

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA



TESIS

**EVALUACION DEL OLLUCO (*Ollucus Tuberosus Loz*) COMO
COAGULANTE Y FLOCULANTE EN EL PROCESO PRIMARIO DE
POTABILIZACION DEL AGUA**

PRESENTADO POR:

BR. MICHAEL ANGEL ARQUIMIDES APAZA PUMA
BR. JOEL APAZA MENDOZA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

ASESORA:

DRA. AMANDA ROSA MALDONADO FARFÁN

CUSCO-PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

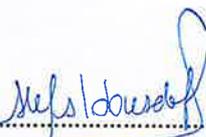
La que suscribe, asesora del trabajo de investigación: **“EVALUACIÓN DEL OLLUCO (*Ollucus Tuberosus* Loz) COMO COAGULANTE Y FLOCULANTE EN EL PROCESO PRIMARIO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.”** presentado por: Michael Angel Arquimides Apaza Puma identificado con DNI 47862652 y Joel Apaza Mendoza identificado con DNI 43490120, para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico. Informo que el Trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 vez, mediante el software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de laUNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **4%**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en condición de asesora, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 05 de mayo de 2025



.....
Dra. Ing. Amanda Rosa MALDONADO FARFAN

DNI: 23822559

ORCID: 0000-0002-4870-7078

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:455273683?locale=es-MX>

MICHAEL ANGEL ARQUIMIDES APAZA JOEL APAZA...

EVALUACION DEL OLLUCO (Ullucus Tuberosus Loz) COMO COAGULANTE Y FLOCULANTE EN EL PROCESO PRIMARIO DE

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:455273683

Fecha de entrega

3 may 2025, 8:55 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 may 2025, 9:02 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

EVALUACIÓN DEL OLLUCO (Ullucus Tuberosus Loz) COMO COAGULANTE Y FLOCULANTE EN EL PR....pdf

Tamaño de archivo

2.9 MB

91 Páginas

17.166 Palabras

91.777 Caracteres

4% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 20 words)

Top Sources

- 3%  Internet sources
- 0%  Publications
- 2%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

INDICE

1. GENERALIDADES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
<i>1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA</i>	<i>1</i>
<i>1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</i>	<i>2</i>
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
<i>1.2.1. OBJETIVO GENERAL</i>	<i>2</i>
<i>1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	<i>2</i>
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	5
<i>2.1.1. INTERNACIONALES</i>	<i>5</i>
<i>2.1.2. NACIONALES.....</i>	<i>6</i>
2.2. BASES TEÓRICAS.....	8
<i>2.2.1. OLLUCO PUKA LISA</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2. AGUA POTABLE.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.3. COAGULACIÓN</i>	<i>13</i>
<i>2.2.4. FLOCULACIÓN.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2.5. PRUEBA DE JARRAS</i>	<i>19</i>
2.3. HIPOTESIS.....	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS	21

3.1.	TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO	21
3.1.1.	<i>ENFOQUE</i>	21
3.1.2.	<i>TIPO DE INVESTIGACIÓN</i>	21
3.1.3.	<i>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</i>	21
3.1.4.	<i>ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN</i>	21
3.2.	MATERIALES	21
3.2.1.	<i>MATERIALES Y OTROS</i>	21
3.2.2.	<i>INSTRUMENTOS</i>	22
3.2.3.	<i>EQUIPOS</i>	22
3.2.4.	<i>REACTIVOS QUÍMICOS</i>	22
3.3.	MUESTRA	23
3.4.	MÉTODOS	23
3.4.1.	<i>RECOLECCIÓN DE MUESTRA</i>	24
3.4.2.	<i>CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA</i>	24
3.4.3.	<i>PROCESO DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN</i> 27	
3.4.4.	<i>VARIABLES SIGNIFICATIVAS DEL PROCESO</i>	40
3.4.5.	<i>PARAMETROS DEL PROCESO</i>	40
3.4.6.	<i>COMPARACIÓN CON EL SULFATO DE ALUMINIO</i>	40
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1.	<i>CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA</i>	42
4.2.	<i>PROCESO DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN</i> . 45	
4.3.	<i>VARIABLES SIGNIFICATIVAS DEL PROCESO</i>	58
4.4.	<i>PARAMETROS DEL PROCESO</i>	59

4.5. COMPARACIÓN CON EL SULFATO DE ALUMINIO	62
5. CONCLUSIONES.....	68
6. RECOMENDACIONES	70
7. BIBLIOGRAFIA.....	71
8. APÉNDICE.....	82
APENDICE I.....	82
9. ANEXOS.....	87
ANEXO I	87
ANEXO II.....	88
ANEXO III.....	89
ANEXO IV.....	92
ANEXO V.....	94
ANEXO VI.....	95
ANEXO VII	96
ANEXO VIII.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Olluco Puka Lisa	10
Figura 2 Diseño convencional de una planta de tratamiento de agua potable.....	11
Figura 3 Adsorción y neutralización de carga.	14
Figura 4 Adsorción y formación de puentes.....	15
Figura 5 Floculación y sedimentación.....	18
Figura 7 Diagrama de flujo del proceso de coagulación y floculación.	23
Figura 8 Recolección de la muestra.....	24
Figura 9 Rotulo de muestra.....	32
Figura 10 Preparación de agua sintética.	33
Figura 11 Ajuste de pH.....	34
Figura 12 Preparación de la muestra.....	35
Figura 13 Coagulante y floculante de la muestra.	36
Figura 14 Proceso de coagulación y floculación.	37
Figura 15 Medición de la turbidez final, pH final y conductividad eléctrica final.....	39
Figura 16 Evaluación con el sulfato de aluminio.	41
Figura 17 Variación del pH.	48
Figura 18 Variación de la conductividad eléctrica (CE).....	49
Figura 19 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	51
Figura 20 Gráfica de efectos principales para la turbidez eliminada (NTU).....	52
Figura 21 Comparación de turbidez eliminada experimental (Te Exp.) con la turbidez eliminada modelada (Te Mod.).....	53
Figura 22 Ajuste de la turbidez eliminada experimental (Te Exp.) con modelada (Te Mod.)...	54

Figura 23 Gráfico de contorno de la turbidez eliminada-Te (NTU) vs pH; dosis de muestra-D (mg/L).....	55
Figura 24 Gráfico de contorno y superficie de turbidez eliminada-Te (NTU) vs velocidad lenta de mezcla-V (rpm); dosis de muestra-D (mg/L).....	56
Figura 25 Gráfico de contorno y superficie de turbidez eliminada-Te (NTU) vs turbidez inicial-Ti (NTU); dosis de muestra-D (mg/L).....	57
Figura 26 Comparativa del porcentaje de turbidez eliminada (%Te) con una dosis de muestra (D) de 100 mg/L.....	59
Figura 27 Comparativa del porcentaje de turbidez eliminada %Te con un pH básico.....	60
Figura 28 Comparativa del porcentaje de turbidez eliminada (%Te) con una turbidez inicial (Ti) de 500 NTU.....	61
Figura 29 Comparación del porcentaje de turbidez eliminada (%Te) con una velocidad lenta de mezcla (V) de 40 rpm.	62
Figura 30 Comparación del porcentaje de turbidez eliminada (%Te) de la muestra con el sulfato de aluminio.....	64
Figura 31 Comparación de la variación del pH (Δ pH) de la muestra con el sulfato de aluminio.	65
Figura 32 Comparación de la variación de la conductividad eléctrica (Δ CE) de la muestra con el sulfato de aluminio.....	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Análisis fisicoquímico del olluco de la variedad Puka Lisa.	9
Tabla 2 Parámetros de proceso de coagulación y floculación.	27
Tabla 3 Variables independientes y sus niveles.	29
Tabla 4 Diseño factorial.	30
Tabla 5 Diseño factorial fraccionado con 3 puntos medios.	31
Tabla 6 Plan experimental.	32
Tabla 7 Resultados del análisis fisicoquímico.	42
Tabla 8 Resultados del análisis de perfil de aminoácidos.	43
Tabla 9 Resultados de la cuantificación de almidón.	44
Tabla 10 Resultados del plan experimental.	46
Tabla 11 Comparativa del porcentaje de turbidez eliminada (%Te) de la muestra con otros investigadores.	47
Tabla 12 Efecto de las variables independientes e interacciones sobre la turbidez eliminada (Te).	50
Tabla 13 Resultados de turbidez eliminada modelada y experimental de las 5 pruebas aleatorias.	54
Tabla 14 Tabla ANOVA.	58
Tabla 15 Parámetros de proceso.	63
Tabla 16 Pesos de muestra antes y después de la operación unitaria de pelado.	82
Tabla 17 Tabla de resultados del proceso con la muestra.	83
Tabla 18 Tabla de resultados de la medición del pH.	84
Tabla 19 Tabla de resultados de la medición de la conductividad eléctrica.	85

Tabla 20 Resultados de la comparación de la muestra con el sulfato de aluminio.....	86
Tabla 21 LMP de parámetros de calidad organoléptica del agua potable.	87

AGRADECIMIENTOS

A nuestros Dioses por acompañarnos en el camino de la vida

A nuestras familias, por la sabiduría, el soporte y apoyo incondicional que nos brindaron.

A nuestra asesora la Dr. Ing. Amanda Maldonado Farfán, por su paciencia, experiencia, conocimiento, consejos y observaciones que contribuyeron en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química por la dirección, conocimientos y experiencias proporcionadas en nuestros años de estudio.

A los encargados del Laboratorio de tecnologías de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por las facilidades, paciencia y tolerancias proporcionadas para la ejecución del proyecto de investigación.

A todos los amigos y personas que ayudaron en la realización de este trabajo de investigación.

Br. APAZA PUMA, Michael Angel Arquimides.

Br. APAZA MENDOZA, Joel.

DEDICATORIA

A mis Dioses, por la vida, la guía, las experiencias, la fortaleza, fortuna y bendiciones.

A mi madre Ofelia Puma Quispe, por el amor y el cariño que me dio en todas las fases de mi vida, por la fe que sembró en mí, por la confianza en mis decisiones, por enseñarme de resiliencia en mis acciones y por enseñarme a nunca perder la esperanza.

A mi tía Mariana Puma Quispe, por enseñarme de disciplina y a concluir lo que comienzo.

A mi hermana Mabel Coral Apaza Puma, por su apoyo y sus consejos.

A mis mentores y amigos cercanos, que me cuidaron, enseñaron, direccionaron y brindaron las oportunidades y facilidades que necesitaba para desenvolverme competitivamente en la vida.

Br. Michael Angel Arquimides Apaza Puma.

A Dios, por ser la fuente de fortaleza, sabiduría y guía en cada paso de mi vida; gracias por iluminar mi camino y permitir que este proyecto sea una realidad.

A mi padre Juan Apaza Jihuallanca y mi madre Martina Mendoza Condori, por su amor incondicional, sus enseñanzas y sacrificios, por enseñarme el camino de la fe y perseverancia.

A mi esposa Nohemy Jajhayda Cjuno Dominguez e hijas Astrid y Hazal, por ser mi compañera en este viaje, por su apoyo constante su paciencia a ustedes que son mi mayor inspiración y el motor que me impulsa a seguir creciendo; todo mi esfuerzo es por ustedes

A mis hermanos Isaias Apaza Mendoza, Ruth Apaza Mendoza y Raquel Apaza Mendoza, por su cariño, apoyo y confianza, que siempre me han motivado a superar cualquier desafío.

Br. Joel Apaza Mendoza.

RESUMEN

La investigación se realizó en el Laboratorio de Tecnologías de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, tuvo como propósito evaluar el olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) como coagulante y floculante en el proceso primario de potabilización del agua. La metodología consistió en recolectar y caracterizar el olluco de la variedad *Puka Lisa* para luego obtener el coagulante y floculante natural a través de operaciones unitarias de lavado, secado, pelado y rallado. El proceso de coagulación y floculación con el olluco se realizó mediante la prueba de jarras, con un diseño factorial fraccionado cuyas variables fueron de dosis (60 a 100 mg/L), pH (6.5 a 8.5), turbidez inicial (100 a 500 NTU), velocidad lenta de mezcla (20 a 40 rpm).

Los resultados obtenidos muestran que el olluco tiene 5.1% de almidón, mucilago y aminoácidos como la lisina, arginina e histidina que pueden presentar poder coagulante y floculante. El olluco rallado se usó como coagulante y floculante el cual contiene 88.53% de humedad. Los resultados del análisis de ANOVA establecieron que todas las variables en estudio fueron significativas. Se logró la mejor eficiencia de remoción de turbidez (81.87%) con una dosis de olluco de 100 mg/L, pH de 8.5, turbidez inicial de 500 NTU y una velocidad lenta de mezcla de 40 rpm. Asimismo, con el olluco se obtuvo un 31.20% más de remoción de turbidez respecto del sulfato de aluminio (48.8%). Durante el proceso de coagulación y floculación no varió considerablemente el pH y conductividad eléctrica.

Se concluyó que el olluco es eficiente en la remoción de turbidez, que depende significativamente de sus variables independientes y que coadyuva en el proceso primario de potabilización del agua.

Palabras clave: Olluco, coagulación – floculación, potabilización del agua, remoción de turbidez.

ABSTRACT

This research was conducted in the Technology Laboratory of the Professional School of Chemical Engineering at the San Antonio Abad National University of Cusco. The purpose of this study was to evaluate olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) as a coagulant and flocculant in the primary water purification process. The methodology consisted of collecting and characterizing olluco from the Puka Lisa species and then obtaining the natural coagulant and flocculant through unitary operations of washing, drying, peeling, and grating. The coagulation and flocculation process with olluco was carried out using the jar test, with a fractional factorial design whose variables were dosage (60 to 100 mg/L), pH (6.5 to 8.5), initial turbidity (100 to 500 NTU), and slow mixing speed (20 to 40 rpm).

The results obtained show that olluco has 5.1% starch and amino acids such as glutamic acid, aspartic acid, lysine, arginine, and histidine, which can have coagulant and flocculant properties. Grated olluco was used as a coagulant and flocculant, containing 88.53% moisture. The results of the ANOVA analysis established that all the variables studied were significant. The highest turbidity removal efficiency (81.87%) was achieved with an olluco dose of 100 mg/L, a pH of 8.5, an initial turbidity of 500 NTU, and a slow mixing speed of 40 rpm. Furthermore, olluco achieved 31.20% more turbidity removal than aluminum sulfate (48.8%). During the coagulation and flocculation process, the pH and electrical conductivity did not vary significantly.

It was concluded that olluco is efficient in removing turbidity, which depends significantly on its independent variables and that it contributes to the primary process of water purification.

Keywords: Olluco, coagulation-flocculation, water purification, turbidity removal.

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Meteorológica Mundial, (1997) en el mundo sólo el 0.26% del agua es tratable para el consumo humano, para la ONU-Agua, (2019) la intensificación en la degradación ambiental, los cambios climáticos y la actividad antrópica, reducen la calidad y disponibilidad del agua, lo que representa una amenaza para el desarrollo sostenible de la humanidad.

En América Latina, la paulatina disminución anual en la calidad del agua captada de fuentes superficiales para consumo humano ha alertado a la población y a la comunidad científica, ya que los coagulantes y floculantes inorgánicos presentan limitaciones operacionales en el tratamiento de aguas con niveles medios y altos de turbidez.

Según el Ministerio del Ambiente, (2016) los fenómenos meteorológicos extremos en el Perú como las lluvias intensas o eventos como el fenómeno de El Niño, provocan huaycos, deslizamientos, inundaciones y el desbordamiento de los ríos, que por lo reportado por Hanco, (2019) pueden generar la escasez del líquido vital en ciudades abastecidas por fuentes superficiales, como en el caso de Arequipa, donde la planta de tratamiento de agua potable La Tomilla y Miguel de la Cuba Ibarra de la SEDAPAL, entre los años 2019 y 2025 suspendió el servicio de agua potable a la población, por la captación de aguas con demasiada turbidez.

Una alternativa de solución al problema es la evaluación de diferentes productos naturales que actúen como coagulantes y floculantes, reduciendo el uso de productos inorgánicos para mitigar los impactos ambientales y aumentar la operatividad de las plantas de tratamiento de agua potable.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. *DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA*

En la actualidad, en el proceso primario de potabilización del agua se utilizan coagulantes y floculantes inorgánicos que suelen ser efectivos. Sin embargo, al tratar aguas con altos niveles de turbidez se requiere de una mayor dosificación de sulfato de aluminio, que según Cogollo Flórez, (2011) presenta en la operación de una planta de tratamiento de agua potable una dificultad técnica para mantener el pH óptimo de coagulación estable, lo que ocasiona altas variaciones en los valores de turbiedad, pH, alcalinidad, dureza y aluminio residual del agua tratada, lo que conlleva una remoción ineficiente de la turbidez y como López Pérez, (2018) indica, una mayor generación y contaminación de los lodos y la posible aparición de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer en los usuarios.

Investigar otras alternativas naturales para sustituir o coadyuvar a los coagulantes y floculantes inorgánicos es una solución a largo plazo, ya que no se tendrían problemas con los parámetros de operación del proceso primario de potabilización, también se reduciría los riesgos para el consumidor por haber menos presencia de productos inorgánicos en el agua y se mitigarían los impactos ambientales provenientes de los lodos.

Para esta investigación, se evaluó el uso del olluco como coagulante y floculante del proceso primario de potabilización del agua.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

PREGUNTA GENERAL

- ¿Cuál es la efectividad del olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) como coagulante y floculante en el proceso primario de potabilización?

PREGUNTAS ESPECÍFICAS

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del olluco?
- ¿Cuál es la turbidez eliminada del agua en función de la dosis de olluco (*Ullucus tuberosus* Loz), turbidez inicial del agua, pH del agua y la velocidad lenta de mezcla?
- ¿Cuáles son las variables significativas del proceso de coagulación y floculación?
- ¿Qué dosis de olluco (*Ullucus tuberosus* Loz), turbidez inicial del agua, pH inicial del agua y la velocidad lenta de mezcla logran mayor remoción de turbidez en el proceso primario de potabilización del agua?
- ¿Cuál es la eficiencia de remoción de la turbidez del olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) en comparación con la del sulfato de aluminio?

1.2.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar al olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) como coagulante y floculante en el proceso primario de potabilización del agua.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar fisicoquímicamente al olluco.

- Determinar la turbidez eliminada en función de la dosis de olluco (*Ullucus tuberosus* Loz), turbidez inicial del agua, pH del agua y la velocidad lenta de mezcla.
- Establecer las variables significativas del proceso de coagulación y floculación.
- Determinar la dosis de olluco (*Ullucus tuberosus* Loz), turbidez inicial del agua, pH inicial del agua y la velocidad lenta de mezcla que logran mayor remoción de turbidez en el proceso primario de potabilización del agua.
- Comparar la eficiencia de remoción de la turbidez del olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) con el sulfato de aluminio.

1.3.JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

- **JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

La presente investigación pretende brindar una alternativa al uso de coagulantes y floculantes inorgánicos en la potabilización de aguas, que tienen niveles altos de turbidez por la presencia de fenómenos meteorológicos extremos, donde se dificulta el control de los parámetros de operación en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable, generando desabastecimiento de agua y según López Pérez, (2018) aumento de los riesgos para la salud de los usuarios por las posibles trazas de aluminio en el agua potable.

- **JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL**

El uso de coagulantes y floculantes naturales en el proceso primario de potabilización generan lodos biodegradables, los cuales son más amigables con el ecosistema, comparado con los lodos ricos en aluminio y hierro obtenidos de coagulantes y floculantes inorgánicos o lodos no biodegradables obtenidos de floculantes orgánicos sintéticos, ambas opciones generan una contaminación a largo plazo.

1.4.LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación cuenta con las siguientes limitaciones:

- a. No se encontró antecedentes directos donde se utilice el olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) de la variedad *Puka Lisa* como coagulante y floculante natural en el proceso primario de potabilización del agua. Se encontraron investigaciones del olluco en el área de alimentos.
- b. Solo se tomará como indicador principal de la calidad del agua a la turbidez, por ser el parámetro más afectado cuando el agua superficial sufre cambios por una condición atmosférica adversa.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1.ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. *INTERNACIONALES*

Figuroa Márquez et al, (2023) evaluó el mucilago de la tuna para el tratamiento de agua para zonas rurales en Bolivia. La investigación utilizó los parámetros de proceso de velocidad rápida de mezcla de 250 rpm por 1 min, velocidad lenta de mezcla de 40 rpm por 20 min y un tiempo de sedimentación de 1 hora y obtuvo una eficiencia de turbidez eliminada de 90.57% de una turbidez inicial de 670 NTU, con dosis de 100 mg/L, con pH de 7.20 que no se vio afectado considerablemente por el coagulante-floculante.

