maskari, T., . . . Abujazar, M. (2022). Aplicación de coagulantes naturales para la eliminación de productos farmacéuticos del agua y las aguas residuales. <https://doi.org/10.3390/w14020140>, 14 (2).
- Almendarez. (2016). *Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua “Piedras Azules”*. Revista Iberoamericana de Polímeros, pp. 5-10. .
- ANA. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Colección Ediciones ANA)*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>.
- ANA. (2019). *Recogen 30 toneladas de basura durante limpieza de lago Titicaca y río desaguadero*. Lima, Perú.
- Arias. (2021). *Análisis de eficiencia del tratamiento físico-químicos de las aguas residuales de la planta de tratamiento norte del Distrito de Chucuito, Provincia de Puno – 2020*. Tesis de grado. UPSC.
- Azabache, Maldonado, Arnold, Azabache, & Dávila. (2022). *Aplicación de clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano*. Rev. Amaz. Cienc. Ambient. Ecol. vol. 1(1).
- Balzan, Rahman, Aroua, Baldy, Dagher, Branquinho, . . . Rossi. (2020). *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin -Current Situation and Risks for the Future Chapter 4 Ecosystems*. First Mediterranean Assessment Report (MAR1).
- Barreto, Vargas, Ruiz, & Gómez. (2020). *Evaluación de coagulantes naturales en la clarificación de aguas*. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1).

- Bedoya. (2013). *Determinación de la dosis optima de sulfato de aluminio en la planta de tratamiento de villa santana. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira.*
- Briones. (2018). *Análisis Comparativo De La Disminución De La Turbidez En El Proceso De Floculación Utilizando Un Floculante Comercial Y La Paleta De Tuna. Universidad Privada del Norte.*
- Campos, & Bernardo, D. (2020). *Uso de polimeros naturales en el tratamiento de agua para abastecimiento. 1st ed. Cali: Cinara.*
- Cardenas, & Vargas. (2014). *Tratamiento de Agua Coagulación y Floculación. Evaluación de plantas y desarrollo Tecnológico. SEDAPAL.*
- Cerna, Vega-Sanchez, Cordova-Ayra, Pizarro-Acosta, Rojas-Trejo, Mallico-Quispe, & Zavala-Guerrero. (2024). *Evaluación de almidones como Floculantes para la remoción de turbiedad en agua superficial. TECNIA, vol. 33(2).*
- Charapaqui. (2019). *Dosificación de coagulantes y floculantes para la remoción de sedimentos del agua en el embalse Cuchoquesera, Ayacucho. Universidad Nacional Agraria La Molina: Tesis de Magister.*
- Choquehuanca. (2022). *Evaluación de penca de tuna como aditivo natural para remoción de la turbidez del agua del Río San Gabán, Puno. Tesis de grado. UCV.*
- Daoliang, & Shuangyin. (2019). *Chapter 12-Water quality monitoring in aquaculture. Basis, Technology and Case Studies, 303-328.*
- Delgado, & Julca. (2019). *Remoción de la Turbiedad del Agua del Canal Miraflores, con Almidón de Yuca y Sulfato de Aluminio, Jaén, Cajamarca. Tesis de grado. UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN.*
- Donado, & Leones. (2023). *Uso de almidón de yuca (Manihot-esculenta) para la clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Departamento del Atlántico-Colombia. Prospectiva, 21(2).*
- Dos Santos Lopes, V., Miranda de Almeida Silva, L., Braga Moruzzi, R., & Luiz de Oliveira, A. (2020). *Estudio de la coagulación/floculación del agua con turbidez moderada en*

- sedimentación y flotación por aire disuelto. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020193514>, 567-572.
- Endale, Y., Asmelash Samuel, Z., Kebede, S., & Bayu, A. (2024). Coagulantes naturales y sintéticos mezclados para la eliminación de DQO y DBO. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37961>, 1-2.
- Ferrer. (2012). *Propuesta de Mejora a la Planta de Pretratamiento de Agua del Complejo Termoelectrico General Rafael Urdaneta de Corpoelec. [Tesis de pregrado], Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta, Venezuela.*
- Garcia, & Roque. (2024). *Eficiencia del almidón de manihot esculenta para la remoción de turbidez del río Sucse, provincia de Cutervo, Cajamarca 2024.*
- Geocatmin. (2025). *Sistema de información geográfica.* INGEMMET.
- GOB. (2024). *Empresa de Generación Eléctrica San Gabán S.A. – Instalaciones.* gob.pe. <https://www.gob.pe/17018-empresa-de-generacion-electrica-san-gaban-s-a-instalaciones>.
- Gómez. (2018). *Tratamiento de las aguas superficiales mediante el uso de semilla de moringa (Moringa oleífera) como coagulante orgánico en la cuenca baja del río Caraveli – Arequipa 2017.* Tesis de grado. UAP.
- Huamani, & Chahuasoncco. (2022). *Coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados a nivel mundial: Una revisión sistemática los últimos 5 años.*
- Idrovo. (2010). *Optimización de la Planta de Tratamiento de Uchupucun. Escuela de Bioquímica y Farmacia, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Ecuador.*
- Kakkar, S., Dharavat, N., & Pammi, S. (2025). Una Moringa oleifera, un coagulante natural, como posible enfoque futuro para la purificación sostenible del agua: un estudio basado en una patente. www.sciencedirect.com/journal/results-in-engineering, 2-3.
- Kumar, Al-Gheethi, Asharuddin, & Othman. (2021). *Potential of cassava peels as a sustainable coagulant aid for institutional wastewater treatment: Characterisation, optimisation and techno-economic analysis.* Chemical Engineering Journal vol. 420 (2).