Gutiérrez García, (2022) estudio la moringa oleífera como coagulante en el tratamiento de agua potable por el problema que tuvo la PTAP Tundayme – Cantón El Pangui en temporales invernales, donde la turbidez del agua que captó aumento notoriamente. La investigación tuvo como parámetros una mezcla rápida de 200 rpm por 2 min y una mezcla lenta de 40 rpm por 40 min, con lo que se obtuvo una eficiencia de turbidez eliminada promedio de 97.58% de una turbidez inicial promedio de 227.33 NTU, pH inicial promedio 7.44 y una conductividad eléctrica que no varió considerablemente durante el proceso.

Oliveros Godínez, (2022) evaluó la mezcla de la molienda de semilla de mango criollo (60%) y sulfato de aluminio (40%) para el tratamiento de aguas. Para la investigación uso los parámetros de velocidad rápida de mezcla de 100 rpm por 1 min, una velocidad lenta de mezcla de 60 rpm por 15 min y un tiempo de sedimentación de 15 min, con lo que obtuvo una eficiencia

de turbidez eliminada de 91.78% de una turbidez inicial de 512 NTU y pH de 6.4 el cual no varió considerablemente durante el proceso.

Alonso Cainaba & Delgado Díaz, (2020) evaluó una alternativa al sulfato de aluminio, que por su inadecuado uso conlleva problemas ambientales y de salud para las comunidades de Colombia. Utilizó el almidón de papa criolla para la clarificación de aguas sintéticas con los parámetros de proceso de velocidad rápida de mezcla de 120 rpm por 1 min, velocidad lenta de mezcla de 40 rpm por 15 min y tiempo de sedimentación de 15 min, obtuvo una eficiencia de 98.70% de una turbidez inicial de 801 NTU, dosis de 500 mg/L, pH de 5 el cual no varió considerablemente durante el proceso.

Jaramillo Peralta, (2017) evaluó al garbanzo como coagulante y floculante por la falta de agua de calidad en las comunidades marginales de Colombia. Determinó que el 8.8% del garbanzo estuvo compuesto de los aminoácidos ác. glutámico, ác. aspártico, lisina, arginina e histidina, que hacen que las proteínas actúen como polielectrolitos que contribuyen como coagulantes y floculantes. La investigación utilizó los parámetros de proceso de velocidad rápida de mezcla de 150 rpm por 2 min, velocidad lenta de mezcla de 45 rpm por 25 min y un tiempo de sedimentación de 30 min y obtuvo del estudio una eficiencia de turbidez eliminada de 99.45%, con una turbidez inicial de 492 NTU, dosis de 110 mg/L y pH de 7 el que no se vio afectado considerablemente por el coagulante natural.

2.1.2. NACIONALES

Melgarejo Salazar, (2023) evaluó el *Opuntia ficus indica* para el tratamiento de aguas, usó los parámetros de proceso de velocidad rápida de mezcla de 150 rpm por 5 min, velocidad lenta de mezcla de 20 rpm por 20 min y un tiempo de sedimentación de 60 min y obtuvo una eficiencia

de turbidez eliminada de 91% de una turbidez inicial de 534 NTU, con dosis de 110 mg/L, pH de 6 que no se vio afectado considerablemente por el coagulante-floculante.

Alvarez Ancalla & Ccahua Ocon, (2021) obtuvo una eficiencia de turbidez eliminada para los biocoagulantes *Echinopsis peruviana* de 82.7% y *Opuntia ficus-indica* de 83.8%, de una turbidez inicial de 500 NTU, dosis de 90 mg/L, pH de 7.5, velocidad de mezcla de 30 rpm por 20 min y un tiempo de sedimentación de 30 min. La investigación describe también que cuando se utilizó un pH de 7.5 el pH final incremento levemente y cuando se utilizó el pH de 8.5 disminuyo levemente el pH final.

López Díaz & López Castro, (2020) evaluó la cáscara de cacao como alternativa para el tratamiento de aguas, con agitaciones lentas de 20 a 40 rpm y parámetros de proceso de velocidad rápida de mezcla de 150 rpm por 1 min, tiempo de mezcla lenta de 30 min y un tiempo de sedimentación de 60 min. De la investigación se obtuvo una eficiencia de turbidez eliminada 98.99% de una turbidez inicial de 50 NTU, con dosis de 60 mg/L con pH de 11.5 y velocidad lenta de mezcla de 40 rpm.

Arenaz Díaz, (2019) evaluó la *Moringa oleifera* para la mejora de los procesos de coagulación y floculación en el tratamiento de aguas, usó los parámetros de proceso de velocidad rápida de mezcla de 300 rpm por 1 min, velocidad lenta de mezcla de 40 rpm por 40 min y un tiempo de sedimentación de 25 min y obtuvo del estudio una eficiencia de turbidez eliminada de 89.12%, de una turbidez inicial de 500 NTU, con pH de 7 que no se vio afectado considerablemente por el coagulante y floculante.

López Pérez, (2018) evaluó el *Opuntia ficus-indica* como una alternativa de coagulante para el tratamiento de aguas, para la investigación usó valores de turbidez inicial de 100 a 500

NTU con parámetros de proceso de velocidad rápida de mezcla de 100 rpm por 1 min, velocidad lenta de mezcla de 30 rpm por 20 min y un tiempo de sedimentación de 20 min. De la investigación se obtuvo una eficiencia de turbidez eliminada de 86% de una turbidez inicial de 500 NTU con una dosis de 90 mg/L a un pH de 9, que tuvo una leve disminución en el pH final y referente a la conductividad eléctrica final presenta un leve incremento por los polímeros que contiene el coagulante natural. Los resultados de la investigación también indicaron que el sulfato de aluminio como coagulante y floculante disminuía significativamente el pH final cuando se usaba sobre una turbidez inicial alta, por la hidrólisis del coagulante en el agua, referente a la conductividad eléctrica final esta aumenta considerablemente por la solubilización del sulfato de aluminio a un pH de 8.30.

2.2.BASES TEÓRICAS

2.2.1. OLLUCO PUKA LISA

- **CLASIFICACIÓN Y MORFOLOGÍA**

El olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) es una especie tuberosa de la familia basellaceae, originaria de la región andina, es la única especie del género botánico monotípico, perteneciente a la familia basellaceae que habita en los fríos parajes de la región andina y cuya raíz produce tubérculos comestibles y ricos en almidón (Arbizu, 2003).

El olluco es una planta perenne que puede alcanzar hasta 50 cm de altura. Las variedades cultivadas tienen tallos cortos y compactos, mientras que las silvestres presentan tallos largos y delgados. Existe una correspondencia entre el color de los tallos y los tubérculos, observándose tallos rojos en plantas nacidas de tubérculos rojizos o púrpuras, y tallos verdes en plantas nacidas de tubérculos amarillos. También pueden brotar tallos de diferentes colores desde un mismo

tubérculo. Marquez Mendoza, (2019) así mismo indica la clasificación taxonómica del olluco realizada por Arthur Cronquist en el año 1989, como se detalla:

- Reino: Vegetal
- Sub-reyno: Embrionta
- Division: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Sub-clase: Caryophyllidae
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Basellaceae
- Género: Ullucus
- Especie: Tuberosus
- N.C: Ullucus tuberosus loz.

En la Tabla 1, se aprecia los resultados del análisis fisicoquímico realizado por Marquez Mendoza, (2019) del olluco de la variedad *Puka Lisa*.

Tabla 1

Análisis fisicoquímico del olluco de la variedad Puka Lisa.

Componente	1
Humedad %	85.95
Proteína %	1.17
Grasa %	0.15
Ceniza %	0.86
Fibra %	0.9
Carbohidratos %	11.87
Energía Kcal/100	49.91
Calcio mg/100	6.5
Fosforo mg/100	35.1
Hierro mg/100	3.6
Mucilago%	4.78

Fuente: La tabla se desarrolló de acuerdo con lo detallado por Marquez Mendoza, (2019).

En Figura 1, se muestra una variedad de olluco *puka lisa* de la provincia de Challabamba, Paucartambo, Cusco, cuyo color es rojizo purpura y generalmente tienen una forma redonda. (Manrique et al, 2017).

Figura 1

Olluco Puka Lisa



Fuente: Manrique et al, (2017) Tubérculo de ulluco de color púrpura rojizo.

2.2.2. AGUA POTABLE

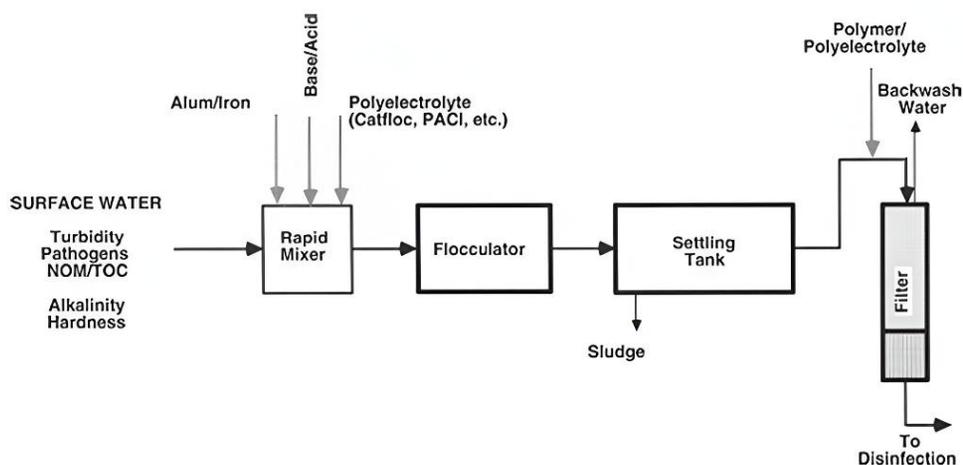
Barba Ho, (2002) define al agua como la sustancia más difundida, abundante y parte integrante de la mayoría de los seres vivientes del mundo. En su investigación afirma que el agua potable es fundamental para el florecimiento de las civilizaciones. Según el Ministerio de Salud, (2011), el agua potable es toda agua apta para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal.

Para potabilizar el agua, es necesario someterla a una serie de tratamientos básicos que incluyen clarificación, desinfección y ajustes químicos y organolépticos como se aprecia en la Figura 2. Según Acevedo Zabaleta, (2012) el proceso primario de potabilización de agua abarca la coagulación, floculación y sedimentación, un método que permite aglomerar las partículas

presentes en el agua, formando masas más densas que el agua. Esto facilita el proceso de sedimentación, logrando que el agua alcance las condiciones necesarias para el consumo humano (Cachay, 2021).

Figura 2

Diseño convencional de una planta de tratamiento de agua potable.



Fuente: Adaptado del capítulo plantas convencionales de agua potable de Newcombe, (2006).

Para el proceso de coagulación y floculación la EPS SEDALORETO S.A., (2015) indica que, para la dosificación del coagulante y floculante, se evalúa el caudal y la turbidez (como principal indicador de calidad del agua). Adicionalmente indica que el agua presenta características variables y que se ven afectados por fenómenos naturales como las lluvias, por lo que antes de ser sometidas a tratamiento, deben ser caracterizadas por análisis diarios que observen cambios en la turbidez, para proporcionar el tratamiento adecuado. Esto se alinea a lo que describe la Norma OS.020 que indica que las aguas destinadas al consumo humano que no cumplan con los estándares de calidad establecidos en las Normas Nacionales de Calidad de Agua vigentes deberán ser sometidas a tratamientos adecuados. A su vez, en dichos procesos no se permitirá el uso de

sustancias que puedan generar efluentes con efectos perjudiciales para la salud (Ministerio de vivienda, 2006).

El Ministerio de Salud, (2011) establece 17 parámetros para la calidad organoléptica del agua como el olor, sabor, color, turbiedad, pH, conductividad eléctrica, solidos totales disueltos, cloruros, sulfatos, dureza total, amoniac, hierro, manganeso, aluminio, cobre, zinc y sodio.

- **Turbidez**

Según Alonso Cainaba & Delgado Díaz, (2020), la turbidez es una propiedad física del agua que indica la cantidad de partículas en suspensión o coloides, que son partículas pequeñas menores al micrón de diámetro y que tienen una carga primaria positiva o negativa, que pueden ser de naturaleza inorgánica como arcillas, fangos, y óxidos minerales que provienen de la erosión del suelo y otras son de naturaleza orgánica como bacterias, parásitos, algas, zooplancton, ácidos fúlvicos y coloides húmicos. Gutiérrez García, (2022) define que la turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

- **pH**

Para Gutiérrez García, (2022), el pH es la concentración de iones hidrógeno de un líquido, que varía en un rango de 0-14, donde 7 es el rango neutro, un pH menor a 7 indica acidez y un pH mayor a 7 indica alcalinidad del agua.

- **Conductividad eléctrica**

Según Alonso Cainaba & Delgado Díaz, (2020), la conductividad eléctrica es una propiedad que tienen las soluciones acuosas para transportar corriente eléctrica, que depende de la concentración de sustancias ionizadas disueltas y la temperatura. El valor de conductividad se

utiliza para obtener un estimado del contenido de sólidos disueltos en la solución acuosa. Su unidad de medida es el $\mu\text{S}/\text{cm}$ que es equivalente a $\mu\text{mho}/\text{cm}$.

2.2.3. COAGULACIÓN

El propósito principal de la coagulación es alterar la estabilidad de las partículas coloidales en suspensión mediante una desestabilización química. Esto se logra neutralizando las fuerzas que las mantienen separadas, agregando coagulantes y aplicando energía de mezclado. Este proceso favorece la formación de agrupaciones de partículas, lo que permite eliminar las materias en suspensión. La coagulación no solo reduce la turbidez, sino que también disminuye la concentración de materia orgánica y microorganismos (Andía Cárdenas, (2000)).

Los coagulantes naturales presentan principalmente dos mecanismos de coagulación: adsorción con neutralización de carga y formación de puentes de polímero (Wei Lun & Abdul Wahab, 2020). Las partículas coloidales, pueden ser hidrófilas (afines al agua) o hidrófobas (repelentes al agua). Los coloides hidrófilos, como sustancias orgánicas naturales, son más difíciles de coagular debido a su envoltura de agua. Por el contrario, los coloides hidrófobos, como la sílice y las arcillas, están estabilizados por cargas eléctricas y son más susceptibles a la coagulación (Benalia et al, (2024)).

2.2.4.1. MECANISMOS DE COAGULACIÓN

- **Adsorción y neutralización de cargas**

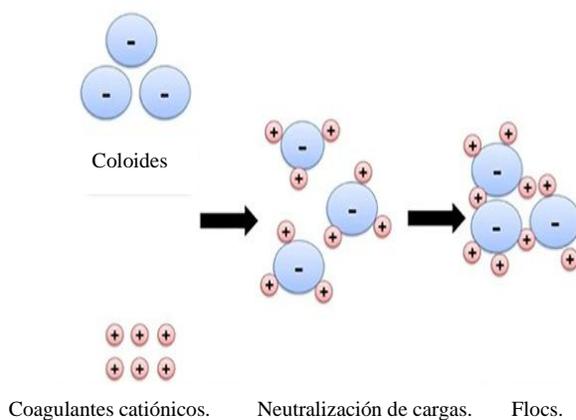
Según Benalia et al, (2024), la desestabilización coloidal por adsorción implica la reducción de la repulsión electrostática a través de la adsorción de especies iónicas de carga opuesta. Esto reduce la repulsión entre las partículas, facilitando su aglomeración. La desestabilización por adsorción es más eficiente que por compresión de doble capa, requiriendo

menos dosis de coagulantes. Generalmente, los coloides tienen carga negativa, neutralizada por iones positivos que forman una doble capa alrededor de las partículas. En el proceso de neutralización de carga, un polímero ionizable desestabiliza las partículas coloidales, logrando un potencial zeta cercano a cero con dosis óptimas de polielectrolito.

En la Figura 3 se aprecia el mecanismo de corrección electrostática, que implica áreas de carga negativa y positiva en las partículas, induciendo una mayor atracción y correcta alineación de las cargas opuestas.

Figura 3

Adsorción y neutralización de carga.



Fuente: Adaptado de adsorción y neutralización de carga de Benalia et al, (2024)

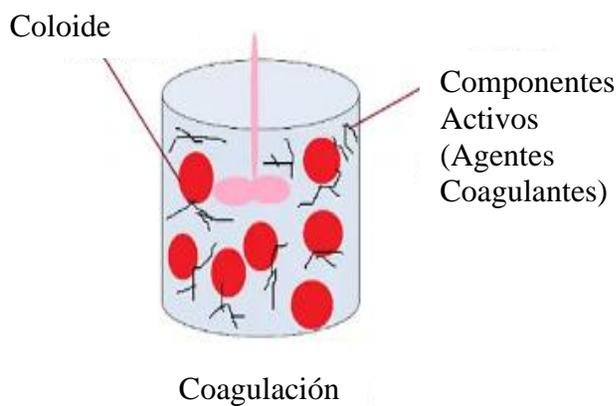
- **Adsorción y puente**

Para Benalia et al, (2024) los compuestos naturales como la celulosa, el almidón, las proteínas y los polisacáridos, junto con numerosos polímeros sintéticos, tienen propiedades coagulantes debido a su gran masa molecular y a las diversas cargas eléctricas dispersas a lo largo de sus cadenas. La adsorción de polímeros, que precede a la formación de puentes entre ellos, implica la unión de polímeros de cadena larga a la superficie de las partículas coloidales debido a

su afinidad. Solo algunas partes del polímero se adhieren a la superficie, mientras que el resto forma colas y bucles. La estructura enlazante de los polímeros, con sus bucles y colas, permite la unión de las partículas coloidales entre sí, formando flóculos más grandes, como se aprecia en la Figura 4. Es crucial que la superficie de las partículas esté suficientemente desocupada para facilitar esta unión efectiva. Para superar la repulsión entre partículas, se añade una dosis suficiente de polímero a través de un coagulante natural, garantizando suficientes enlaces de puente y áreas desocupadas en las partículas para una buena unión.

Figura 4

Adsorción y formación de puentes



Fuente: Adaptado de adsorción y formación de puentes de Benalia et al, (2024)

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN

- **Influencia de la velocidad rápida de mezcla**

La velocidad de coagulación es crucial para optimizar la eliminación de contaminantes del agua durante el proceso de coagulación-floculación (Zheng et al, 2011).

Tras agregar el coagulante al agua a tratar, se aplica una agitación rápida para dispersar el coagulante y homogenizar la mezcla agua-coagulante. La agitación intensa previene la agregación

de partículas, mientras que una agitación prolongada rompe los enlaces entre el coagulante y las partículas coloidales, causando que los segmentos se plieguen sobre la superficie de las partículas (Muyibi & Evison, 1995).

- **Influencia del tiempo rápido de mezcla**

La mezcla rápida es crucial en los procesos de coagulación, donde se producen las reacciones de desestabilización y se forman las partículas iniciales de flóculos que afectan la floculación posterior. Este proceso es enérgico y breve, durando hasta 60 segundos, y tiene como objetivo distribuir completamente el coagulante en el agua a tratar (Andía Cárdenas, 2000).

- **Influencia del pH**

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo, como el que Benalia et al, (2024) obtuvo del uso de Aloe vera como bio coagulante en el tratamiento de aguas residuales, que usó un rango de pH inicial de 2 a 12 y que logró la mayor remoción de turbidez con un pH de 12 (medio básico).

Según Andía Cárdenas, (2000) el rango de pH depende del tipo de coagulante utilizado y de la naturaleza del agua turbia.

- **Influencia de la dosis del coagulante**

Según Abderrezzaq & Keroum, (2015), la cantidad de coagulante utilizada es un factor crucial en el proceso de bio-coagulación, ya que influye en la interacción entre el coagulante y las partículas coloidales presentes en el agua. La adición de coagulante disminuye la turbidez y otros parámetros del agua. Esto se debe a que las partículas de coagulante desestabilizan los coloides con carga negativa en el agua, neutralizando las cargas que causan las fuerzas repulsivas entre los

coloides. Sin embargo, una sobredosis de coagulante puede re-estabilizar las partículas coloidales y evitar la formación de puentes entre ellas, resultando en una remoción deficiente de la turbidez. La dosis óptima del coagulante se determina en el laboratorio mediante la técnica experimental de la prueba de jarras.

- **Influencia de tipo de coagulante**

Para Syah & Fitria, (2023) el tipo de coagulante ya sea químico o natural, impacta significativamente en la coagulación y floculación. Estos coagulantes pueden emplearse solos o en combinación con otros para mejorar la eficiencia del proceso. Los coagulantes químicos y orgánicos tienen diferentes roles en la estabilización de partículas suspendidas y en la promoción de la formación de flóculos; por ejemplo, los coagulantes químicos tienden a formar flóculos más pequeños y menos resistentes, mientras que los coagulantes orgánicos facilitan la creación de flóculos más grandes y robustos.

Además, Desjardins, (2007) describe la naturaleza de los coagulantes orgánicos (como frutos y hojas), que por su estructura química y tipo de agente coagulante (proteínas, taninos, etc.) presentan mecanismos específicos para interactuar con la turbidez en el proceso de coagulación y floculación.

- **Influencia de la turbidez inicial**

Nkurunziza et al, (2009), afirma que la turbidez inicial es un factor que influye en la eficiencia de la floculación durante la coagulación, pero que este incremento en la turbidez inicial según Abderrezzaq & Keroum, (2015), requiere un incremento en la dosis de coagulante. Por otra parte, Muyibi & Evison, (1995) afirma que un aumento en la turbidez inicial mejora la eficiencia de la coagulación, ya que el agua con baja turbidez es generalmente difícil de coagular debido a la

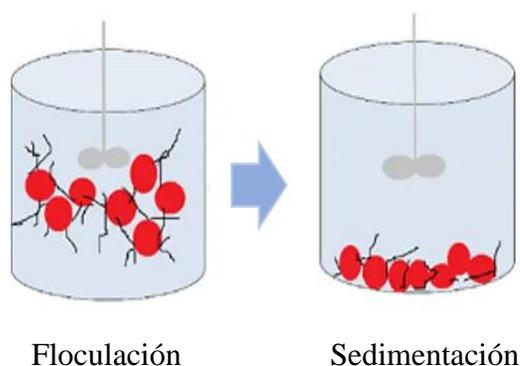
baja concentración de partículas estables, y por eso a veces se añade turbidez artificialmente (como arcillas) para formar grumos más pesados que puedan estabilizarse.

2.2.4. FLOCULACIÓN

Según Andía Cárdenas, (2000) la floculación consiste en agitar la masa coagulada para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos, aumentando su tamaño y peso para facilitar su sedimentación como se aprecia en la Figura 5. Los flóculos pequeños se unen para formar aglomerados mayores capaces de sedimentar.

Figura 5

Floculación y sedimentación.



Fuente: Adaptado de adsorción y formación de puentes de Benalia et al, (2024)

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN.

- **Influencia del tiempo de mezcla lenta.**

Según Dominguez Amorocho, (2010) el tiempo de mezcla lenta es directamente proporcional a la rapidez con que se aglomeran los coloides en los floculadores, no lográndose resultados favorables si el tiempo de mezcla está por encima o por debajo del óptimo. En este sentido Aldana Rivera, (2012) menciona el tiempo óptimo de mezcla oscila entre 20 y 40 minutos.

- **Influencia de la velocidad lenta de mezcla.**

Según Andía Cárdenas, (2000) la floculación es favorecida por una agitación lenta que permite la formación gradual de los flóculos. Una agitación intensa puede romperlos y dificultar su formación en el tamaño y fuerza óptimos. Además, de aumentar el tamaño de los flóculos, la floculación incrementa su peso.

También Aldana Rivera, (2012) señala que con una velocidad lenta de mezcla se reduce la fragmentación de los flóculos.

2.2.5. PRUEBA DE JARRAS

Andía Cárdenas, (2000) define que la prueba de jarras es un ensayo de laboratorio que simula los procesos de coagulación y floculación de una planta de tratamiento de agua real. El método de prueba de jarras permite determinar la selección de coagulante, selección del pH óptimo, gradientes y tiempos de mezcla lenta y rápida, la correlación de las velocidades de sedimentación y la obtención de la mejor eficiencia de remoción.

La ASTM Standards, (2009) propone el método ASTM D2035-08, que es un procedimiento estandarizado para realizar la prueba de jarras, que tiene como procedimiento general:

- Preparación de las jarras, se llena las jarras con volúmenes iguales de muestra de agua.
- Adición de los reactivos, se añade los coagulantes y floculantes en dosis específicas a cada jarra.
- Mezclado rápido, se agita las jarras a alta velocidad por un tiempo para dispersar los reactivos y desestabilizar las cargas.

- Mezclado lento, se reduce la velocidad de agitación y se mezcla por un tiempo para permitir la formación de los flóculos.
- Sedimentación, se deja por un tiempo para que los flóculos sedimenten en el fondo de las jarras.
- Evaluación, se mide la turbidez final, el pH y la conductividad eléctrica para determinar la eficiencia del tratamiento.

La medición de la turbiedad se realizó con el método nefelométrico, que utilizó Cahuata Corrales & Borda Choque, (2021) donde midió, en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), con un turbidímetro la luz diseminada por una muestra problema.

La medición del pH se realizó con el método EPA150.1, que según (NPDES, 1982) es un procedimiento estándar utilizado para determinar pH de muestras de agua potable, superficial, salina, doméstica utilizando un pH con un electrodo de vidrio combinado con un potencial de referencia o un electrodo combinado.

2.3.HIPOTESIS

El olluco como coagulante y floculante es efectivo en la remoción de turbidez y depende significativamente de la dosis de olluco, turbidez inicial del agua, pH del agua y velocidad lenta de mezcla.

CAPITULO III

La investigación se realizó en el Laboratorio de Tecnologías de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO

3.1.1. *ENFOQUE*

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, porque se recolectó los datos a través de mediciones numéricas con una metodología secuencial y probatoria, para confirmar la hipótesis a través de un análisis estadístico, con el fin de establecer pautas del comportamiento del proceso (Hernández Sampieri et al, 2014).

3.1.2. *TIPO DE INVESTIGACIÓN*

La investigación es de tipo básico.

3.1.3. *DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN*

La investigación tuvo un diseño experimental.

3.1.4. *ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN*

El alcance de la investigación es explicativo, porque se manipulan las variables independientes dosis de olluco, pH, turbidez inicial y velocidad lenta de mezcla sobre la variable dependiente turbidez eliminada.

3.2. MATERIALES

3.2.1. *MATERIALES Y OTROS*

- Rallador.

- Cuchillo.
- Jeringas de 20 ml.
- Recipiente de plástico de 20 Litros.
- Malla Tyler N° 100 – Cod. 89902.
- Pipetas de 10 ml.
- Pipeteador tipo cremallera.
- Matraz de 100 ml.
- Mortero de laboratorio con pistilo en porcelana.
- Vasos de precipitados.
- Placas de Petri.
- Espátula cuchara plana.

3.2.2. INSTRUMENTOS

- Turbidímetro Lutron TU-2016.
- pH-metro HACH EC20.
- Balanza EUROTECH FSF-A2204B.
- Cronómetro.

3.2.3. EQUIPOS

- Equipo de Prueba de jarras DAIHAN SCIENTIFIC JT-M6C.

3.2.4. REACTIVOS QUÍMICOS

- Caolinita – Punto de acopio Caolín WA 19959.

- Na(OH) - Sodio hidróxido en lentejas puro EMPLURA - 100% - Millipore.
- HCl – Ácido clorhídrico - 37.4% - SIGMA.
- Sulfato de aluminio tipo A -57%-Pantera.

3.3. MUESTRA

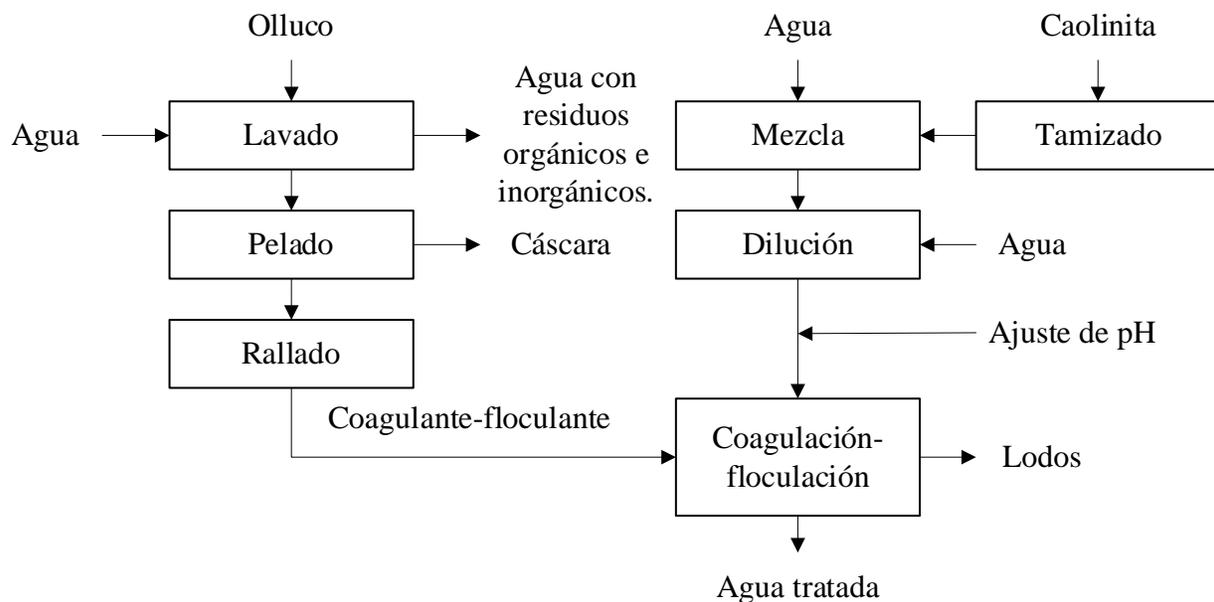
La muestra estuvo constituida por el olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) de la variedad *Puka Lisa*.

3.4. METODOS

Con el diagrama de flujo del proceso, que se aprecia en la Figura 6, se ejecutó todas las etapas de la investigación de manera ordenada y secuencial, lo que garantizó la obtención de los resultados.

Figura 6

Diagrama de flujo del proceso de coagulación y floculación.



3.4.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRA

Se viajó al Distrito de Zurite de la Provincia de Anta, Cusco donde se escarbo y recolecto 1.5 kg de muestra de la parcela con código 409/010774 de la Estación Experimental Andenes del Banco de Germoplasma del INIA, como se aprecia en la Figura 7.

Figura 7

Recolección de la muestra.



3.4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

Para conocer las propiedades físicas y químicas de la muestra, se realizó un análisis fisicoquímico en el Laboratorio de Análisis Químico de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. El análisis tuvo como objetivo prioritario el de cuantificar la cantidad de humedad, proteínas y carbohidratos en la muestra. Los métodos utilizados fueron:

- Método AOAC 964.22 - Determinación de humedad: Este método se basó en el principio de secado por calentamiento. Consistió en pesar una muestra, secarlo en un horno a una temperatura específica y luego pesarlo nuevamente. La diferencia entre ambos pesos corresponde a la cantidad de agua que se evaporó.

- Método AOAC 955.04 - Determinación de nitrógeno total y proteína: Este método buscó determinar la cantidad total de nitrógeno de la muestra, principalmente utilizando el método Kjeldahl. Este proceso implica digerir la muestra con ácido sulfúrico para convertir el nitrógeno orgánico en amonio sulfato. Luego, el amoníaco liberado por la adición de álcali se destila y se recoge en una solución valorada de ácido bórico o sulfúrico. Finalmente, se titula el amoníaco recogido para cuantificar el nitrógeno total. La cantidad de proteína se estima multiplicando el contenido de nitrógeno por un factor específico.
- Método AOAC 920.39 - Determinación de grasa cruda: Este método se basó en el principio de extracción con solvente. Consistió en pesar una muestra, extraer los lípidos con un solvente orgánico, generalmente éter de petróleo, en un extractor Soxhlet, evaporar el solvente y luego pesar el residuo. La diferencia entre el peso inicial y el peso del residuo corresponde a la cantidad de grasa cruda extraída.
- Método AOAC 942.09 - Determinación de cenizas crudas: Este método se basó en el principio de incineración. Consistió en pesar una muestra, incinerarla en un horno mufla a una temperatura específica, generalmente de 550°C, enfriar y luego pesar el residuo. El residuo corresponde a la cantidad de cenizas crudas presentes en la muestra.
- Los carbohidratos totales de la muestra se calcularon de la resta del 100% menos los porcentajes de humedad, proteína, grasa y ceniza.

De acuerdo con la información que proporcionó el análisis fisicoquímico de la muestra, se procedió a evaluar el potencial de la muestra como coagulante y floculante.

Para ello se realizó un análisis de perfil de aminoácidos con el laboratorio AGQ Perú S.A.C., el objetivo fue de encontrar la presencia de los aminoácidos aniónicos como el Ac. glutámico y Ac. aspártico, y aminoácidos catiónicos como la lisina, arginina e histidina que, según Jaramillo Peralta, (2017), son aminoácidos que tienden a encontrarse en la superficie de las moléculas de proteínas con carga positiva y negativa, volviendo a la proteína en un polielectrolito, que contribuye al proceso de coagulación y floculación. El método utilizado por el laboratorio fue el HPLC/UV-VIS, que es una combinación de la:

- Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC), método que consiste en separar, identificar y cuantificar los componentes de una mezcla compleja, haciendo pasar una muestra disuelta en un líquido (fase móvil) a través de una columna que contiene un material sólido (fase estacionaria). Los componentes de la muestra interactúan de manera diferente con la fase estacionaria, lo que hace que se muevan a través de la columna a distintas velocidades. Esta diferencia en la velocidad permite separar los componentes de la mezcla.
- Espectroscopia Ultravioleta-Visible (UV-VIS): Es una técnica que mide la absorción de luz ultravioleta y visible por parte de una sustancia. Cada sustancia absorbe la luz de manera característica, lo que permite identificarla.

Se realizó la cuantificación de almidón en el laboratorio Service Lab Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. El método utilizado por el laboratorio fue el AOAC 925.38 21st Edition, que implicó las reacciones químicas del olluco con ácido perclórico y yodo-yoduro para luego, después del tiempo de lectura en un espectrofotómetro a 600 nm frente a un blanco, se anotó la absorbancia obtenida que determinó la cantidad de almidón en la muestra.

3.4.3. PROCESO DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN

El proceso de coagulación, floculación y sedimentación se realizó en el equipo de jarras con muestras de 1 litro, considerando los parámetros recomendados por la RM N° 647-2010-MINSA, 2011, RNE-DS N°024-2009, 2009 y parámetros usados en plantas de tratamiento de agua potable en operación como la EPS SEDALORETO S.A., (2015), los parámetros se muestran en Tabla 2:

Tabla 2

Parámetros de proceso de coagulación y floculación.

Parámetros del proceso	Valor
Volumen del agua turbia	1 litro
Velocidad rápida de mezcla	100 rpm
Tiempo de mezcla rápida	1 min
Tiempo de mezcla lenta	20 min
Tiempo de sedimentación	10 min
Temperatura	Ambiente

VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Dosis de olluco (D): mg/L.
- Turbidez inicial presente en el agua sintética (Ti): NTU.
- pH del agua (pH).
- Velocidad lenta de mezcla para la floculación (V): rpm.

VARIABLE DEPENDIENTE:

- Turbidez eliminada (Te): NTU.

Se selecciono el nivel mínimo de dosis de muestra de la investigación de López Díaz, (2020) quien obtuvo la mejor eficiencia de remoción de turbidez con una dosis de 60 mg/L para una turbidez inicial aproximada a 100 NTU y se seleccionó el nivel máximo de dosis de muestra de las investigaciones de Jaramillo Peralta, (2017), Figueroa Márquez et al, (2023), Melgarejo Salazar, (2023), Alvarez Ancalla & Ccahua Ocon, (2021) y López Pérez, (2018) que con una media de dosis de 100 mg/L obtuvieron las mejores eficiencias de remoción con una turbidez inicial aproximada a 500 NTU.

El pH mínimo de 6.5 y máximo de 8.5 se basó en lo establecido por el Ministerio de Salud, (2011).

El nivel mínimo y máximo para la turbidez inicial se basó en la investigación de López Pérez, (2018) que trabajo con turbidez de 100 a 500 NTU, también Arenas Diaz, (2019) en su trabajo uso 500 NTU como nivel máximo de turbidez, los valores fueron congruentes con lo que informó la EPS SEDAPAR S.A., (2021) sobre la PTAP la Tomilla, que en época de avenida, tuvo una captación de agua con nivel de turbidez de 100 a 400 NTU, con una tendencia de aumento en el tiempo.

El nivel mínimo y máximo para la velocidad lenta de mezcla se basó en la investigación de López Díaz, (2020) que uso velocidades de agitación lenta de 20 a 40 rpm, también la EPS SEDALORETO S.A., (2015) indicó un nivel máximo de velocidad lenta de mezcla de 40 rpm.

Los variables independientes y niveles se aprecian en la Tabla 3:

Tabla 3

Variables independientes y sus niveles.

Variables independientes (Factores)	Nivel mínimo	Nivel máximo	Niveles
Dosis de muestra	60	100	2
pH	6.5	8.5	2
Turbidez inicial	100	500	2
Velocidad lenta de mezcla	20	40	2

Se calculo con la Ecuación 1 detallada por Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, (2004) y MINITAB, (2025), el número de corridas necesarias para el diseño factorial de cuatro factores (Ecuación 2).

$$N_F = 2^k \dots\dots\dots (1)$$

Nota: N_F = número de corridas, 2=número de niveles, k = número de factores.

$$N_F = 2^4 = 16 \dots\dots\dots (2)$$

Se desarrollo en la Tabla 4 el diseño factorial de 16 corridas (Ecuación 2).

Tabla 4*Diseño factorial*

D (mg/L)	pH	Ti (NTU)	V (rpm)	Interacción
-1	-1	-1	+1	-1
-1	-1	+1	-1	-1
-1	+1	-1	+1	+1
+1	-1	-1	+1	+1
+1	-1	+1	+1	-1
+1	+1	-1	+1	-1
+1	-1	+1	-1	+1
+1	+1	-1	-1	+1
-1	-1	+1	+1	+1
-1	+1	+1	-1	+1
+1	+1	+1	+1	+1
+1	+1	+1	-1	-1
+1	-1	-1	-1	-1
-1	+1	-1	-1	-1
-1	+1	+1	+1	-1
-1	-1	-1	-1	+1

Nota: Dosis de olluco (D), turbidez inicial (Ti), velocidad lenta de mezcla (V).

Para el desarrollo del diseño factorial fraccionado, se tomó la fracción principal o interacciones positivas de la Tabla 4 como lo indica Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, (2004) y MINITAB, (2025), el número de corridas se calculó con la Ecuación 3 detallada por Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, (2004) y Rosero Barzola, (2021), que tuvo como resultado el de 8 corridas (Ecuación 4).

$$N_{FF} = 2^{k-1} \dots\dots\dots (3)$$

Nota: N_{FF} = número de corridas, 2=número de niveles, k = número de factores.

$$N_{FF} = 2^{4-1} = 8 \dots\dots (4)$$

Se determinó el número de corridas para la investigación añadiendo tres puntos medios al resultado de la Ecuación 4 para visualizar de mejor forma los efectos de las variables, la suma tuvo como resultado 11 corridas como se aprecia en la Ecuación 5.

$$N = 8 + 3 = 11 \dots\dots\dots(5)$$

Nota: N = número de corridas para la investigación.

Se obtuvo el diseño factorial fraccional con 3 puntos medios que se aprecia en la Tabla 5.

Tabla 5

Diseño factorial fraccionado con 3 puntos medios

D (mg/L)	pH	Ti (NTU)	V (rpm)	Interacción
-1	+1	-1	+1	+1
+1	-1	-1	+1	+1
+1	-1	+1	-1	+1
+1	+1	-1	-1	+1
-1	-1	+1	+1	+1
-1	+1	+1	-1	+1
+1	+1	+1	+1	+1
-1	-1	-1	-1	+1
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Nota: Dosis de olluco (D), turbidez inicial (Ti), velocidad lenta de mezcla (V).

Con la finalidad de calcular el error experimental entre las medidas de cada una de las corridas, se realizó por triplicado, el resultado fue la ejecución de 33 corridas.