- León, & Nureña. (2023). *Análisis fisicoquímico de las aguas del río Ronquillo destinadas para consumo humano – Cajamarca 2020*. Tesis de grado. UPN.
- Lucas, & Carreño. (2018). *Calidad de agua de consumo humano en las comunidades balsa en medio, Julián y Severino de la microcuenca Carrizal, Ecuador*. Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas, 21(42), 39-46.
- Maldonado. (2018). *Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juningullo – La Mina, Moyobamba – San Martín*. Universidad Nacional de San Martin: Tesis de grado.
- Martínez, & Huérfano. (2022). *Evaluación de resultados e impacto del proyecto tratamiento de lixiviados, cierre y clausura del basurero de Navarro, para mitigación y cubrimiento de riesgos de contaminación del Río Cauca en el Distrito de Santiago de Cali*. Universidad de Antioquia. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10495/29874>.
- Masmela, & Aguilar. (2017). *Evaluación de almidón de Manihot esculenta (yuca) y Musa AAB Simmonds (plátano) en procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales en la PTARD del parque agroindustrial de Occidente – PAO*. Tesis de grado. UNAD.
- Mercado, Riaños, & Meza. (2024). *Semillas de moringa (Moringa oleifera) y almidón de yuca (Manihot esculenta) para la clarificación del agua*. Revista de Investigación Agraria y Ambiental 15(1), 29-48.
- MINAM. (2016). *La calidad del agua y la contaminación de las aguas superficiales*.
- MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.
- MINAM. (2017). *Glosario Ambiental*. Lima: s.n.
- MINAM. (2022). *Programa municipal de educación, cultura y ciudadanía ambiental de San Gabán*. [En línea] Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/dt-md_san_gaban_2019-2022_puno.pdf.

- Morocco. (2025). *Contaminación de agua y suelo por lixiviados del botadero de Conchatanca Macusani Puno, 2024*. Tesis de grado. UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS.
- Murrugarra. (2021). *Contaminación Ambiental del Río y el Grado de Responsabilidad Civil de la Población del Río Chillón en el Período 2018*. REVISTA PRODUCCIÓN + LIMPIA– Vol. 16 No 1 –.
- Nolasco. (2020). *Goma de tara y su efecto en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas - Apurímac, 2018*. Universidad Tecnológica de los Andes: Tesis de grado.
- Ñahui, & Acosta. (2021). *Efecto de la descarga de lixiviado del exbotadero El Edén en el cuerpo de agua adyacente, sector Yauris, distrito de El Tambo, Provincia de Huancayo, 2021*. Tesis de grado. Universidad Continental.
- Ortiz, López, Torres, & Pampillón. (2018). *Amido de mandioca (Manihot esculenta Crantz) como coadyuvante na coagulação da floculação doméstica de efluentes*. Revista Iberoamericana de las ciencias biológicas y agropecuarias: Vol. 7, Núm. 13.
- Padilla, Pimienta, & Mercado. (2020). *Evaluación de la mezcla de un coagulante químico-natural en el proceso de clarificación de una ciénaga*. Revista UIS Ingenierías, 19(3), 49–60. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n3-2020005>.
- Pajuelo. (2018). *Determinación de la velocidad de sedimentación utilizando el almidón de Manihot esculenta (yuca) para la clarificación de las aguas superficiales del río Macashca – 2016*. Tesis de grado. UNASAM.
- Panamarathupalayam, & Manzolelua. (2022). *Completion and workover fluids*. In Fluid chemistry, drilling and completion (pp. 255-281). Gulf Professional Publishing.
- Pastrana Pacho, A., Solís Silvan, R., Ávila Lázaro, I., Laines Canepa, J. R., & Sánchez Díaz, B. (2023). *Coagulación de aguas residuales mediante una mezcla de polvo de Crotalaria longirostrata y sulfato de aluminio*. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.6000>, 136-137.
- Ramirez, Durán, & Molina. (2020). *Introducción al uso de coagulantes naturales en los procesos de potabilización del agua*. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, 11(2), 1-14.

- Rivera. (2017). *Eficiencia de coagulante natural obtenidos de yuca (Manihot Esculenta) y plátano (Musa Paradisiaca) para remover turbidez y Escherichia Coli del riachuelo Santa Perené Chanchamayo*. Tesis de Grado. UCV.
- Sperling. (2012). *Introducción a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales*. 1st ed. San Juan de Pasto, Colombia: Universidad de Nariño.
- Suarez, & Mederos. (2011). *Apuntes sobre el cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz)*. *Tendencias actuales*. Cultivos Tropicales, 32(3), 27-35.
- Ticona, Arenas, Martinez, & Quenta. (2024). *Análisis comparativo de coagulantes naturales en la remoción de turbidez del agua del río Caplina, Tacna*. Ciencia y Educación, 489-494.
- Vargas. (2021). *Análisis espacio-temporal del Índice de la calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en puntos de control del río San Gabán-Carabaya-Puno-2021*. Tesis de grado. Universidad Cesar Vallejo.
- Villabona, Tejada, Millan, Granados, & Ortega. (2020). *Reducción de Turbidez en Aguas Usando Almidón de Yuca como Coagulante Natural*. Prospectiva, Vol 19, N° 1.
- Zambrano, & Liliana. (2014). *Modelo de correlación entre las variables medibles en línea que afectan el proceso de determinación de la dosis óptima de coagulante en la planta de tratamiento de agua potable de Bosconia, del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga SAESP. Bosconia*.

ANEXOS

Anexo I. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Dependiente: Porcentaje de la remoción de parámetros fisicoquímicos	Los parámetros fisicoquímicos sirven para medir la calidad de las aguas superficiales, estos se encuentran dentro de la normativa establecida en el Decreto Supremo N°004-2017-MINA donde se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua y se establecen sus disposiciones complementarias (MINAM, 2017).	El porcentaje de la remoción de los parámetros fisicoquímicos se medirá utilizando formulas.	Porcentaje	%	ORDINAL
			pH	-	
			Turbidez	NTU	
			Nitritos	mg/L	
			Sólidos suspendidos	mg/L	
Independiente: Almidón de yuca	La yuca o (<i>Manihot esculenta</i>) posee la segunda fuente principal de almidón a nivel mundial, utilizado como almidón nativo sin modificarse, sin embargo, para las diferentes aplicaciones industriales que requieren características particulares es procesado para mejorar su consistencia y su estabilidad ante cambios en el pH y la temperatura.	El almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) se extraerá a través de procesos físicos para obtenerlo y formar el coagulante natural.	Dosis optima	ml	ORDINAL

Anexo II. Fichas de recolección de datos

FICHA N°1: FICHA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES		
TITULO		
INVESTIGADOR		
PUNTO	DIRECCIÓN	COORDENADAS UTM
1		
2		
3		

FICHA N°2: DATOS DEL MUESTREO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES					
TITULO					
INVESTIGADOR					
MUESTRA	PUNTO DE MUESTRO (UTM)	TIPO DE CUERPO DE AGUA	FECHA DE MUESTREO	TIPO DE MUESTREO	CANTIDAD MUESTREADA
1					
2					
3					

FICHA N°3: CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			
TITULO			
INVESTIGADOR			
MUESTRA	pH	Turbidez	Sólidos suspendidos totales
1			
2			
3			

FICHA N°4: CARACTERIZACIÓN FINAL DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			
TITULO			
INVESTIGADOR			
MUESTRA	pH	Turbidez	Sólidos suspendidos totales
1			
2			
3			

Anexo III. Porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos.

Figura 4

% de neutralización de pH – Tratamiento 1 (0.5 ml)

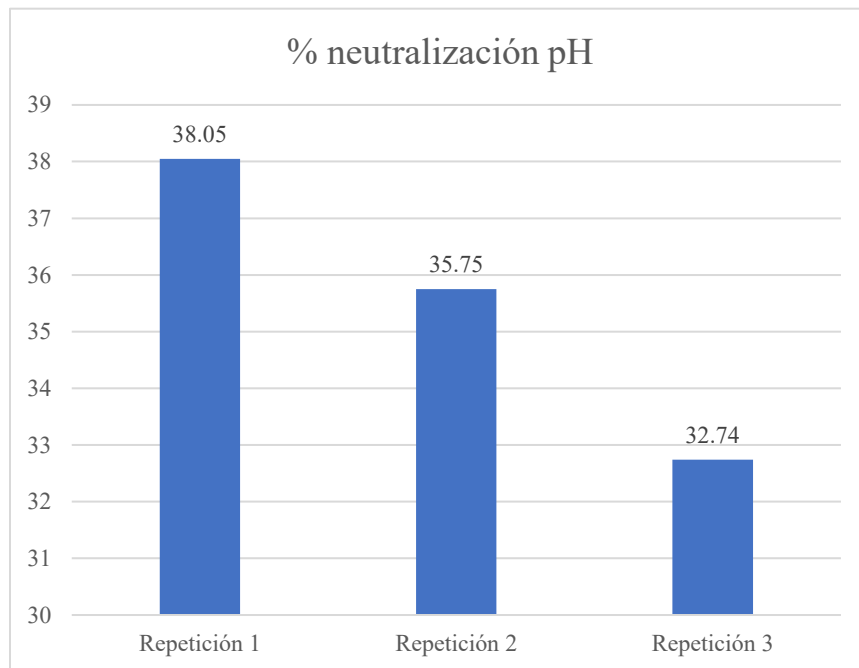


Figura 5

% de remoción de turbidez – Tratamiento 1 (0.5 ml)