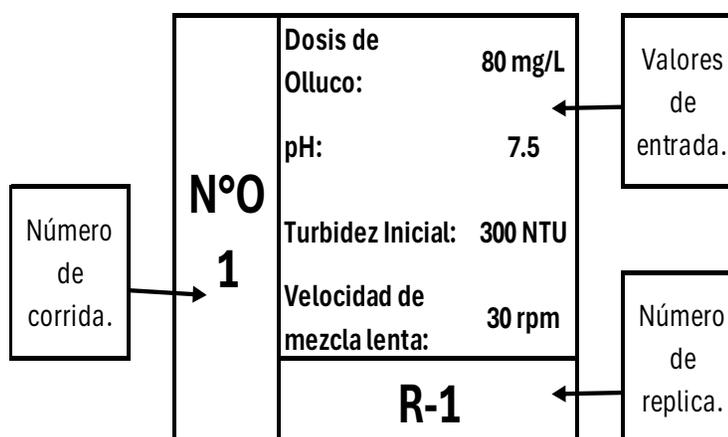
El proceso de coagulación, floculación y sedimentación se realizó en el equipo de prueba de jarras, usando el método ASTM D2035-08 y el plan experimental que se aprecia en el Tabla 6.

Tabla 6*Plan experimental*

N° de Corrida	D (mg/L)	pH	Ti (NTU)	V (rpm)	Tf (NTU)	Te (NTU)	%Te (%)
1	80	7.50	300	30			
2	100	8.50	100	20			
3	60	8.50	100	40			
4	60	6.50	100	20			
5	60	6.50	500	40			
6	60	8.50	500	20			
7	100	6.50	100	40			
8	100	6.50	500	20			
9	100	8.50	500	40			
10	80	7.50	300	30			
11	80	7.50	300	30			

Nota: Dosis de olluco (D), turbidez inicial (Ti), velocidad lenta de mezcla (V), turbidez final (Tf), turbidez eliminada (Te), porcentaje de turbidez eliminado (%Te).

Cada corrida fue distinguida con un rotulo como se aprecia en la Figura 8.

Figura 8*Rotulo de muestra.*

Para preparar la solución patrón de agua sintética, primero se molió la caolinita y tamizó con malla Tyler N° 140, que se aproximó a la malla que utilizó López Vidal, (2022), se adaptó la metodología de López et al, (2011) citado por Aranda Tipismana & Esquia Zelaya, (2021), que consistió en colocar la caolinita tamizada en un recipiente de 20 litros, se añadió agua y se agitó de manera constante por 30 minutos, se dejó reposar por un día (ver Fig.9) después se trasvaso a otro envase evitando que se mezcle con los sólidos sedimentados. Se diluyó con agua la solución patrón de agua sintética de manera controlada a través de mediciones repetitivas usando el método nefelométrico con el turbidímetro Lutron TU-2016, el cual se calibró antes de realizar la medición con los patrones base de 0 y 100 NTU, hasta que se obtuvo las muestras de agua sintética con niveles de 100, 300 y 500 NTU de turbidez.

Figura 9

Preparación de agua sintética.



En la Figura 10 se aprecia el ajuste del pH, donde se agregó a las muestras de agua sintética, con una pipeta de vidrio de 10 ml y un pipeteador tipo cremallera, pequeñas cantidades de solución de ácido clorhídrico 1 molar (HCl) e hidróxido de sodio 1 molar (NaOH), para llegar a los niveles de pH de 6.5, 7.5 y 8.5. La medición se realizó usando el método EPA 150.1 con el pH metro HACH EC20, que previamente se calibro con las soluciones buffer de 4.01, 7.01 y 10.01.

Figura 10

Ajuste de pH



Se colocó en los vasos de precipitados de 1 litro, de acuerdo con el rotulo, las diferentes muestras de agua sintética con el pH ajustado.

Para la medición de la conductividad eléctrica inicial (CEi) se sumergió el electrodo, que se enjuagó y secó con agua destilada y papel absorbente, del conductímetro Lutron YK-2001PHA en cada muestra de agua sintética. Se esperó hasta que la lectura se estabilice y se anotó el valor de respuesta.

En la Figura 11, se aprecia como se preparó el coagulante y floculante de la muestra, utilizando operaciones unitarias de lavado con agua, secado al medio ambiente, pelado y rallado.

Figura 11

Preparación de la muestra.



Se pesó el olluco antes y después del pelado para determinar el rendimiento del olluco a través de la Ecuación 6:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso del olluco pelado}}{\text{Peso del olluco antes de pelar}} * 100\% \dots\dots (6)$$

El rallado se ejecutó hasta alcanzar una textura parecida a una pasta homogénea y viscosa como se aprecia en la Figura 12.

Figura 12

Coagulante y floculante de la muestra.



Para determinar la masa de muestra necesaria para conseguir las dosis de 60, 80 y 100 mg/L, se realizaron los cálculos utilizando la Ecuación 8 y se usó como base los 5.1 gramos de almidón presentes en 100 gr de muestra (ver Tabla 9), ya que el almidón es el principal responsable del poder coagulante y floculante de la muestra. Sin embargo, es probable que los aminoácidos (lisina, arginina e Histidina) coadyuven al poder coagulante y floculante de la muestra.

Para determinar la Masa de muestra que se aprecia en la Ecuación 8, se planteó una regla de tres simple para determinar los gramos de muestra necesarios para tener 60, 80 y 100 mg en 1 litro de agua a tratar, se obtuvo la igualdad que se representa en la Ecuación 7:

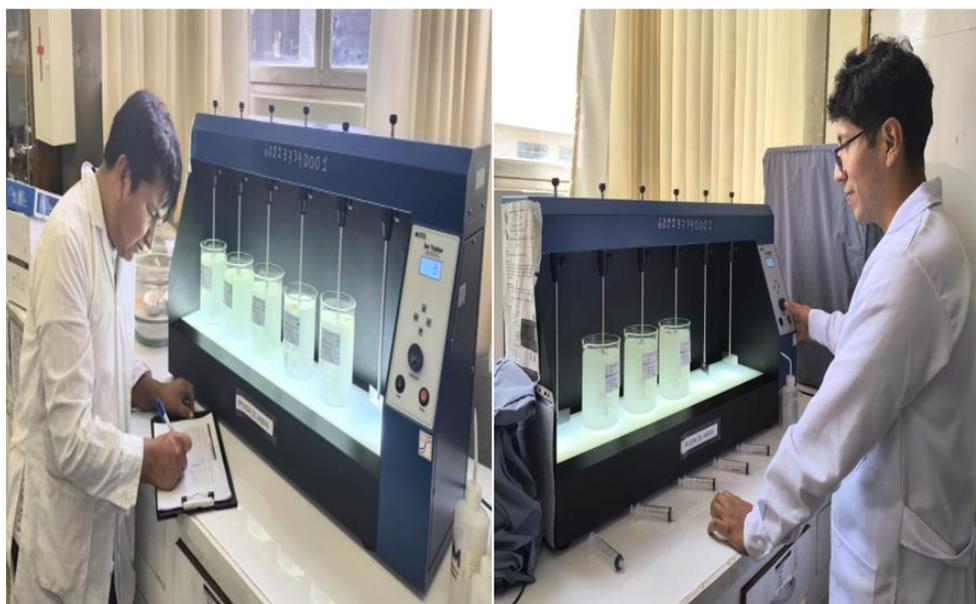
$$\frac{100 \text{ gr de olluco}}{5.1 \text{ gr de almidon}} = \frac{\text{Masa de muestra (gr)}}{\text{Masa de dosis (gr)}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Masa de muestra} = \frac{100 \text{ (gr)} * \text{Masa de dosis (gr)}}{5.1 \text{ (gr)}} \dots\dots\dots (8)$$

En la Figura 13, se aprecia el equipo de prueba de jarras donde se desarrolló el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, colocando de manera aleatoria los vasos de precipitados con una turbidez inicial de 100, 300 y 500 NTU y con un pH inicial de 6.5, 7.5 y 8.5. Se inició el mezclado rápido a una velocidad de 100 rpm, se agregó de acuerdo con lo descrito en el rotulo del vaso de precipitados, las dosis de 60, 80 y 100 mg/L del coagulante y floculante de la muestra, después de agregada la muestra se controló 1 min, a fin de desestabilizar las cargas superficiales de los coloides, después se procedió con la mezcla lenta a velocidades de 20, 30, 40 rpm por 20 min de acuerdo a lo que indicó el rotulo, para favorecer la formación y aglomeración de los flóculos.

Figura 13

Proceso de coagulación y floculación.



Después se dejó sedimentar por un tiempo de 10 min, lo que permitió que los flóculos generados en la coagulación y floculación por acción de la gravedad se aglomeren en la base del vaso de precipitados.

Se midió la turbidez final (Tf) del agua tratada usando el método nefelométrico con el turbidímetro Lutron TU-2016 (ver Fig.14), el cual se calibró antes de realizar la medición con los patrones base de 0 y 100 NTU. Con los valores respuesta se procedió a calcular la turbidez eliminada (Te) y el porcentaje de turbidez eliminada (%Te) con las ecuaciones 9 y 10:

$$Te = (Turbidez\ inicial - Turbidez\ final) NTU \dots\dots\dots(9)$$

$$\%Te = \left(\frac{Turbidez\ inicial - Turbidez\ final}{Turbidez\ inicial} \right) * 100\% \dots\dots\dots(10)$$

Para la medición de la conductividad eléctrica final (CEf) se sumergió el electrodo, que se enjuagó y secó con agua destilada y papel absorbente, del conductímetro Lutron YK-2001PHA en cada muestra de agua tratada. Se esperó hasta que la lectura se estabilice y se anotó el valor de respuesta (ver Fig.14).

Para la medición del pH final (pHf) se sumergió el sensor, que se enjuagó y secó con agua destilada y papel absorbente, del pH metro HACH EC20 en cada muestra de agua tratada, se esperó a que la lectura del pH metro se estabilice y se anotó el valor de respuesta (ver Fig.14).

Figura 14

Medición de la turbidez final, pH final y conductividad eléctrica final.



Con los resultados de turbidez obtenido de los 33 tratamientos se procedió al análisis estadístico que consistió en evaluar los efectos de las variables independientes sobre la variable dependiente, se expresó los efectos en cantidades y de manera visual se comparó los efectos de las variables independientes con el diagrama de Pareto.

Se estableció el modelo matemático con la Ecuación 11, que explicó la turbidez eliminada en base a las variables independientes.

$$Te = \beta_0 + \beta_1D + \beta_2pH + \beta_3Ti + \beta_4V + \beta_5D * pH + \beta_6D * Ti + \beta_7D * V.. (11)$$

Para el modelo matemático se calculó y estableció un valor entre el R^2 , R^2 – ajustado y R^2 – predicho con el modelo matemático que relacione de manera concisa las variables de estudio y explique la turbidez eliminada del proceso.

Se eligió 5 nuevas pruebas aleatoriamente, que se encuentren dentro de los niveles establecidos para cada variable independiente, y luego con el modelo matemático del proceso obtenido (Ecuación 11) se calculó la turbidez eliminada modelada, después se realizó de manera experimental las 5 pruebas con los parámetros de operación establecidos para la investigación, se comparó los resultados de la turbidez eliminada modelada con la turbidez eliminada experimental, para validar el ajuste del modelo matemático del proceso.

Con el modelo matemático, se desarrolló gráficos de contorno y se evaluó las interacciones que tienen efecto sobre la turbidez eliminada (Te).

3.4.4. VARIABLES SIGNIFICATIVAS DEL PROCESO

Se determinó las variables significativas del proceso a través de la prueba ANOVA, que se desarrolló en el software MINITAB 19, donde se evaluó la significancia de cada variable independiente y sus interacciones sobre la variable dependiente, a través de las hipótesis que se aprecian en las ecuaciones 12 y 13:

$$H_0 = \mu D = \mu pH = \mu Ti = \mu V \quad p > 0.05 \dots \dots \dots (12)$$

$$H_1 = \text{Al menos una de las medias es diferente.} \quad p < 0.05 \dots (13)$$

3.4.5. PARAMETROS DEL PROCESO

De los resultados obtenidos de las 11 corridas por triplicado, se seleccionó la dosis de muestra, pH, turbidez inicial y velocidad lenta de mezcla que obtuvieron la mayor turbidez eliminada (Te), a los que se estableció como parámetros del proceso.

3.4.6. COMPARACIÓN CON EL SULFATO DE ALUMINIO

Con los parámetros del proceso de dosis de muestra, pH, turbidez inicial y velocidad lenta de mezcla, se realizó un tratamiento de coagulación, floculación y sedimentación utilizando sulfato

de aluminio a las mismas condiciones que se usó en los tratamientos de esta investigación (Ver Fig. 15).

Se comparó la eficiencia de turbidez eliminada de la muestra y el sulfato de aluminio.

Figura 15

Evaluación con el sulfato de aluminio.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

Los resultados del análisis fisicoquímico de la muestra se aprecian en la Tabla 7.

Tabla 7

Resultados del análisis fisicoquímico.

Componente	1
Humedad %	88.53
Proteína %	1.2
Grasa %	0.14
Ceniza %	0.74
Fibra %	0.82
Carbohidratos %	9.39
Energía Kcal/100	43.62
Calcio mg/100	3.85
Fosforo mg/100	25.35
Hierro mg/100	1.95
Mucilago%	4.55

Nota: La tabla se desarrolló en base al ANEXO II Análisis Fisicoquímico de la muestra.

De la Tabla 7, se interpretó que la muestra tiene un gran porcentaje de humedad y mayor en un 2.58% al 85.95% de humedad que obtuvo en su investigación Marquez Mendoza, (2019), la cantidad de carbohidratos que presentó la muestra fue menor en un 2.48% del 11.87% que obtuvo en su investigación Marquez Mendoza, (2019), la cantidad de proteína que presentó la muestra fue levemente mayor en un 0.03% del 1.17% que obtuvo en su investigación Marquez Mendoza, (2019) y la cantidad de mucilago que presentó la muestra fue levemente menor en un 0.23% al que obtuvo en su investigación Marquez Mendoza, (2019). De la Tabla 7 también se interpretó que la cantidad de carbohidratos es mayor a la cantidad de proteínas, indicando que hubo más presencia de almidones que aminoácidos.

Los resultados del análisis de perfil de aminoácidos se aprecian en la Tabla 8.

Tabla 8

Resultados del análisis de perfil de aminoácidos.

Aminoácidos	Resultado (%)
Ác. glutámico	0.17
Ác. aspártico	0.15
Lisina	0.07
Arginina	0.05
Histidina	0.25

Nota: La tabla se desarrolló en base al ANEXO III Perfil de aminoácidos de la muestra.

En la Tabla 8 se muestran las concentraciones de varios aminoácidos presentes, destacándose los aminoácidos aniónicos como el ácido glutámico y el ácido aspártico, los cuales en solución acuosa se comportan como aniones debido a su grupo carboxilo ($-\text{COO}^-$). También se identificaron aminoácidos catiónicos como la lisina ($\text{pKa } \alpha\text{-NH}_3^+ = 8.95$), arginina ($\text{pKa } \alpha\text{-NH}_3^+ = 9.04$) y histidina ($\text{pKa } \alpha\text{-NH}_3^+ = 9.17$), los cuales en medios básico tienden a actuar como cationes por su grupo amino protonado ($-\text{NH}_3^+$). La histidina, en particular, se comporta como un catión débil debido a la presencia de un anillo imidazol en su cadena lateral, que puede aceptar o donar protones según el pH (McMurry, 2008).

La presencia de estos aminoácidos con cargas positivas indica que la proteína presente en la muestra de olluco actúa como un polielectrolito, lo cual favorece su desempeño en procesos de coagulación. Esta característica ha sido respaldada por el estudio de Jaramillo Peralta (2017), quien encontró que el 8.8% del contenido de *Cicer arietinum* L. estaba compuesto por los aminoácidos ácido glutámico, ácido aspártico, lisina, arginina e histidina, todos ellos con potencial para intervenir en el proceso de coagulación.

El resultado del análisis de cuantificación de almidón se aprecia en la Tabla 9.

Tabla 9

Resultados de la cuantificación de almidón.

	Resultado (%)
Almidón	5.10

Nota: La tabla se desarrolló en base al ANEXO IV Cuantificación de almidón en la muestra.

La cantidad de almidón de la muestra que se visualiza en la Tabla 9, coincide con el estudio que realizó Surco Laos, (2004) que obtuvo un 5.05% de almidón. Según Cuadro Santana & Rodas Haz, (2019) el almidón en un medio básico puede gelatinizar y obtener moléculas libres de amilosa y amilopectina, que tienen un poder coagulante por la gran cantidad de ramificaciones en sus estructuras, que permitió la adsorción de los polímeros en las partículas coloidales como lo detalla Alonso Cainaba & Delgado Díaz, (2020) quien indica que la amilosa es un polímero lineal soluble en agua, contiene unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4) y α (1-6), teniendo por cada molécula de amilosa entre 25 y 2500 monómeros de glucosa, mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4) y α (1-6), teniendo por cada molécula de amilopectina entre 300 y 6000 monómeros de glucosa. Estas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa.

Del resultado de perfil de aminoácidos y cuantificación de almidón, se determinó que la muestra podría tener poder coagulante y floculante por la presencia de almidón, por las pequeñas cantidades de aminoácidos en la proteína la que actuaría como un polielectrolito y podría desempeñarse como coagulante y floculante y por la presencia de mucilago que podría coadyuvar en el proceso de coagulación y floculación.

La muestra también presenta un 4.55% de mucilago, el que puede coadyuvar en el proceso de coagulación y floculación por estar formada según López Pérez, (2018) por diferentes tipos de polisacáridos y contener proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xilosa, y el ácido galacturónico, siendo este último su componente principal. Actúan en la coagulación mediante un mecanismo de adsorción y formación de puentes. Esto se debe a que sus polímeros, por ser largos y flexibles, pueden adherirse a diferentes partículas coloidales, generando flóculos ramificados. La adsorción de estos polisacáridos se lleva a cabo principalmente a través de enlaces de hidrógeno o interacciones dipolares, proceso que es facilitado por los electrolitos naturales presentes en el mucílago y especialmente por los cationes divalentes.

4.2.PROCESO DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN

El rendimiento del olluco para el proceso de coagulación y floculación fue de un 63.56% como se aprecia en el cálculo realizado con la Ecuación 14, realizado con los datos que se detallan en la Tabla 16 del Apéndice I.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{13.36}{21.02} * 100\% = 63.56\%.....(14)$$

Los resultados del proceso de coagulación, floculación y sedimentación basado en el plan experimental, se consolida en la Tabla 10:

Tabla 10*Resultados del plan experimental*

N° de Corrida	D (mg/L)	pH	Ti (NTU)	V (rpm)	Tf (NTU)	Te (NTU)	%Te (%)
1	80	7.5	300	30	120.67±17.47	179.33	59.78
2	100	8.5	100	20	69±6	31.00	31.00
3	60	8.5	100	40	63±7.55	37.00	37.00
4	60	6.5	100	20	68±5.29	32.00	32.00
5	60	6.5	500	40	148.67±10.5	351.33	70.27
6	60	8.5	500	20	153.67±4.93	346.33	69.27
7	100	6.5	100	40	73±1	27.00	27.00
8	100	6.5	500	20	249±10.44	251.00	50.20
9	100	8.5	500	40	90.67±12.58	409.33	81.87
10	80	7.5	300	30	116.33±4.93	183.67	61.22
11	80	7.5	300	30	108.67±6.81	191.33	63.78

Nota: Dosis de olluco (D), turbidez inicial (Ti), velocidad lenta de mezcla (V), turbidez final (Tf), turbidez eliminada (Te), porcentaje de turbidez eliminado (%Te).

De la Tabla 10, se observó que para una turbidez inicial de 100 NTU la mejor eficiencia de turbidez eliminada es igual a 37% que se obtuvo con un pH de 8.5, velocidad lenta de mezcla de 40 rpm y una dosis de 60 mg/L de muestra. Se observó también que para una turbidez inicial de 500 NTU la mejor eficiencia de turbidez eliminada es igual a 81.87% que se obtuvo con un pH de 8.5, velocidad lenta de mezcla de 40 rpm y una dosis de 100 mg/L de muestra. Comparando las variables de las eficiencias de turbidez eliminada de 37% y 81.87%, se determinó que para una turbidez inicial de 500 NTU se tuvo un mejor porcentaje de turbidez eliminada que a 100 NTU. Se evaluó la dosis con una turbidez inicial de 100 NTU y se observó que el porcentaje de turbidez eliminada de la dosis de 60 mg/L es mayor que la dosis de 100 mg/L, esto se explica porque al agregar una sobredosis de coagulante y floculante al agua a tratar, crea el efecto contrario y genera una restitución de la turbidez en el agua, lo que no sucedió con la turbidez inicial de 500 NTU, en el cual la dosis de 100 mg/L obtuvo un mejor porcentaje de turbidez eliminada que la dosis de 60

mg/L. Se determinó también que para la turbidez eliminada de 37% y 81.87% se utilizó un pH de 8.5 y una velocidad lenta de mezcla de 40 rpm.