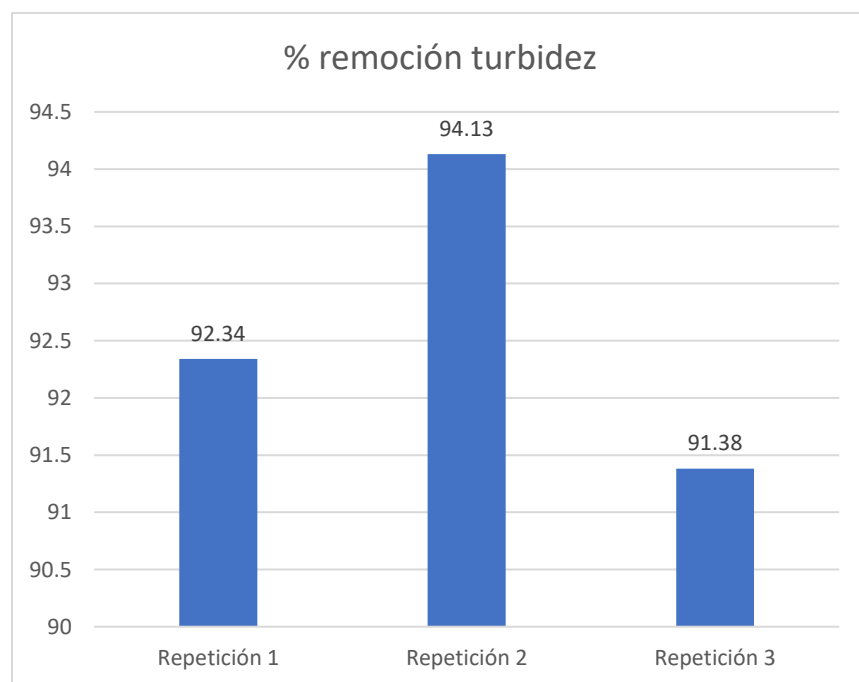


Figura 6

% de remoción de SST – Tratamiento 1 (0.5 ml)

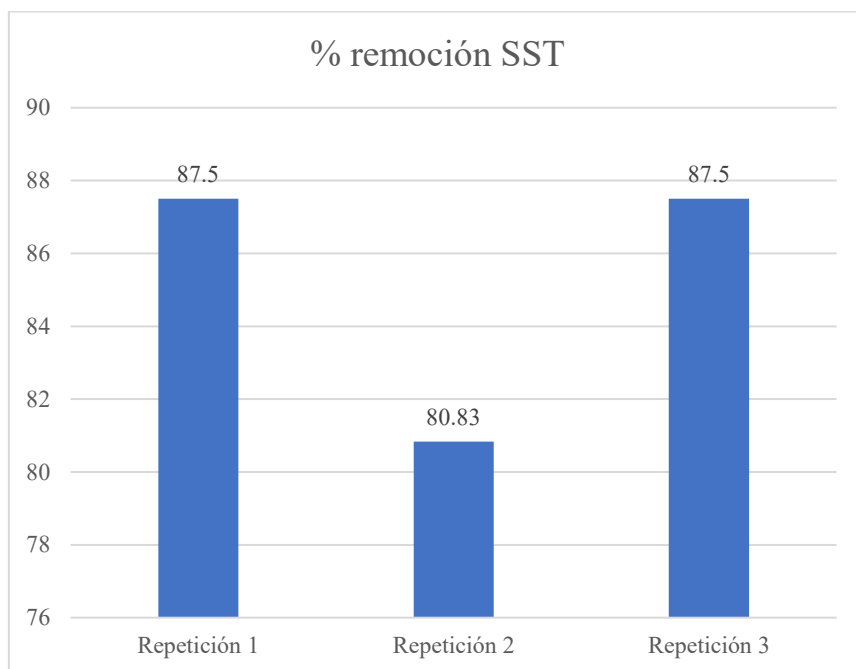


Figura 7

% de neutralización de pH – Tratamiento 2 (1 ml)

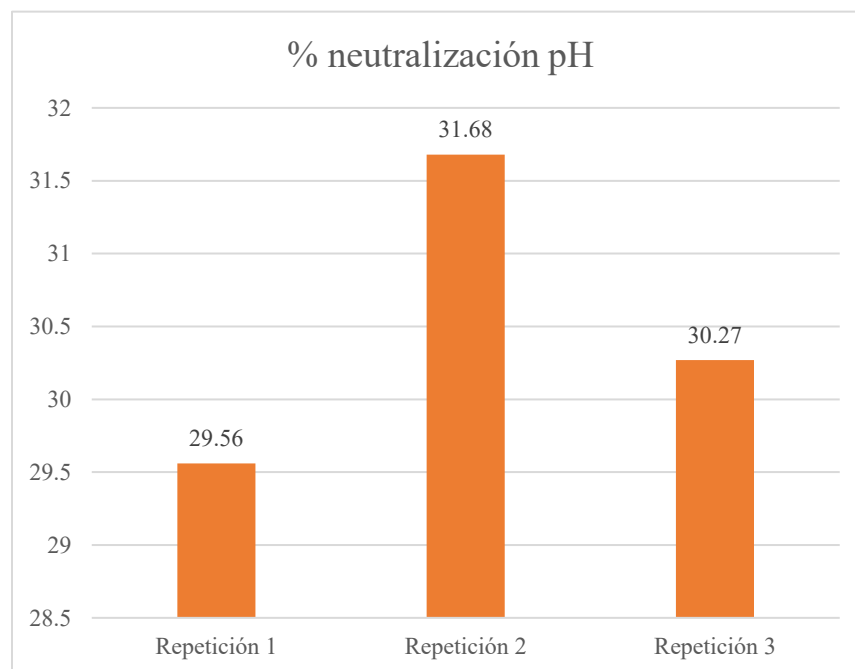


Figura 8

% de remoción de turbidez – Tratamiento 2 (1 ml)

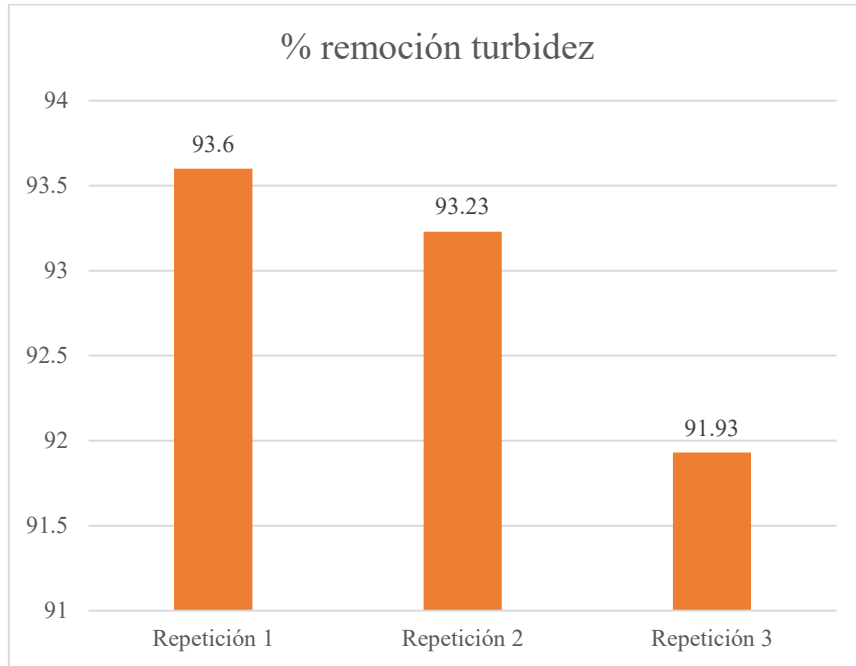


Figura 9

% de remoción de SST – Tratamiento 2 (1 ml)

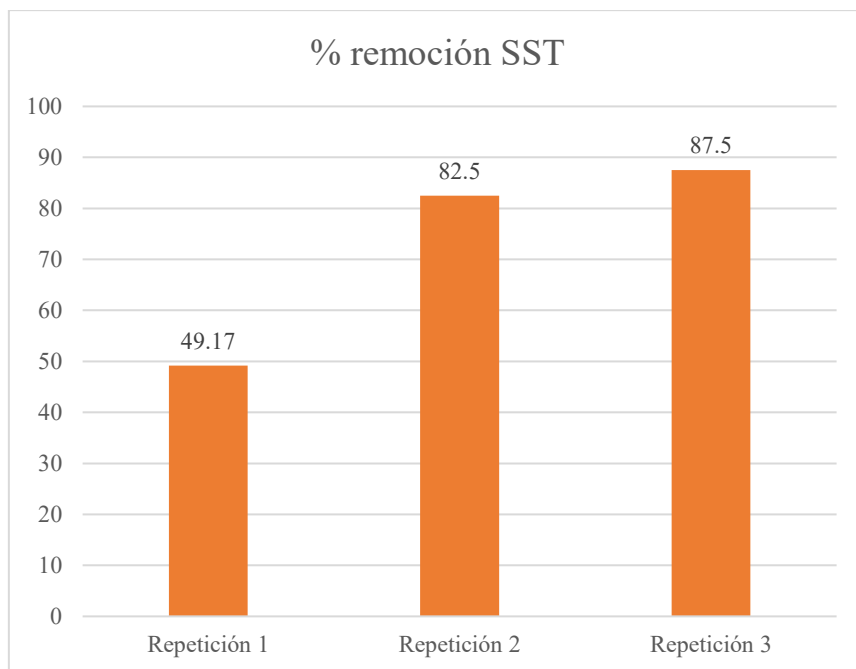


Figura 10

% de neutralización de pH – Tratamiento 3 (1.5 ml)