Se comparó el punto intermedio cuyo promedio de eficiencia de turbidez eliminada es de 61.59% con los resultados de López Díaz & López Castro, (2020) que obtuvo un porcentaje de turbidez eliminada del 99.74% con un pH de 11.5, se observó que probablemente se deba a la diferencia del pH del proceso, determinando que la muestra a pesar de tener una menor remoción tuvo un pH de 7.5 que está dentro de los Límites Máximos Permisibles (ANEXO I).

En la Tabla 11, se comparó la mayor eficiencia de turbidez eliminada (%Te) de la muestra con otros investigadores.

Tabla 11

Comparativa del porcentaje de turbidez eliminada (%Te) de la muestra con otros investigadores.

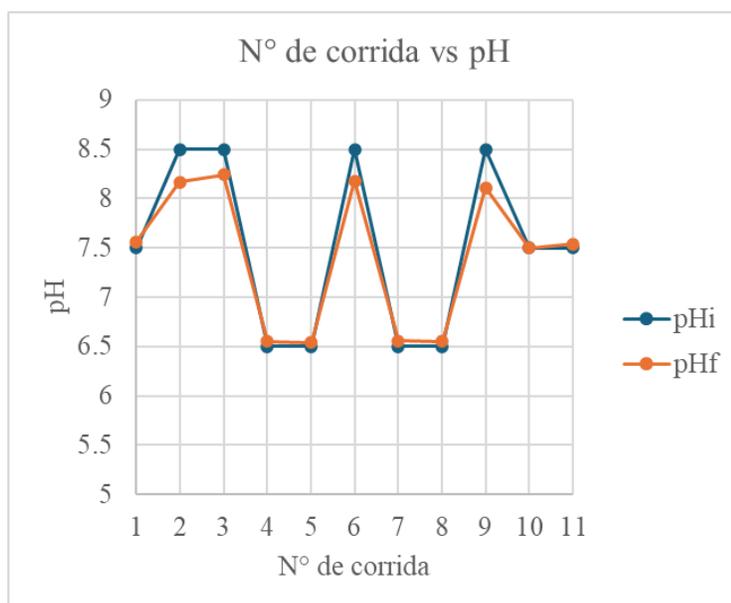
N°	Investigadores	Coagulante y floculante	%Te (%)
1	Esta investigación	Olluco Puka Lisa	81.87
2	Alvarez Ancalla & Ccahua Ocon, (2021)	Cacto arbustico.	82.70
3	Alvarez Ancalla & Ccahua Ocon, (2021)	Nopal.	83.80
4	López Pérez, (2018)	Nopal.	86.00
5	Arenaz Díaz, (2019)	Moringa olifeira.	89.12
6	Figueroa Márquez et al, (2023)	Mucilago de tuna.	90.57
7	Melgarejo Salazar, (2023)	Nopal.	91.00
8	Oliveros Godínez, (2022)	Semilla de Mango.	91.78
9	Gutiérrez García, (2022)	Moringa olifeira.	97.58
10	Alonso Cainaba & Delgado Díaz, (2020)	Papa.	98.70
11	Jaramillo Peralta, (2017)	Garbanzo.	99.45
12	López Díaz & López Castro, (2020)	Cáscara de cacao.	99.74

De la Tabla 11, se comparó la mayor eficiencia de %Te de la muestra de 81.87% con Alvarez Ancalla & Ccahua Ocon, (2021), López Díaz & López Castro, (2020), López Pérez, (2018) y Arenaz Díaz, (2019), que tuvieron resultados parecidos al %Te de la muestra. también se comparó con Figueroa Márquez et al, (2023), Melgarejo Salazar, (2023), Oliveros Godínez, (2022), investigadores que en promedio lograron obtener un 9.25% más de turbidez eliminado. Finalmente se comparó con Gutiérrez García, (2022), Alonso Cainaba & Delgado Díaz, (2020), Jaramillo Peralta, (2017) y López Díaz & López Castro, (2020), investigadores que lograron obtener en promedio un 17.00% más de turbidez eliminado.

Respecto del pH, se puede apreciar en la Figura 16 la diferencia entre los niveles del pH inicial (pHi) y pH final (pHf) de los tratamientos.

Figura 16

Variación del pH.



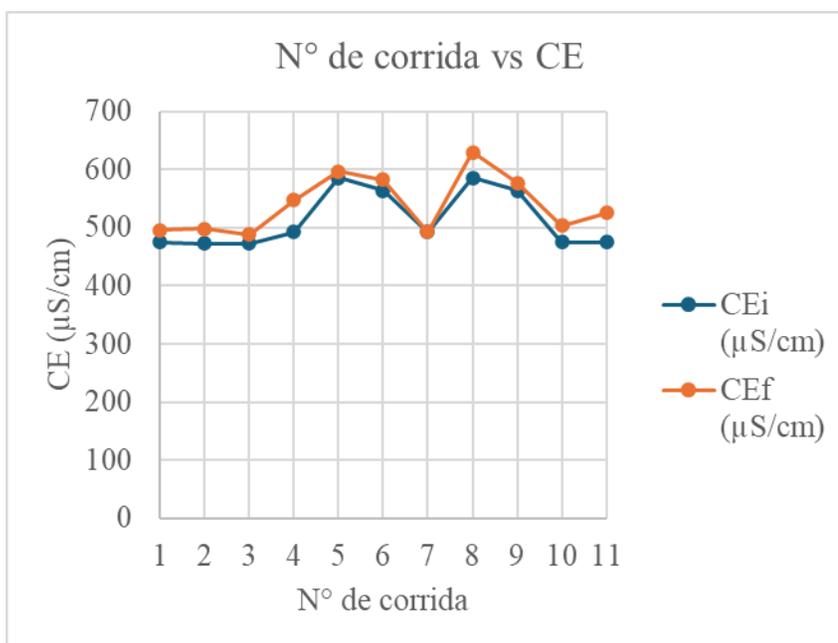
Como se aprecia en la Figura 16, el pH de las 1, 4, 5, 7, 8, 9 y 10 mostro un leve aumento, en estas corridas se usó un pH de 6.5 y 7.5 y cuando se usó un pH de 8.5 disminuyo levemente el

pH final, esto concuerda con los resultados que obtuvo Alvarez Ancalla & Ccahua Ocon, (2021), que utilizó un pH de 7.5 y el pH final incremento levemente y cuando utilizó un pH de 8.5 disminuyo levemente el pH final. El pH final de todos los tratamientos no afecto considerablemente al pH, que se mantuvo en el rango de pH de 6.5 y 8.5, descritos en los Límites Máximos Permisibles (ANEXO I).

Respecto a la conductividad eléctrica, se puede apreciar en la Figura 17 la diferencia entre los niveles de conductividad eléctrica inicial (CEi) y conductividad eléctrica final (CEf) de los tratamientos.

Figura 17

Variación de la conductividad eléctrica (CE).



Como se aprecia en la Figura 17, la conductividad eléctrica final presenta un leve aumento para todas las corridas referente a la conductividad eléctrica inicial. La conductividad eléctrica final de todos los tratamientos no afecto considerablemente la conductividad eléctrica ya que se

mantiene dentro de los $1500 * 10^4$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ equivalentes a lo descrito en los Límites Máximos Permisibles (ANEXO I).

Los resultados de los efectos de las variables independientes sobre la variable dependiente se muestran en la Tabla 12:

Tabla 12

Efecto de las variables independientes e interacciones sobre la turbidez eliminada (Te).

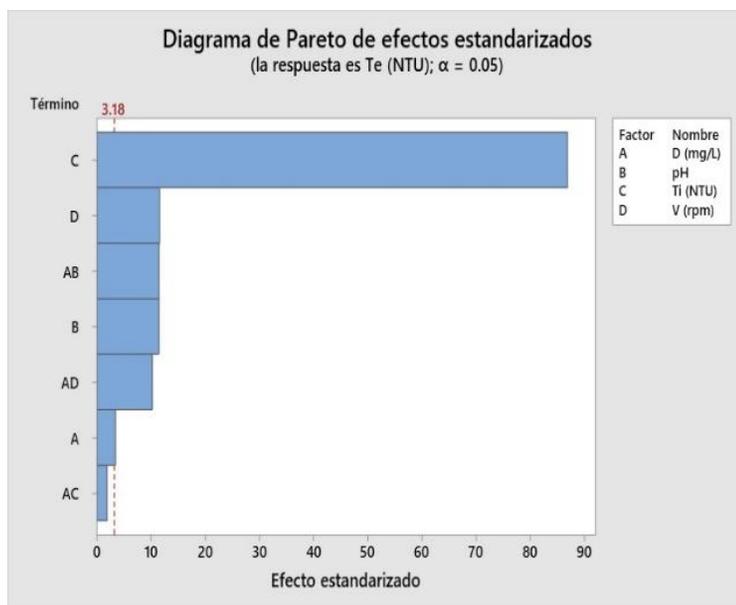
Fuente	Efecto	Error estándar del efecto	Efecto estandarizado
D (mg/L)	-6.04	1.77	-3.41
pH	20.29	1.77	11.46
Ti (NTU)	153.87	1.77	86.93
V (rpm)	20.54	1.77	11.60
D (mg/L)*pH	20.29	1.77	11.46
D (mg/L)*Ti (NTU)	-3.29	1.77	-1.86
D (mg/L)*V (rpm)	18.04	1.77	10.19

De la Tabla 12 se interpretó que la turbidez inicial (Ti), el pH, la velocidad lenta de mezcla (V), la interacción de la dosis de muestra con el pH (D*pH) y la interacción de la dosis de muestra con la velocidad lenta de mezcla (D*V) tienen un efecto positivo, que indicó que un aumento en estas variables aumenta la turbidez eliminada (Te). También se interpretó que la dosis de muestra (D) y la interacción de dosis de muestra con la turbidez inicial (D*Ti) tienen un efecto negativo, que indicó que un aumento de esta variable e interacción disminuye la turbidez eliminada (Te).

En la Figura 18, se aprecia la comparación de los efectos de las variables independientes y sus interacciones sobre la turbidez eliminada (Te).

Figura 18

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

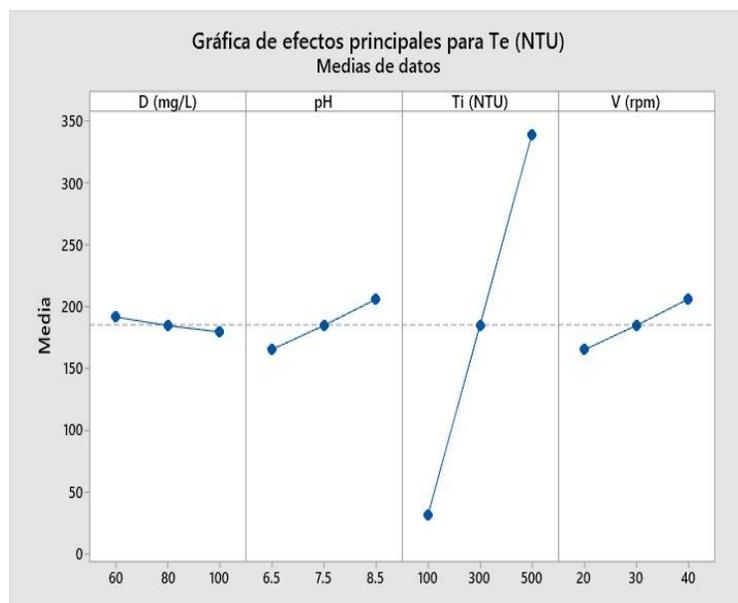


En la Figura 18, se observó que la turbidez inicial (C) es la variable que mayor efecto tiene sobre la turbidez eliminada, también se observó que la velocidad lenta de mezcla (D), la interacción de la dosis de muestra y pH (AB), el pH (B) y la interacción de la dosis de muestra y velocidad lenta de mezcla (AD) tienen parecidos efectos sobre la turbidez eliminada, la dosis de muestra (A) y la interacción de dosis de muestra y turbidez inicial (AC) tuvieron el menor efecto sobre la turbidez eliminada.

En la Figura 19, se aprecia de manera visual el comportamiento de los efectos principales de las variables independientes sobre la turbidez eliminada.

Figura 19

Gráfica de efectos principales para la turbidez eliminada (NTU).



De la Figura 19 se observó la tendencia decreciente pequeña de una dosis de 60 a 100 mg/L que tuvo el efecto de disminuir la turbidez eliminada, la tendencia creciente pequeña del nivel mínimo al máximo del pH y la velocidad lenta de mezcla son parecidas y tienen el efecto de aumentar la turbidez eliminada y se apreció la gran tendencia creciente de la turbidez eliminada de 100 a 500 NTU que tuvo el mayor efecto para aumentar de la Turbidez eliminada.

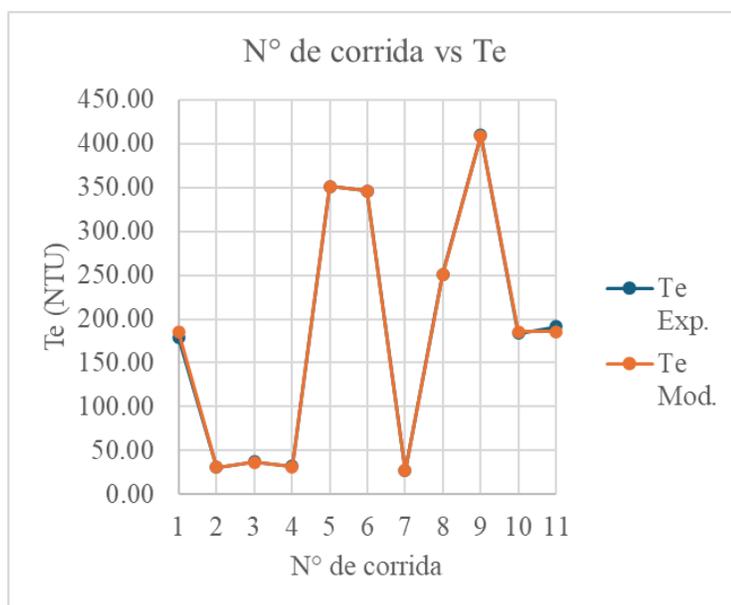
Se obtuvo el modelo matemático del proceso, que se aprecia en la Ecuación 15:

$$\begin{aligned}
 T_e(NTU) = & 570.40 - 10.371D(mg/L) - 60.88pH + 0.8352Ti(NTU) - \\
 & 5.163V(rpm) + 1.0146D(mg/L) * pH - 0.000823D(mg/L) * Ti(NTU) + \\
 & 0.09021D(mg/L) * V(rpm).....(15)
 \end{aligned}$$

Se calculó la turbidez eliminada usando los valores del plan experimental (ver Tabla 6) con la Ecuación 15 (T_e Mod) y se comparó con la turbidez eliminada obtenida de los tratamientos (T_e Exp.), como se aprecia en la Figura 20:

Figura 20

Comparación de turbidez eliminada experimental (T_e Exp.) con la turbidez eliminada modelada (T_e Mod.).



De la Figura 20, se confirmó la calidad del ajuste del modelo que obtuvo un R^2 de 99.96%, que indicó que el modelo ajusta de manera excelente a los datos experimentales, un R^2 – *ajustado* de 99.88%, que indicó que el modelo es robusto y que todas las variables y sus interacciones son importantes para explicar la variabilidad del proceso, un R^2 – *predicho* de 99.77%, que indicó que el modelo puede predecir bien nuevos datos.

Los resultados del cálculo de turbidez eliminada con la Ecuación 15 de las 5 nuevas pruebas elegidas aleatoriamente y los resultados obtenidos de la experimentación se aprecian en la Tabla 13.

Tabla 13

Resultados de turbidez eliminada modelada y experimental de las 5 pruebas aleatorias.

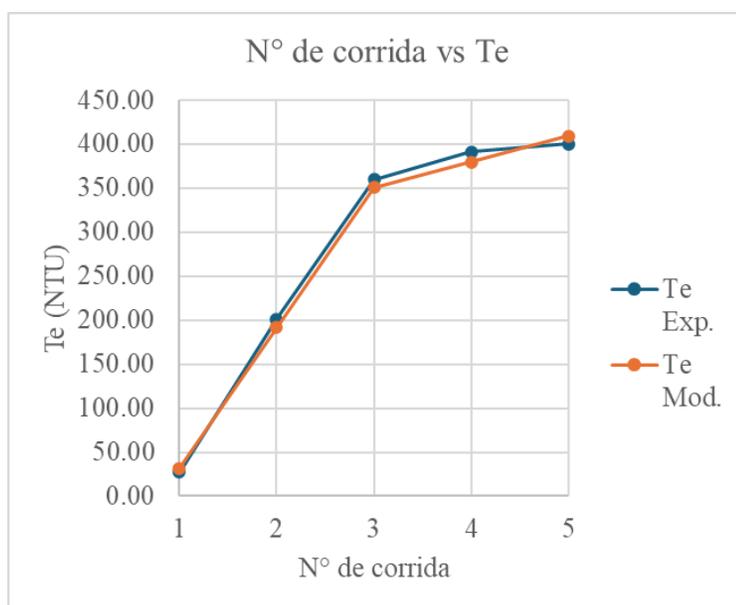
D (mg/L)	pH	Ti (NTU)	V (rpm)	Tf (NTU)	Te (NTU)	%Te (%)	Te mod. (NTU)
60	6.5	100	20	73.00	27.00	27.00	31.69
60	7.5	300	30	98.67	201.33	67.11	191.34
60	8.5	500	40	140.00	360.00	72.00	351.00
80	8.5	500	40	109.00	391.00	78.20	380.00
100	8.5	500	40	100.00	400.00	80.00	409.00

Nota: Dosis de olluco (D), turbidez inicial (Ti), velocidad lenta de mezcla (V), turbidez final (Tf), turbidez eliminada (Te), porcentaje de turbidez eliminado (%Te).

En la Figura 21, se aprecia la comparación de los resultados que se aprecian en la Tabla 13 de la turbidez eliminada modelada y turbidez eliminada experimental de las 5 pruebas elegidas aleatoriamente y evaluadas con las mismas condiciones que se usó en los tratamientos de la investigación.

Figura 21

Ajuste de la turbidez eliminada experimental (Te Exp.) con modelada (Te Mod.).

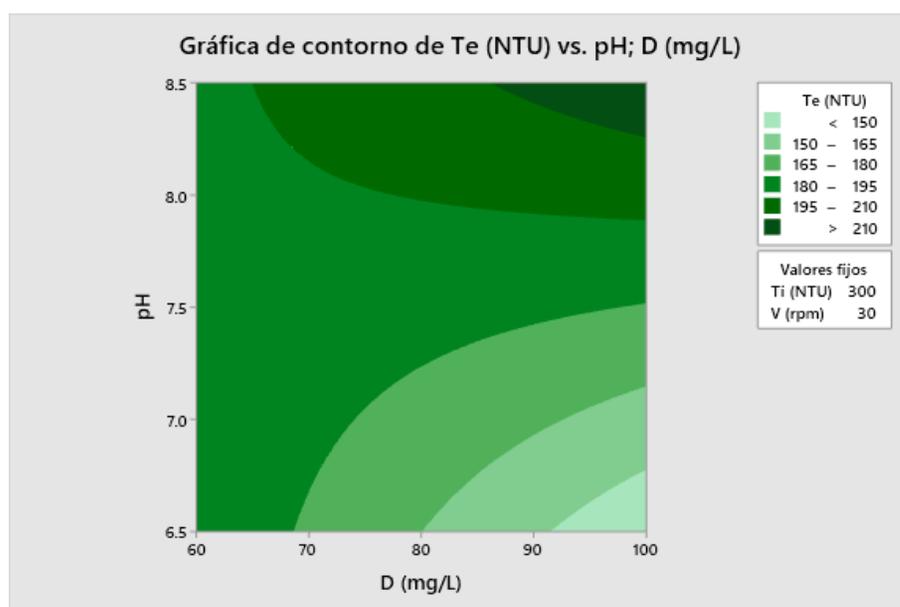


En la Figura 21 se aprecia que el modelo matemático del proceso predice y ajusta adecuadamente con los resultados experimentales de las 5 pruebas aleatorias.