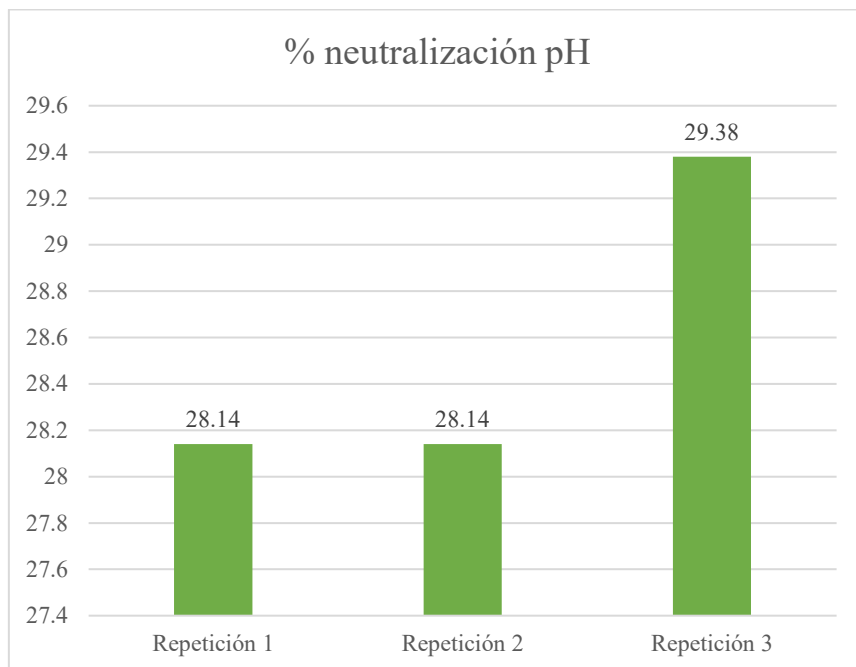


Figura 11

% de remoción de turbidez – Tratamiento 3 (1.5 ml)

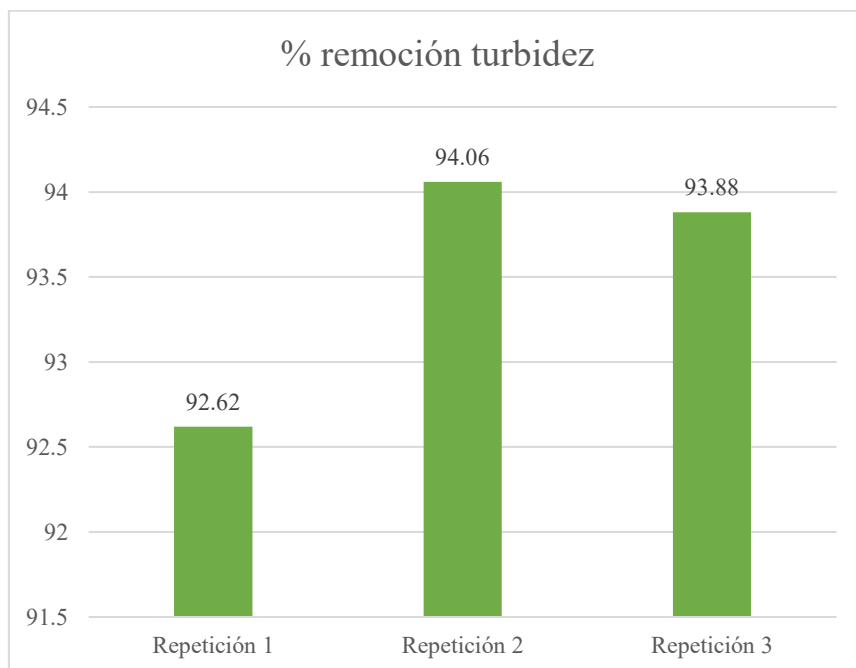
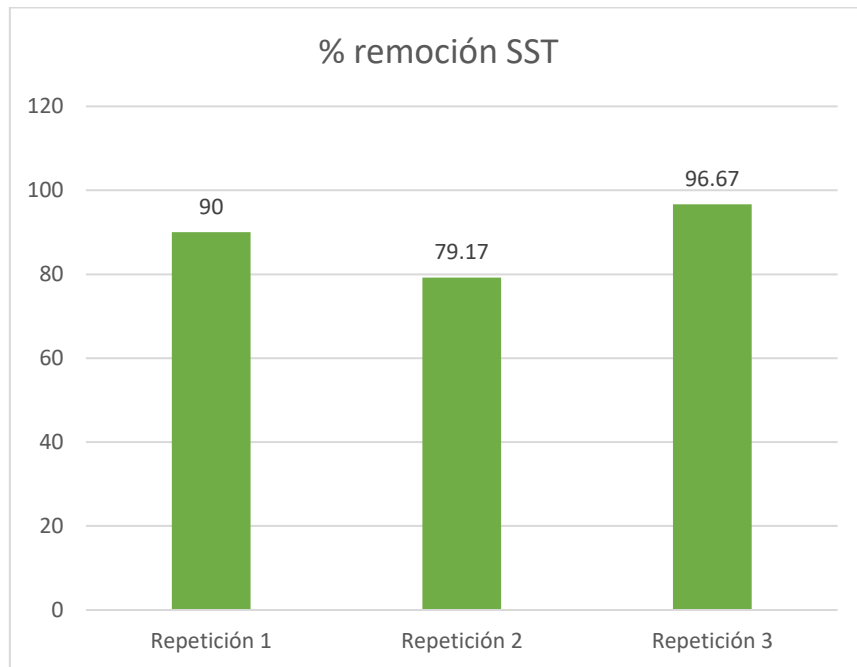


Figura 12

% de remoción de SST – Tratamiento 3 (1.5 ml)



Anexo IV. Panel fotográfico

Figura 13

Punto de muestreo 1



Figura 14

Punto de muestreo 2

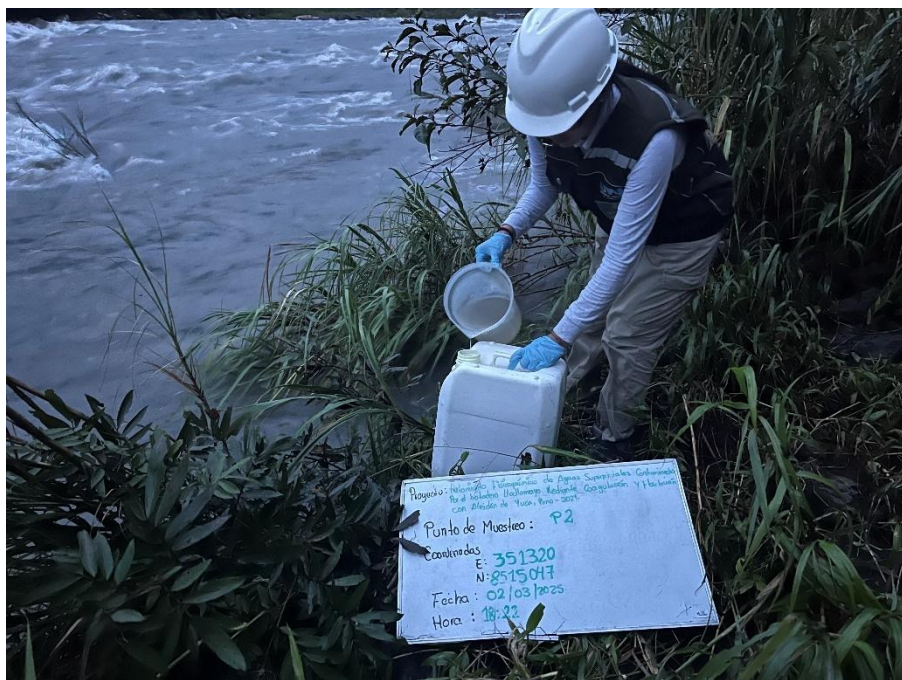


Figura 15

Punto de muestreo 3



Figura 16

Análisis con el equipo multiparámetros



Figura 17

Análisis con el turbidímetro

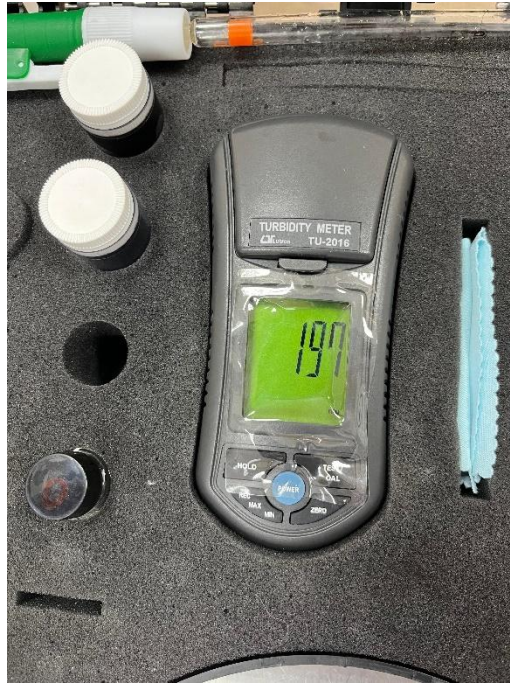


Figura 18

Proceso de filtración de los sólidos suspendidos



Figura 19

Secado del papel filtro



Figura 20

Peso del papel filtro con las partículas

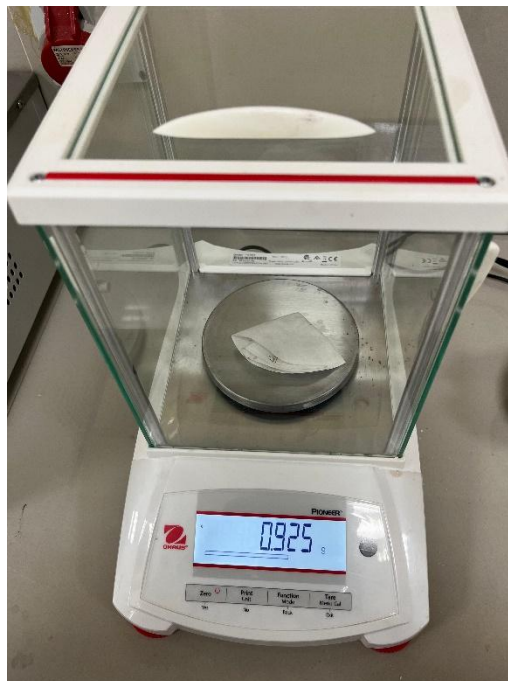


Figura 21