La Figura 22, muestra el gráfico de contorno de la turbidez eliminada (T_e) versus el pH y la dosis de muestra (D), manteniendo valores fijos de turbidez inicial de 300 NTU y velocidad lenta de mezcla de 30 rpm.

Figura 22

Gráfico de contorno de la turbidez eliminada- T_e (NTU) vs pH; dosis de muestra- D (mg/L).

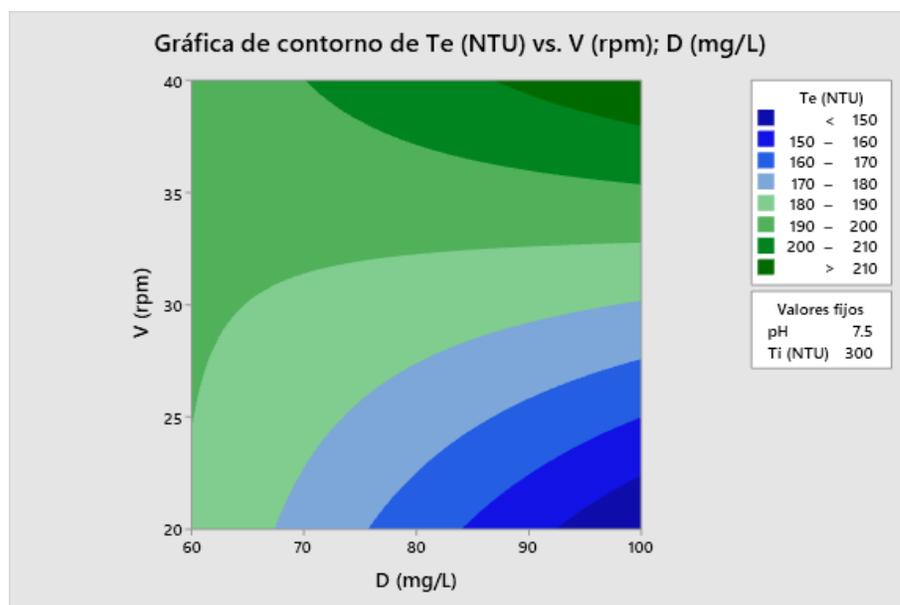


Se interpreto de la Figura 22, que el color verde claro se opaca a verde oscuro representando las zonas de menores valores hacia mayores valores de Turbidez eliminada. También se observó que la zona con mayor turbidez eliminada se encuentra con variables cercanas a una dosis de 100 mg/L y pH de 8.5, asimismo la zona con menor turbidez eliminada se encuentra con variables cercanas a una dosis de 100 mg/L y un pH de 6.5, finalmente se observa una zona intermedia de turbidez eliminada con valores entre 180 NTU y 195 NTU, que se obtienen de dosis entre 60 y 70 mg/L con rango de pH de 6.5 a 8.5.

La Figura 23, muestra el gráfico de contorno de la turbidez eliminada (T_e) versus la velocidad lenta de mezcla (V) y la dosis de muestra (D), manteniendo valores fijos de pH de 7.5 y turbidez inicial de 300 NTU.

Figura 23

Gráfico de contorno y superficie de turbidez eliminada- T_e (NTU) vs velocidad lenta de mezcla- V (rpm); dosis de muestra- D (mg/L).



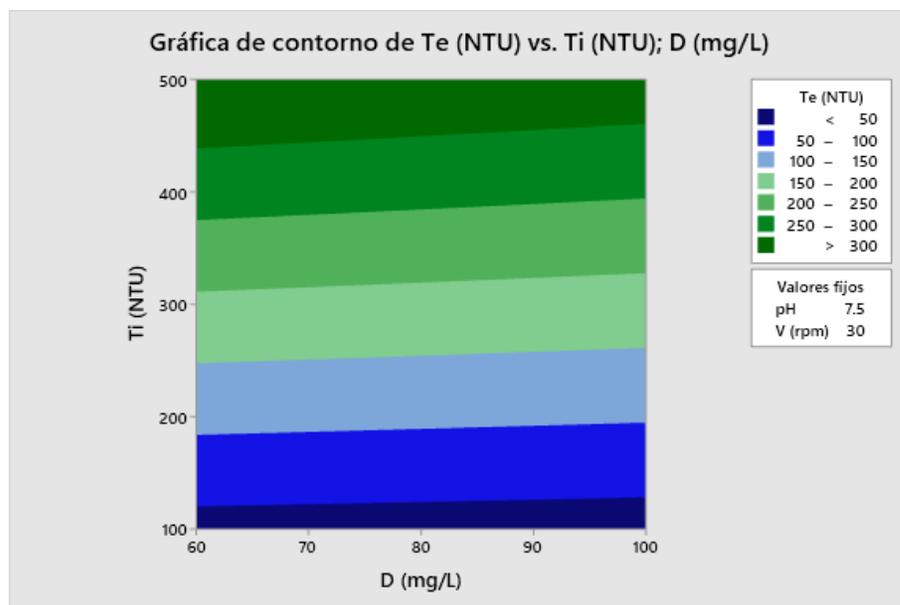
Se interpreto de la Figura 23, que el color azul oscuro se difumina a un azul claro representando las zonas de valores menores hacia valores intermedios de turbidez eliminada y de verde claro se opaca a verde oscuro representando las zonas de valores intermedios hacia valores de mayor Turbidez eliminada. También se observó que la zona con mayor turbidez eliminada se encuentra con variables cercanas a una dosis de 100 mg/L y una velocidad lenta de mezcla de 40 rpm, asimismo la zona con menor turbidez eliminada se encuentra con variables cercanas a una dosis de 100 mg/L y una velocidad lenta de mezcla de 20 rpm, finalmente se observa una zona

intermedia de turbidez eliminada con valores entre 180 NTU y 190 NTU, que se obtienen de dosis entre 60 y 70 mg/L con rango de velocidad lenta de mezcla de 20 rpm a 25 rpm.

La Figura 24, muestra el gráfico de contorno de la turbidez eliminada (T_e) versus la turbidez inicial (T_i) y la dosis de muestra (D), manteniendo valores fijos de pH de 7.5 y velocidad lenta de mezcla de 30 rpm.

Figura 24

Gráfico de contorno y superficie de turbidez eliminada- T_e (NTU) vs turbidez inicial- T_i (NTU); dosis de muestra- D (mg/L).



Se interpretó de la Figura 24, que el color azul oscuro se difumina a un azul claro representando las zonas de menores valores hacia valores intermedio de turbidez eliminada y de verde claro se opaca a verde oscuro representando las zonas de valores intermedios hacia valores de mayor turbidez eliminada. También se observó que la zona con mayor turbidez eliminada se encuentra con variables cercanas a una dosis de 100 mg/L y una turbidez inicial igual a 500 NTU; asimismo, la zona con menor turbidez eliminada se encuentra con variables cercanas a una dosis

de 60 mg/L y una turbidez inicial igual a 100 NTU, finalmente se observa una zona intermedia de turbidez eliminada con valores entre 200 NTU y 250 NTU, que se obtienen de una dosis de 80 mg/L y una turbidez inicial entre 300 y 400 NTU.

4.3.VARIABLES SIGNIFICATIVAS DEL PROCESO

En la Tabla 14, se aprecian los resultados de la prueba ANOVA que tuvo como variable respuesta la turbidez eliminada (Te).

Tabla 14

Tabla ANOVA.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
D(mg/L)	294.00	1	294.00	11.62	0.042
pH	3294.00	1	3294.00	131.03	0.001
Ti(NTU)	189420.00	1	189420.00	7534.82	0.000
V(rpm)	3376.00	1	3376.00	134.28	0.001
D(mg/L)*pH	3294.00	1	3294.00	131.03	0.001
D(mg/L)*Ti(NTU)	87.00	1	87.00	3.45	0.160
D(mg/L)*V(rpm)	2604.00	1	2604.00	103.58	0.002

Se estableció de la Tabla 14 que todas las variables independientes son significativas por tener valores de P menores a 0.05 ($P < 0.05$). También se estableció que las interacciones de dosis de muestra con el pH (D*pH) y la dosis de muestra con la velocidad lenta de mezcla (D*V) son significativos por tener valores de P menores a 0.05 ($P < 0.05$), siendo la interacción no significativa para el proceso la de la dosis de muestra con la turbidez inicial (D*Ti) por tener un valor de P mayor a 0.05 ($P > 0.05$).

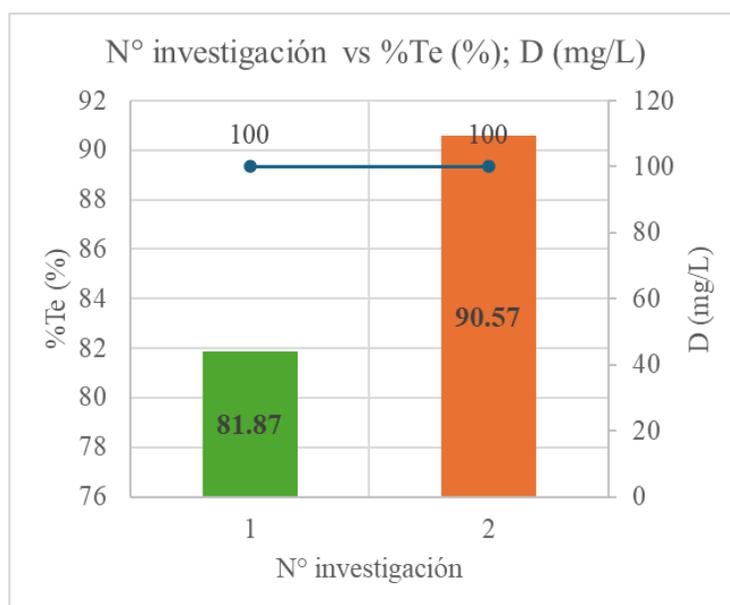
4.4.PARAMETROS DEL PROCESO

Las variables que tuvieron la mayor eficiencia de turbidez eliminada fueron la dosis de muestra de 100 mg/L, pH de 8.5, turbidez inicial de 500 NTU y velocidad lenta de mezcla de 40 rpm.

En la Figura 25, se observó la comparativa de la eficiencia de turbidez eliminada de la muestra con otro investigador, ambos usando una dosis de 100 mg/L.

Figura 25

Comparativa del porcentaje de turbidez eliminada (%Te) con una dosis de muestra (D) de 100 mg/L.



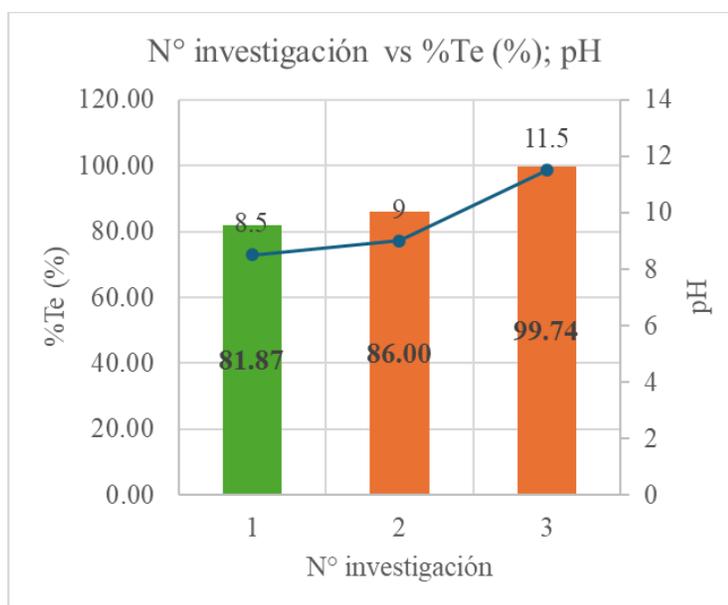
Nota: (1) Apaza Puma & Apaza Mendoza, (2025), (2) Figueroa Márquez et al, (2023)

En la Figura 25 se observó que otro investigador obtuvo su mejor porcentaje de turbidez eliminada con una dosis de 100 mg/L, valor que al igual que la muestra consiguió la mejor eficiencia de turbidez eliminada de todas las corridas ejecutadas en la investigación

En la Figura 26, se observó la comparativa de la eficiencia de turbidez eliminada de la muestra con otro investigador, usando un pH básico.

Figura 26

Comparativa del porcentaje de turbidez eliminada %Te con un pH básico.



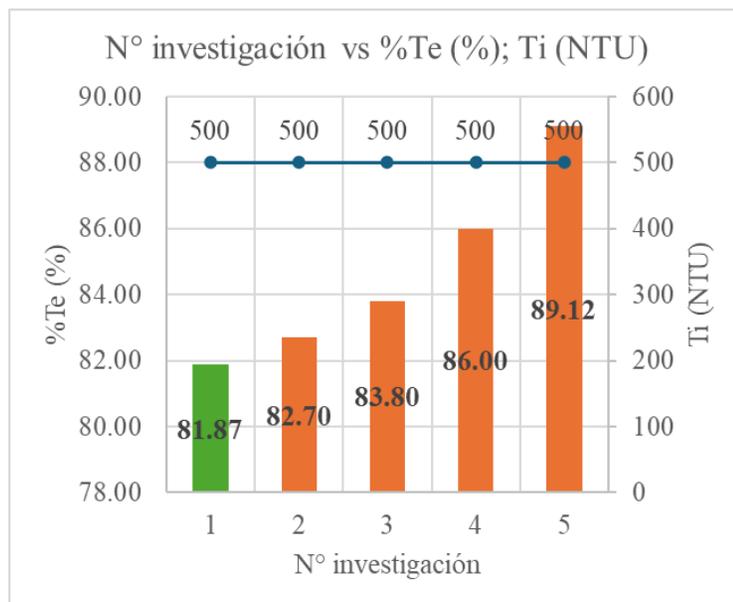
Nota: (1) Apaza Puma & Apaza Mendoza, (2025), (2) López Pérez, (2018) y (3) López Díaz & López Castro, (2020).

En la Figura 26 se observa que la muestra y otros investigadores obtuvieron su mejor eficiencia de turbidez eliminada con un pH básico, el uso de un pH básico puede ser explicado por lo investigado por Cuadro Santana & Rodas Haz, (2019) que reporta que a pH básico el almidón gelatiniza y se obtiene libremente moléculas de amilosa y amilopectina que pueden tener un poder coagulante y floculante.

En la Figura 27, se observó la comparativa de la eficiencia de turbidez eliminada de la muestra con otro investigador, usando una turbidez inicial (Ti) de 500 NTU.

Figura 27

Comparativa del porcentaje de turbidez eliminada (%Te) con una turbidez inicial (Ti) de 500 NTU.



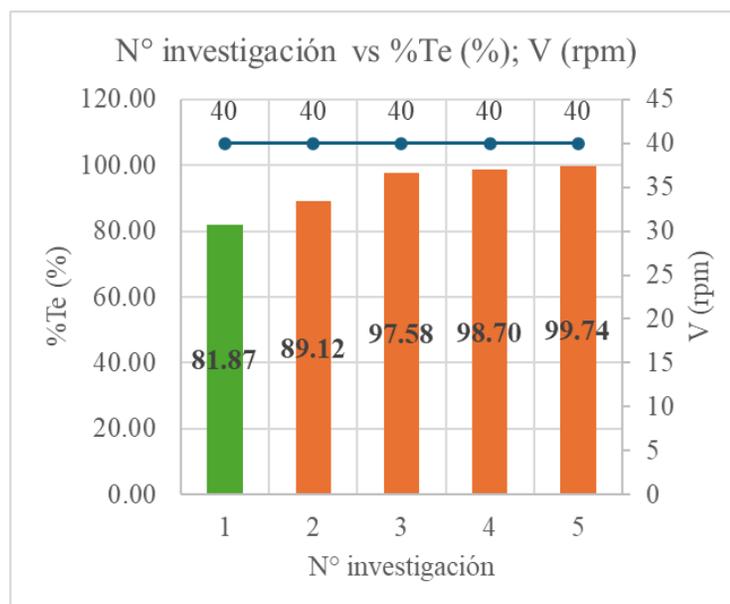
Nota: (1) Apaza Puma & Apaza Mendoza, (2025), (2)-(3) Alvarez Ancalla & Ccahua Ocon, (2021), (4) López Pérez, (2018), y (5) Arenaz Díaz, (2019).

En la Figura 27 se observó que la muestra y otros investigadores usando coagulantes y floculantes naturales, obtuvieron su mejor porcentaje de turbidez eliminada con niveles de turbidez inicial de 500 NTU.

En la Figura 28, se observó la comparativa de la eficiencia de turbidez eliminada de la muestra con otro investigador, usando una velocidad lenta de mezcla (V) de 40 rpm.

Figura 28

Comparación del porcentaje de turbidez eliminada (%Te) con una velocidad lenta de mezcla (V) de 40 rpm.



Nota: (1) Apaza Puma & Apaza Mendoza, (2025), (2) Arenaz Díaz, (2019), (3) Gutiérrez García, (2022), (4) Alonso Cainaba & Delgado Díaz, (2020) y (5) López Díaz & López Castro, (2020).

En la Figura 28 se observó que la muestra y otros investigadores obtuvieron su mejor eficiencia de turbidez eliminada con velocidades lentas de mezcla de 40 rpm.

4.5.COMPARACIÓN CON EL SULFATO DE ALUMINIO

Con los parámetros resultantes de la investigación que se aprecian en la Tabla 15:

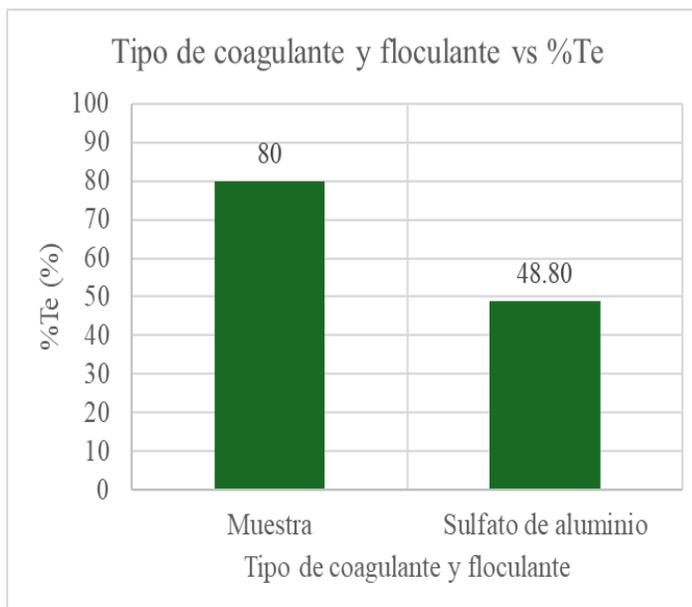
Tabla 15*Parámetros de proceso*

Parámetros del proceso	Valor
Volumen del agua turbia	1 litro
Dosis	100 mg/L
pH	8.5
Turbidez inicial	500 NTU
Velocidad rápida de mezcla	100 rpm
Tiempo de mezcla rápida	1 min
Velocidad lenta de mezcla	40 rpm
Tiempo de mezcla lenta	20 min
Tiempo de sedimentación	10 min
Temperatura	Ambiente

Los resultados de la comparación de la eficiencia de turbidez eliminada (%Te) de la muestra con el sulfato de aluminio se aprecian en la Figura 29.

Figura 29

Comparación del porcentaje de turbidez eliminada (%Te) de la muestra con el sulfato de aluminio.



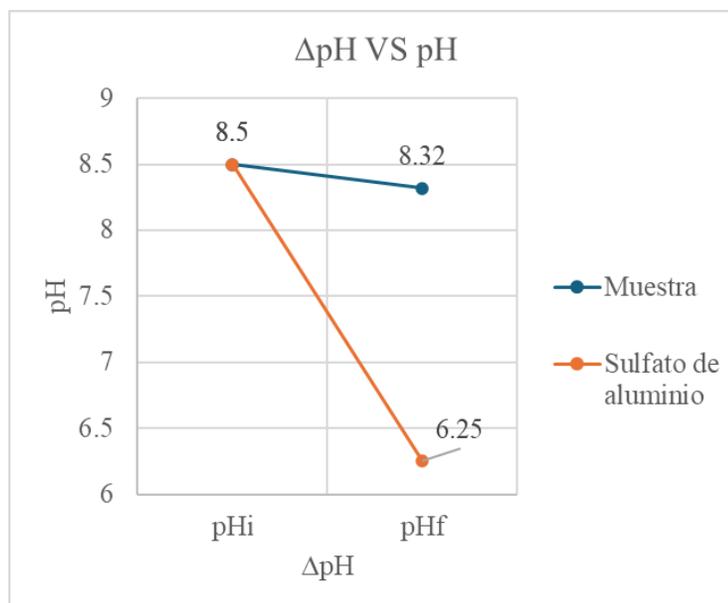
Nota: La figura se generó de los resultados detallados en la Tabla 19 del Apéndice I.