Yuca (Manihot esculenta)



Figura 22

Proceso de filtración



Figura 23

Toma de datos con el multiparámetro



Figura 24

Prueba de jarras

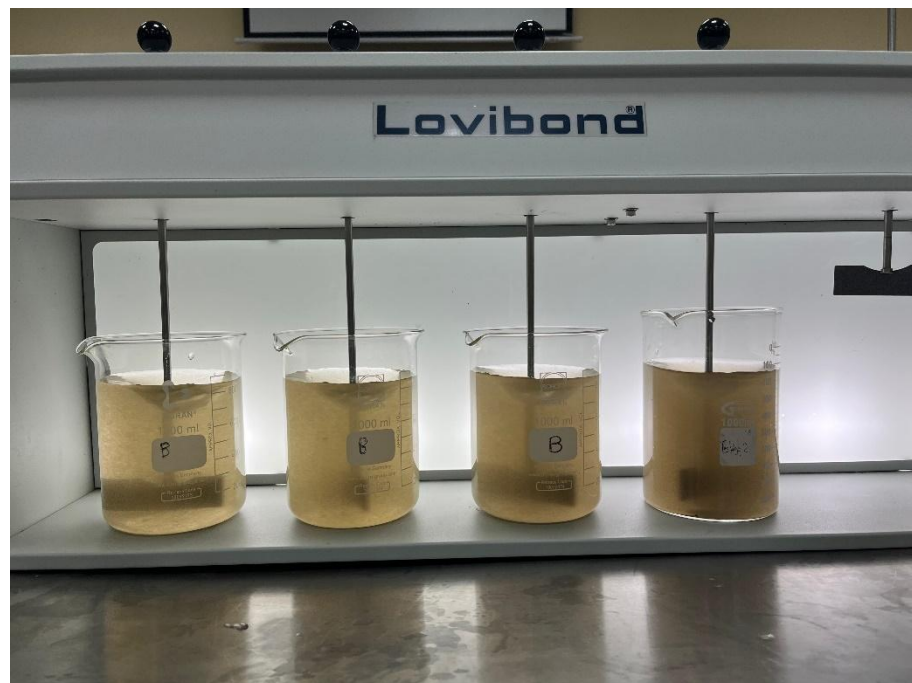


Figura 25

Proceso de floculación y sedimentación



Figura 26

Medición de los parámetros luego del tratamiento

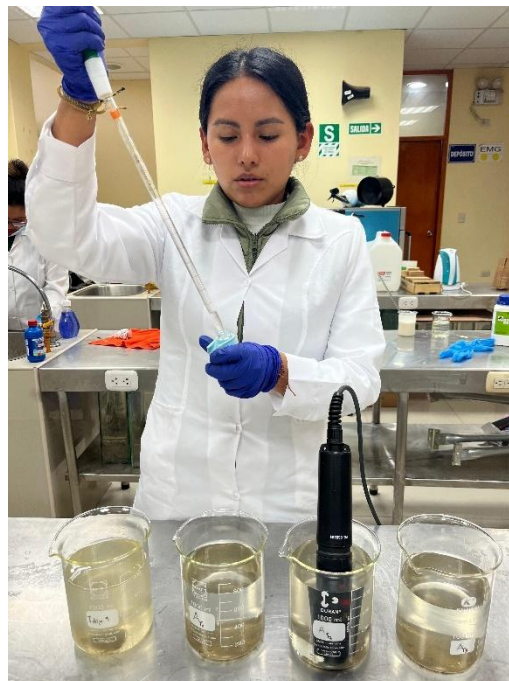


Figura 27

Medición de los parámetros luego del tratamiento



Figura 28

Proceso de secado del papel filtro luego de analizar las muestras tratadas



Figura 29

Proceso de secado del papel filtro luego de analizar las muestras tratadas