Se observó en la Figura 29, que la muestra logró obtener un 31.20% más de remoción de turbidez que el sulfato de aluminio, lo que demostró que la muestra es más eficiente con niveles de turbidez alto.

Respecto del pH, se puede apreciar en la Figura 30 la diferencia entre los niveles del pH inicial (pHi) y pH final (pHf) de los tratamientos.

Figura 30

Comparación de la variación del pH (ΔpH) de la muestra con el sulfato de aluminio.



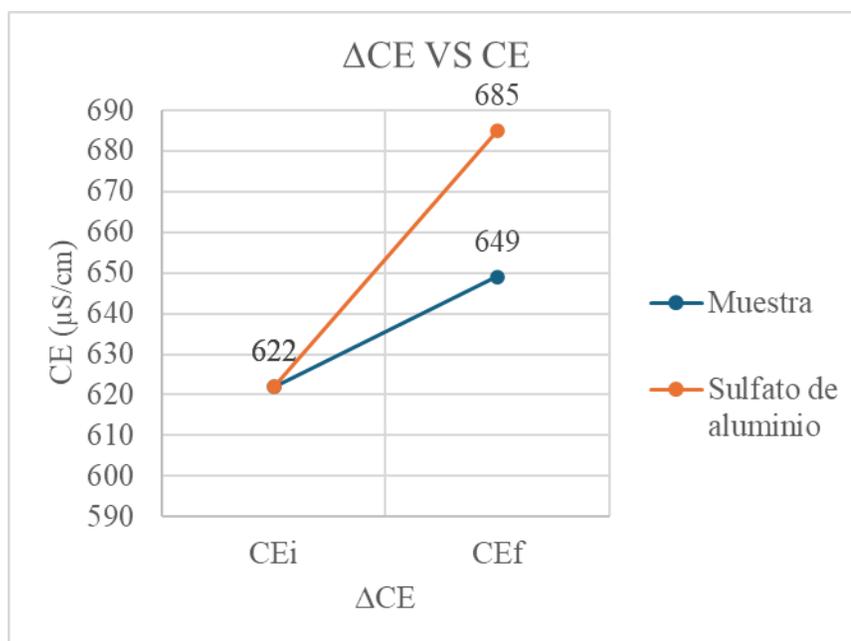
Nota: La figura se generó de los resultados detallados en la Tabla 19 del Apéndice I.

En la Figura 30 se observó la variación del pH (ΔpH) de la muestra con el sulfato de aluminio, recordando que el proceso de coagulación y floculación requiere que la variación del pH sea mínima para la obtención de mayores eficiencias de turbidez eliminada (%Te), la muestra presentó una ΔpH igual a -0.18, lo que indicó que es más fácil controlar el parámetro de operación pH y se mantiene dentro de los Límites Máximos Permisibles (ANEXO I), por otro lado el sulfato de aluminio presentó una ΔpH igual a -2.25, este cambio de un pH básico a uno ácido indicó que es complicado controlar el parámetro de operación pH como lo indica López Pérez, (2018) en su investigación, donde disminuía significativamente el pH final cuando se usaba sobre una turbidez inicial alta, por la hidrólisis del coagulante en el agua.

Respecto a la conductividad eléctrica (CE), se puede apreciar en la Figura 31 la diferencia entre los niveles de conductividad eléctrica inicial (CEi) y conductividad eléctrica final (CEf) de los tratamientos.

Figura 31

Comparación de la variación de la conductividad eléctrica (ΔCE) de la muestra con el sulfato de aluminio.



Nota: La figura se generó de los resultados detallados en la Tabla 19 del Apéndice I.

En la Figura 31 se observó la variación de conductividad eléctrica (ΔCE) de la muestra con el sulfato de aluminio, donde la muestra presentó una ΔCE igual a $27 \mu S$ y el sulfato de aluminio presentó una ΔCE igual a $63 \mu S$, en ambos casos se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles (ANEXO I). También se aprecia un mayor incremento de la conductividad eléctrica con el sulfato de aluminio, así como López Pérez, (2018) detalla en su investigación, donde la conductividad eléctrica final aumenta considerablemente ($65.57 \mu S$) por la solubilización del sulfato de aluminio a un pH de 8.30.

León Palacios, (2025) detalla que la conductividad eléctrica debe mantenerse lo más bajo posible, lo que logró la muestra respecto del sulfato de aluminio, ya que puede facilitar la dosificación de la muestra en el proceso de coagulación y floculación de una planta de tratamiento de agua potable por no agregar considerablemente sólidos disueltos que puedan mermar la eficiencia del proceso de filtración, garantizando la producción de agua potable de alta calidad en cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles (ANEXO I)

5. CONCLUSIONES

- El olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) de la variedad *Puka Lisa* es eficiente en la remoción de la turbidez del agua, depende significativamente de sus variables independientes y coadyuva en el proceso primario de potabilización del agua.
- El olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) de la variedad *Puka Lisa* tiene 88.53% de humedad, también tiene 5.10% de almidón, mucilago y aminoácidos como la lisina, arginina e histidina que pueden presentar poder coagulante y floculante.
- El olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) de la variedad *Puka Lisa* obtuvo la mayor eficiencia de turbidez eliminada de 81.87%, lo que sugiere que el uso del olluco es eficiente en la remoción de niveles de turbidez alto y coadyuva en el proceso primario de potabilización del agua. Sobre la turbidez eliminada, la turbidez inicial tuvo el mayor efecto positivo, el pH y la velocidad lenta de mezcla tuvieron efectos positivos similares y la dosis tuvo un efecto negativo.
- El análisis de ANOVA estableció que las variables significativas para el olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) de la variedad *Puka Lisa* en el proceso de coagulación y floculación fueron la dosis de olluco, pH del agua, la turbidez inicial y la velocidad lenta de mezcla y las interacciones entre la dosis de olluco con el pH y la dosis de olluco con la velocidad lenta de mezcla.
- El olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) de la variedad *Puka Lisa* obtuvo la mayor remoción de turbidez eliminada, con una dosis de olluco de 100 mg/L, pH de 8.5, turbidez inicial de 500 NTU y una velocidad lenta de mezcla de 40 rpm.
- El olluco (*Ullucus tuberosus* Loz) de la variedad *Puka Lisa* obtuvo un 31.20% más de remoción de turbidez comparado con el sulfato de aluminio (48.80 %), lo que

demostró que el olluco de la variedad *Puka Lisa* es más eficiente con altos niveles de turbidez.

6. RECOMENDACIONES

- Proponer metodología complementaria para preparar el olluco de la variedad *Puka Lisa* como coagulante y floculante.
- Evaluar otras variedades de olluco, por tener el Perú una diversidad de este tubérculo, para el proceso de coagulación y floculación.
- Evaluar la sinergia del almidón con los aminoácidos como el ác. glutámico, ác. aspártico, lisina, arginina e Histidina del olluco de la variedad *Puka Lisa* como coagulante y floculante.

7. BIBLIOGRAFIA

- Abderrezzaq, B., & Keroum, D. (2015). Etude expérimentale et modélisation du processus de la coagulation floculation. *Etude expérimentale et modélisation du processus de la coagulation floculation*. Université Constantine 3 Salah Boubnider, Faculté de génie des procédés pharmaceutiques. Recuperado el 06 de Octubre de 2024, de <https://dspace.univ-constantine3.dz/jspui/handle/123456789/2066>
- Acevedo Zabaleta, J. D. (2012). *Proceso Fotocatalítico Como Alternativa Para La Potabilización De Agua*. Medellín: Departamento De Ingeniería De Procesos.
- Aldana Rivera, E. A. (2012). *Uso del extracto de la semilla de moringa oleifera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/3387>
- Alonso Cainaba, A., & Delgado Díaz, J. E. (2020). Determinación de la efectividad como coagulante y floculante a partir de almidon de papa criolla (*solanum phureja*) en la clarificación de aguas en muestras sintéticas. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/65c88583-ad7f-4b2b-b48d-2d84d5c276aa/content>
- Alvarez Ancalla, N., & Ccahua Ocon, S. T. (2021). Remoción de turbidez usando biocoagulantes "Echinopsis peruviana y opuntia ficus indica" en muestras con suelo del río Tucuri, Santo Tomás. Lima, Lima, Perú: Universidad San Ignacio De Loyola. Obtenido de

<https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/80ed0891-38a9-41c4-9d30-db79fd5e5c7f/content>

Andía Cárdenas , Y. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación*. Lima: SEDAPAL.

Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>

Aranda Tipismana, E. O., & Esquia Zelaya, I. F. (2021). Aplicación del polvo de Moringa

(Moringa Oleífera) como coagulante natural en el tratamiento de agua turbia sintética.

Callao, Perú: Universidad Nacional del Callao. Obtenido de

https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6298/TESIS_PREGRADO_ARANDA_ESQUIA_FIQ_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arbizu, C. (2003). *El cultivo del ulluco en la sierra central*. Lima: Centro internacional de la papa.

Obtenido de https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/01_introduccion.pdf

Arenaz Díaz, E. M. (2019). Efecto de la remoción del aceite de las semillas de Moringa oleifera

en el tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Lima, Lima, Perú: Universidad

Nacional Agraria La Molina. Obtenido de

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/99178b82-8981-456a-81a4-c3a7a562cc88/content>

ASTM Standards. (2009). ASTMd2035-08. *Standar Practice for Coagulation-Flocculation Jar*

Test of Water. Obtenido de [file:///C:/Users/PC/Downloads/toaz.info-coagulation-](file:///C:/Users/PC/Downloads/toaz.info-coagulation-flocculation-jar-test-of-water-astm-d2035-pdf-pr_4d8ca16f031c1ad5f7acb9fa5a16f092.pdf)

[flocculation-jar-test-of-water-astm-d2035-pdf-](file:///C:/Users/PC/Downloads/toaz.info-coagulation-flocculation-jar-test-of-water-astm-d2035-pdf-pr_4d8ca16f031c1ad5f7acb9fa5a16f092.pdf)

[pr_4d8ca16f031c1ad5f7acb9fa5a16f092.pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/toaz.info-coagulation-flocculation-jar-test-of-water-astm-d2035-pdf-pr_4d8ca16f031c1ad5f7acb9fa5a16f092.pdf)

Barba Ho, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición.

Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.

Benalia , A., Baatache, O., Derbal, K., Khalfaoui, A., Amrouci, Z., Pizzi, A., & Panico, A. (2024).

The use of central composite design (CCD) to optimize and model the coagulation-flocculation process using a natural coagulant: Application in jar test and semi-industrial scale. *Journal of Water Process Engineering*, 57. Recuperado el 05 de Octubre de 2024, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714423012242>

Benalia, A., Derbal, K., Amrouci, Z., Baatache, O., Khalfaoui, A., & Pizzi, A. (2024). Aplicación

de coagulantes de origen vegetal y sus mecanismos en el tratamiento del agua: una revisión. *Tech Science Press*, 12. Obtenido de <https://www.techscience.com/jrm/v12n4/57056>

Cachay, C. A. (2021). *Dosis óptima y eficiencia del coagulante sulfato de aluminio utilizado en el*

proceso de floculación para el tratamiento de agua potable de la EPS SEDACAJ.

Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30225/Tesis_Cesar%20Antonio%20Velasquez%20Cachay.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cahuata Corrales, R., & Borda Choque, D. (2021). Evaluación del proceso de coagulación-

floculación en la planta de tratamiento de agua potable Miskiunu-Santo Tomas para la

eliminación de color. Cusco, Cusco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abab del Cusco. Obtenido de

https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/5990/253T20210236_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cogollo Flórez, J. M. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso

del Hidroxicloruro de Aluminio. *DYNA*, 78(165), 18-27. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622372002>

Cuadro Santana, W. A., & Rodas Haz, J. E. (2019). *Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales*. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33216/1/401-1321%20-%20Sustitucion%20coagulantes%20metalicos%20aplicando%20almidon%20yuca%20Moringa.pdf>

Desjardins, R. (2007). *Le traitement des eaux; deuxième édition revue et enrichie*. Presses. Recuperado el 06 de Octubre de 2024, de https://www.google.com.pe/books/edition/Le_traitement_des_eaux/i3Jnfi13pQwC?hl=es&gbpv=1

Dominguez Amorocho, M. F. (2010). Optimización de la coagulación - floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre - Cajasan. Bucaramanga, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. Obtenido de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital_19174.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DS N°024-2009-VIVIENDA. (2009). RNE-Norma OS.020. DS. Lima, Perú. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686373/OS.020%20Plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20potable%20DS%20N%C2%B0%20024-2009.pdf?v=1641411243>

EPS SEDALORETO S.A. (01 de Junio de 2015). Manual de operación y procedimientos: Proceso de tratamiento de agua potable de la EPS SEDALORETO S.A-PTAP Nueva. Iquitos, Perú. Obtenido de

<https://www.sedaloreto.com.pe/transparencia/planeaorganizacion/manuales/3.MaPro-PTAPNueva-Iqts.pdf>

EPS SEDAPAR S.A. (Junio de 2021). Servicio de agua potable y alcantarillado de Arequipa S.A. (SEDAPAR S.A.) 2021-2026. *Proyecto de estudio tarifario*, 161. Arequipa, Perú: SUNASS. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6777725/5872749-estudio-tarifario-de-sedapar-s-a-2021-2026.pdf>

Figueroa Márquez, I. F., Leigue Fernández, M. A., & Angulo Reyes, M. R. (Julio de 2023). Evaluación de la eficiencia como coagulante-floculante del mucílago obtenido a partir de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). Bolivia: Universidad Católica Boliviana San Pablo. Obtenido de http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/3442/AT04-044_23.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gutiérrez García, J. (2022). Moringa Oleifera como coagulante para la disminución de la turbidez en la planta de tratamiento de agua potable Tundayme-Caanton El Pangui, Provincia de Zamora Chinchipe. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22948/4/UPS-CT009993.pdf>

Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2004). *Análisis y diseño de experimentos* (Segunda edición ed.). México: The McGraw-Hill. Obtenido de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf

Hanco, N. (9 de Enero de 2019). Turbidez causa problemas en la producción de agua potable. *Correo*. Obtenido de <https://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/turbidez-causa-problemas-en-la-produccion-de-agua-potable-869630/?ref=dcr>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: Mc Graw Hill Education. Obtenido de <https://www.digitalrepositorio.com/files/original/97a5883a1d6106e6ac908afd7ea838d1.pdf>

Jaramillo Peralta, J. (6 de Septiembre de 2017). Caracterización funcional de los mecanismos de acción internos del garbanzo (*Cicer arietinum* L) para procesos de coagulación-floculación en el tratamiento del agua. Valladolid, México. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25861/TFM-I-696.pdf;jsessionid=D09253A400BA712BBE59E00066F06F62?sequence=1>

León Palacios, E. (2025). Tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos y calidad del agua para consumo humano, Provincia de Huamanga, 2023. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villarreal. Obtenido de https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/10211/UNFV_EUPG_Leon_Palacios_Edward_Maestria_2025.pdf?sequence=1&isAllowed=y

López Díaz, J. F., & López Castro, M. G. (2020). Actividad coagulante del mucilago de cáscara de cacao (*theobroma cacao* L.) para remover turbidez y color en el tratamiento de aguas. Iquitos, Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Obtenido de https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/7169/Jaime_Tesis_Titulo_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

López Pérez, M. (2018). Evaluación del uso de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina. Obtenido de

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1dc7fe35-6cda-465e-b2c9-2004e635691c/content>

López Vidal, R. (2022). Viabilidad técnica y ambiental de la aplicación de agentes de origen vegetal en el proceso de coagulación-floculación en aguas superficiales. Villahermosa, Tabasco, Mexico: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ri.ujat.mx/bitstream/200.500.12107/4522/1/Rocio%20Lopez%20Vidal.pdf

Manrique, I., Arbizu, C., & Vivanco, F. (2017). *Ullucus tuberosus Caldas*. Lima: Centro Internacional de la Papa. Obtenido de <https://cipotato.org/genebankcip/wp-content/uploads/sites/3/2016/07/CIP-Ullucus-Tuberosus-Caldas-2017.pdf>

Marquez Mendoza, H. C. (2019). *Composición nutricional y de mucílago de tres variedades de olluco (Ullucus tuberosus Loz.) para la obtención de chuño de olluco en el distrito de Santo Tomás - Cusco*. Cusco: UNSAAC. Obtenido de https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/3694/253T20190059_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

McMurry, J. (2008). *Química Orgánica*. Mexico: Cengage Learning Editores, S.A.

Melgarejo Salazar, M. S. (2023). Efecto floculante de la *Opuntia ficus indica* pulverizada para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla. Lima, Lima, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/36999/Melgarejo%20Salazar%20Melissa%20Susana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de Salud. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 40. Lima, Lima, Perú. Obtenido de

http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Reglamento_Calidad_Agua%20D.S%20N%C2%B0031-2010-SA.pdf

Ministerio de vivienda. (2006). Planta de tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú.

Obtenido de

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686373/OS.020%20Plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20potable%20DS%20N%C2%B0%20024-2009.pdf?v=1641411243>

Ministerio del Ambiente. (2016). *El Perú y el cambio climático*. Lima: Ministerio del Ambiente.

Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicaci%C3%B3n.pdf>

MINITAB. (24 de Marzo de 2025). *Diseños factoriales y factoriales fraccionados*. Obtenido de

<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/supporting-topics/factorial-and-screening-designs/factorial-and-fractional-factorial-designs/>

Muyibi, S., & Evison, L. (1995). Optimización de parámetros físicos que afectan la coagulación de aguas turbias con semillas de Morninga. *Water Research*, 29. Recuperado el 06 de

Octubre de 2024, de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0043135495001336>

Newcombe, G. (2006). *Interface Science in Drinking Water Treatment*. Victoria, Australia:

Arthur Hubbard.

Nkurunziza, T., Nduwayezu, J., Banadda, E., & Nhapi, Y. (2009). Efecto de los niveles de turbidez y la concentración de *Moringa oleifera* sobre la efectividad de la coagulación en el tratamiento del agua. *Water Science & Technology*, 58(8). Recuperado el 06 de Octubre de 2024, de <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/59/8/1551/12903/The-effect-of-turbidity-levels-and-Moringa>

NPDES. (1982). *EPA150.1*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://monitoringprotocols.pbworks.com/f/EPA150_1.pdf

Oliveros Godínez, I. (Febrero de 2022). Análisis del uso de la molienda de la semilla de mango criollo (*Mangifera Indica*) como coagulante orgánico en el tratamiento de agua para consumo humano. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/16617/1/Irasema%20Karina%20Oliveros%20God%C3%ADnez.pdf>

ONU-Agua. (2019). *Informe de políticas de ONU-Agua sobre el cambio climático y el agua*. ONU-Agua. Obtenido de https://www.unwater.org%2Fapp%2Fuploads%2F2019%2F12%2FUN-Water_PolicyBrief_Water_Climate-Change_ES.pdf&usg=AOvVaw0oXDfqQ-PHFPPFuWV9LqLq

Organización Meteorológica Mundial. (1997). *¿Hay Suficiente Agua en el Mundo?* Organización Meteorológica Mundial. Obtenido de http://www7.uc.cl/sw_educ/hidrologia/Capitulo_1/aguamundo.pdf

- Paca Telenchano, F. I. (2018). *Obtención del polisacárido (almidón) de la cáscara Musa Paradisiaca L., como coagulante natural para el tratamiento del río monjas*. Repositorio Institucional de la Universidad Internacional SEK. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2880/2/tesis%20finalPDF.pdf>
- RM N° 647-2010-MINSA. (2011). *Guía Técnica para la Implementación, Operación y Mantenimiento del "Sistema de Tratamiento Intradomiciliario de Agua para Consumo Humano - MI AGUA"*. Lima, Lima, Perú. Obtenido de <http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Guia%20Tecnica%20MI%20AGUA.pdf>
- Rosero Barzola, C. X. (2021). *Diseño de experimentos y análisis de conjunto*. Samborondón-Ecuador: Universidad ECOTEC.
- Saritha, V., Srinivas, N., & Srikanth Vuppala, N. (2015). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Applied Water Science*, 17. Recuperado el 05 de Octubre de 2024, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-014-0262-y>
- Surco Laos, F. A. (2004). *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (Tropaeolum tuberosum), oca (Oxalis tuberosa), olluco (Ullucus tuberosus) para su aplicación tecnológica*. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/cf005ef3-02ac-454b-9785-2598a9935748/content>
- Syah, R., & Fitria, F. (2023). Effect of Rapid-Mixing Duration on Floc Growth in the Coagulation of Peat Water with Sesbania grandiflora Seed as Measured by DinoCapture2.0. *Proceedings of the 1st Nusa Tenggara International Conference on Chemistry*, 4.

Recuperado el 06 de Octubre de 2024, de
https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=1FK5EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA40&ots=D7m8_U95-y&sig=cYjVN8v1KSIX4NBLVwLcOfGOFi8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Wei Lun, A., & Abdul Wahab, M. (20 de July de 2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of cleaner production*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620313147>

Zheng, H., Zhu, G., Jiang, S., Tshukudu, T., Xiang, X., Zhang, P., & He, Q. (2011). Investigations of coagulation–flocculation process by performance optimization, model prediction and fractal structure. *Desalination*, 269. Recuperado el 07 de Octubre de 2024, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916410007691>;

8. APÉNDICE

APENDICE I DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 16

Pesos de muestra antes y después de la operación unitaria de pelado.

Peso	Peso 1 (gr)	Peso 2 (gr)	Peso 3 (gr)	Media (gr)
Inicial	22.85	19.57	20.63	21.02 ± 1.67
Final	13.26	13.84	12.97	13.36 ± 0.44

Tabla 17*Tabla de resultados del proceso con la muestra.*

N° de Corrida	D (mg/L)	pH	Ti (NTU)	V (rpm)	Tf1 (NTU)	Tf2 (NTU)	Tf3 (NTU)	Tf (NTU)	Te (NTU)	%Te (%)
1	80	7.5	300	30	116	106	140	120.67±17.47	179.33	59.78
2	100	8.5	100	20	75	69	63	69±6	31.00	31.00
3	60	8.5	100	40	71	62	56	63±7.55	37.00	37.00
4	60	6.5	100	20	74	64	66	68±5.29	32.00	32.00
5	60	6.5	500	40	138	149	159	148.67±10.5	351.33	70.27
6	60	8.5	500	20	156	148	157	153.67±4.93	346.33	69.27
7	100	6.5	100	40	73	72	74	73±1	27.00	27.00
8	100	6.5	500	20	261	242	244	249±10.44	251.00	50.20
9	100	8.5	500	40	89	79	104	90.67±12.58	409.33	81.87
10	80	7.5	300	30	113	114	122	116.33±4.93	183.67	61.22
11	80	7.5	300	30	101	111	114	108.67±6.81	191.33	63.78

Tabla 18*Tabla de resultados de la medición del pH.*

N° de Corrida	D (mg/L)	pH	Ti (NTU)	V (rpm)	pHf1	pHf2	pHf3	pHf	ΔpH
1	80	7.5	300	30	7.55	7.49	7.65	7.56±0.08	-0.06
2	100	8.5	100	20	8.12	8.13	8.25	8.17±0.07	0.33
3	60	8.5	100	40	8.12	8.35	8.25	8.24±0.11	0.26
4	60	6.5	100	20	6.53	6.57	6.55	6.55±0.02	-0.05
5	60	6.5	500	40	6.55	6.60	6.49	6.54±0.06	-0.04
6	60	8.5	500	20	8.15	8.19	8.21	8.18±0.03	0.32
7	100	6.5	100	40	6.56	6.54	6.59	5.56±0.03	0.94
8	100	6.5	500	20	6.57	6.50	6.58	6.55±0.05	-0.05
9	100	8.5	500	40	8.08	8.10	8.16	8.11±0.04	0.39
10	80	7.5	300	30	7.49	7.36	7.66	7.5±0.15	0
11	80	7.5	300	30	7.54	7.44	7.63	7.54±0.09	-0.04

Tabla 19

Tabla de resultados de la medición de la conductividad eléctrica.

N° de Corrida	CEi1 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CEi2 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CEi3 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CEi ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CEf1 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CEf2 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CEf3 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CEf ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	ΔCE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	442	440	542	474.66 \pm 58.32	475	465	547	495.67 \pm 44.73	21.01
2	473	472	474	473 \pm 1	498	495	503	498.67 \pm 4.04	25.67
3	473	472	474	473 \pm 1	486	497	483	488.67 \pm 7.37	15.67
4	499	497	481	492.33 \pm 9.87	544	560	540	548 \pm 10.58	55.67
5	588	584	584	585.33 \pm 2.31	588	580	592	596.67 \pm 6.11	11.34
6	566	563	563	564 \pm 1.73	589	571	588	582.67 \pm 10.11	18.67
7	499	497	481	492.33 \pm 9.87	494	502	481	492.33 \pm 10.59	0
8	588	584	584	585.33 \pm 2.31	632	633	625	630 \pm 4.35	44.67
9	566	563	563	564 \pm 1.73	580	565	587	577.33 \pm 11.23	13.33
10	442	440	542	474.67 \pm 58.32	473	461	576	503.33 \pm 63.21	28.66
11	442	440	542	474.66 \pm 58.32	474	541	563	526 \pm 46.35	51.34

Tabla 20

Resultados de la comparación de la muestra con el sulfato de aluminio.

D (mg/L)	pH	Ti (NTU)	V (rpm)	CEi (μ S/cm)	Tf (NTU)	Te (NTU)	%Te (%)	pHf	CEf (μ S/cm)
100	8.5	500	40	622	100	400	80.00	8.32	649
100	8.5	500	40	622	256	244	48.80	6.25	685

9. ANEXOS

ANEXO I

Tabla 21

LMP de parámetros de calidad organoléptica del agua potable.

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Olor	---	Aceptable
Sabor	---	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	NTU	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad (25°C)	µmho/cm	1500
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
Cloruros	mg Cl/L	250
Sulfatos	mg SO ₄ /L	250
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	500
Amoniaco	mg N/L	1.5
Hierro	mg Fe/L	0.3
Manganeso	mg Mn/L	0.4
Aluminio	mg Al/L	0.2
Cobre	mg Cu/L	2
Zinc	mg Zn/L	3
Sodio	mg Na/L	200

Nota: Adaptado del Reglamento de Calidad de Agua Potable (Ministerio de Salud, 2011)

ANEXO II

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MUESTRA


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú


 UNIDAD DE PRESTACION DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS
Nº0133-24-LAQ
SOLICITANTE : JOEL APAZA MENDOZA
 ANGEL ARQUIMEDES APAZA PUMA

MUESTRA : OLLUCO
CODIGO : 010774/EEA/409

FECHA : C/24/04/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

	1
Humedad %	88,53
Proteína %	1,20
Grasa %	0,14
Ceniza %	0,74
Fibra %	0,82
Carbohidratos %	9,39
Energía Kcal/100	43,62
Calcio mg/100	3,85
Fosforo mg/100	25,35
Hierro mg/100	1,95
Muclago %	4,55

Métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.09, AOAC 962.05

AOAC 985.35, AOAC Hierro Ortofenantrolina. Muclago Gravimétrico.

Cusco, 13 de Mayo 2024

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios de Análisis Químico
 Mercedes Jervana Arístide
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

ANEXO III

PERFIL DE AMINOÁCIDOS DE LA MUESTRA



INFORME DE ENSAYO

Nº de Referencia:	AL-24/145910	Registrada en:	AGQ Perú	Cliente (*):	Michael Angel Arquimides Apaza Puma
Análisis:	PRO-CO-0020	Centro Análisis:	AGQ Alkemi	Domicilio (*):	NO INDICADO
Tipo Muestra:	OLLUCO	Fecha Recepción:	23/08/2024	Contrato:	QMT-FE240800433
Fecha Inicio:	16/09/2024	Fecha Fin:	08/10/2024	Cliente 3>(*):	---
Descripción(*):	TUBÉRCULOS DE OLLUCO (ULLUCUS TUBEOSUS CALDAS) FRECO DE LA VARIEDAD PUKA LISA				
Fecha/Hora Muestreo:	22/08/2024	Muestreado por:	*Cliente (*)		
Lugar de Muestreo:	BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIA				
Punto de Muestreo:	409 - 010774				

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los resultados reflejados en el presente informe se refieren únicamente a la muestra tal como es recibida en el laboratorio y sometida a ensayo. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, tanto la asociada a la toma de muestras realizada por él como a otros datos descriptivos, marcados con (*) y que se encuentran fuera de nuestro alcance de Acreditación.

Almudena Triguero Navarro
LAB NUTRICIONAL

FECHA EMISIÓN: 08/10/2024

OBSERVACIONES (*):
MUESTREADOR: Michael Angel Arquimides Apaza Puma



Código de verificación

Nº de Referencia:	AL-24/145910	Tipo Muestra:	OLLUCO
Descripción(*):	TUBÉRCULOS DE OLLUCO (ULLUCUS TUBEOSUS CALDAS) FRECO DE LA VARIEDAD PUKA LISA	Fecha Fin:	08/10/2024

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA
Aminoácidos				
Ác. Glutámico	0,17	%	-	
Alanina	0,06	%	-	
Arginina	0,05	%	-	
Aspartico	0,15	%	-	
Cistina	0,14	%	-	
Fenilalanina	0,05	%	-	
Glicina	0,05	%	-	
Histidina	0,25	%	-	
Isoleucina	0,05	%	-	
Leucina	0,06	%	-	
Lisina	0,07	%	-	
Metionina	0,01	%	-	
Prolina	0,07	%	-	
Serina	0,03	%	-	
Tirosina	0,20	%	-	
Treonina	0,04	%	-	
Triptófano	8,10	%	-	
Valina	0,06	%	-	

Nota. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. Los resultados emitidos, no han sido corregidos con valores de recuperación. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. La incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura $k=2$, para un nivel de confianza aprox del 95%.

Nº de Referencia: AL-24/145910	Tipo Muestra: OLLUCO
Descripción(*): TUBÉRCULOS DE OLLUCO (ULLUCUS TUBEOSUS CALDAS) FRECO DE LA VARIEDAD PUKA LISA	Fecha Fin: 08/10/2024

ANEXO TÉCNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec (#)
Aminoácidos				
Ác. Glutámico	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Alanina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Arginina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Aspartico	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Cistina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Fenilalanina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Glicina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Histidina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Isoleucina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Leucina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Lisina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Metionina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Prolina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Serina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Tirosina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Treonina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %
Triptófano	AQ-263	HPLC		0,01 %
Valina	AQ-262	HPLC/UV-VIS		0,01 %

(*) El Lim Cuantif es el valor a partir del cual detectamos. El Lim Detec es el valor a partir del cual cuantificamos (plica a ensayo cualitativo). Para los parámetros de fiabilidad es el AAO.

ANEXO IV

CUANTIFICACIÓN DE ALMIDON EN LA MUESTRA



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS
S.A.C.

INFORME DE ENSAYO

IE-2024-2200

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : MICHAEL APAZA PUMA
1.2 RUC o DNI : 47862652
1.3 Dirección : AV. LOS INCAS 1044 D 201

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : ALIMENTOS
2.2 Muestreado por : CLIENTE (H)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-09-10
2.5 Período de Ensayo : 2024-09-10 al 2024-09-17
2.6 Fecha de Emisión : 2024-09-19
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-142400-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	METODO
Almidón	AOAC 925.38 21st Edition

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Tubérculos de Olluco
(Ullucus Tuberosus Caldas) fresco de la variedad Puka Lisa. (H)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-2024-2200

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS ALMIDON

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

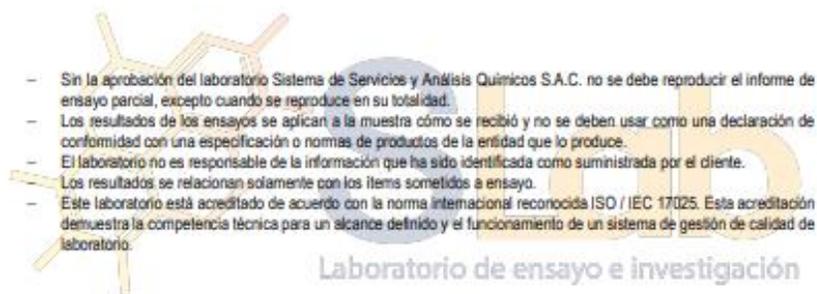
Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-4019	Almidón	%	0.01	5.10

Nota: El valor reportado hace referencia a g de almidón/ 100g de muestras

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

^H Información suministrada por el cliente.



- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente. Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

ANEXO V

FICHA TÉCNICA ÁCIDO CLORHÍDRICO



3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA

Website: www.sigmaldrich.comEmail USA: techserv@sial.comOutside USA: eurtechserv@sial.com

Product Specification

Product Name:
HYDROCHLORIC ACID, 37%, A.C.S. REAGENT &

Product Number: 320331
CAS Number: 7647-01-0
MDL: MFCD00011324

HCl

TEST	Specification
Appearance (Clarity) Free from Suspended Matter or Sediment	Clear
Appearance (Color)	Colorless
Appearance (Form)	Liquid
Color Test	≤ 10 APHA
Titration with NaOH	36.5 - 38.0 %
Residue on Ignition (ppm)	≤ 5 ppm
Arsenic (As)	≤ 0.01 ppm
Bromide	≤ 0.005 %
Iron (Fe)	≤ 0.2 ppm
Free Chlorine	≤ 1 ppm
Heavy Metals (by ICP)	≤ 1 ppm
Ammonium	≤ 3 ppm
Sulfite (ppm)	≤ 1 ppm
Sulfate	≤ 1 ppm
Meets ACS Requirements	Current ACS Specification
Recommended Retest Period 2 years

Specification: PRD.5.ZQ5.10000055701

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.



ANEXO VI

FICHA TÉCNICA HIDRÓXIDO DE SODIO



Specification

1.06482.1000 Sodium hydroxide pellets EMPROVE® ESSENTIAL Ph Eur,BP,FCC,ChP, JP,NF,E 524

	Specification	
Assay (acidimetric,NaOH)	≥ 98.0	%
Assay (total alkalinity calc. as NaOH)	98.0 - 100.5	%
Assay (Na)	54.0 - 59.8	%
Identity	passes test	
Appearance of solution	passes test	
Insoluble substances and organic matter	passes test	
Carbonate (as Na ₂ CO ₃)	≤ 0.5	%
Chloride (Cl)	≤ 0.015	%
Phosphate (PO ₄)	≤ 0.002	%
Silicate (SiO ₂)	≤ 0.01	%
Sulfate (SO ₄)	≤ 0.010	%
Total nitrogen (N)	≤ 0.0005	%
Heavy metals (as Pb)	≤ 0.0005	%
Al (Aluminium)	≤ 0.001	%
As (Arsenic)	≤ 0.0003	%
Cu (Copper)	≤ 0.0005	%
Fe (Iron)	≤ 0.0010	%
Hg (Mercury)	≤ 0.00001	%
K (Potassium)	≤ 0.1	%
Pb (Lead)	≤ 0.00005	%
Zn (Zinc)	≤ 0.0025	%
Residual solvents (ICH Q3C)	excluded by manufacturing process	

Elemental impurity specifications have been set considering ICH Q3D (Guideline for Elemental Impurities).
 Class 1-3 elements are not likely to be present above the ICH Q3D option 1 limit, unless specified and indicated (*).
 Conforms to Ph Eur, BP, FCC, ChP, JP, NF, E524
 Conforms to the purity criteria on food additives according to the current European Commission Regulation.

Dr. Dimitrij Ryvlin
 Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

ANEXO VII

FICHA TÉCNICA HIDRÓXIDO DE SODIO





SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO A PANTERA

SULFATO DE ALUMINIO

FICHA TÉCNICA

Nombre comercial	Sulfato de Aluminio Granulado Tipo A Pantera	
Peso molecular	594.14 g/mol.	
Formula química	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	
Apariencia	Cristales color blanco	

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
Aluminio Total Soluble, Al_2O_3, %	Min. 17.0	Q-M-LSAL-02
Basicidad, Al_2O_3, %	Máx. 0.60	Q-M-LSAL-01
Hierro Total Soluble, Fe_2O_3, %	Máx. 0.05	Q-M-LSAL-04
Insolubles, %	Máx. 0.50	Q-M-LSAL-05
Malla 4 (4.75 mm), % Pasante	100	Q-M-LSAL-03
Malla 6 (3.35 mm), % Pasante	100	Q-M-LSAL-03
Malla 10 (2.00 mm), % Pasante	Min. 90	Q-M-LSAL-03

*Registro Sanitario N° RSDAN7616.
 Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP 311.095.1999 y la norma internacional ANSI/AWWA B403-93 para productos químicos usados en el tratamiento del agua para consumo humano.*



USOS

- Coagulante principal en el tratamiento de agua para consumo humano para remover los contaminantes coloidales y en la mayoría de los procesos de separación de sólidos.
- En tratamiento de agua para consumo humano, la dosis máxima no debe exceder 180 mg/L (NSF).
- Se emplea en todo proceso de tratamiento de agua para remoción de sólidos en industria, minería, agua para riego, pesquera, etc.

PRESENTACIONES

Bolsas de 25 kg y 50 kg, Big Bag de 500 kg, 800 kg, 1000 kg y 1250 kg

Av. Industrial 491 Lima, Perú
 (511) 336 5428 A; 5517 | uquimicos@aris.com.pe | www.quimicos.aris.com.pe

ANEXO VIII

HOJA MSDS DEL HIDRÓXIDO DE SODIO



UN Químicos

ARIS

**SULFATO DE ALUMINIO
GRANULADO TIPO A PANTERA**

SULFATO DE ALUMINIO

HOJA DE SEGURIDAD

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Nombre comercial Sulfato de Aluminio Granulado Tipo A Pantera

Dirección / Teléfono de la empresa formuladora y titular: ARIS Industrial S.A.

Av. Industrial 491 - Lima 1 - Perú | Teléfono: 336-5428 Anexo 5513 | vquimicos@aris.com.pe

2. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Clasificación de los riesgos de la sustancia química: Clase 8

a) Riesgos para la salud humana:

Ojos	Produce irritación.
Piel	Produce leve irritación.
Inhalación	Produce leve irritación.
Ingestión	Irritaciones en las membranas mucosas en la boca, garganta, esófago y tracto gastrointestinal.

b) Riesgos para el medio ambiente: puede ser dañino a la vida acuática.

c) Riesgos especiales de la sustancia: Su toxicidad tiene que ver con el pH ácido; es además astringente.

d) Carcinógeno: No está clasificado como carcinógeno.

3. COMPOSICIÓN

Composición	Número CAS	%
Sulfato de Aluminio	16828-12-9	57.0
Agua	7732-18-5	43.0

4. PRIMEROS AUXILIOS

En caso de contacto accidental con el producto, proceder de acuerdo con:

- **Contacto con la piel:**
Lavar con abundante agua corriente y jabón durante 15-20 minutos. Si la irritación persiste, solicite asistencia médica.
- **Contacto con los Ojos:**
Sostenga el ojo abierto y enjuague suavemente con abundante agua durante 15-20 minutos. Sacarse los lentes de contacto, si están presentes, después de los primeros 5 minutos; y luego continuar enjuagando, si la irritación persiste, solicitar asistencia médica.
- **Inhalación:**
Lleve a la persona al aire fresco.
- **Ingestión:**
No Inducir el vómito y pedir asistencia médica.

En caso de EMERGENCIA llame a: SAMU: 106 | Aris Industrial S. A: (01) 336-5428

5. EXTINCIÓN DE INCENDIOS

- **Medios de extinción adecuados:**
Espuma química, agua, dióxido de carbono o polvo seco ABC.
- **Riesgos especiales:**
No es combustible, no es oxidante ni reductor.



SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO A PANTERA

SULFATO DE
ALUMINIO

HOJA DE SEGURIDAD

Procedimientos especiales para combatir el fuego:
Asperjar con agua para enfriar envases.

- **Equipo de protección personal para el combate del fuego:**
El personal debe ingresar utilizando ropa adecuada para combatir incendios de productos químicos corrosivos, y equipo de respiración autónoma, botas de seguridad.
- **Productos peligrosos que se liberan de la combustión:**
Óxido de azufre y óxido de aluminio.

6. DERRAMES ACCIDENTALES

- **Medidas de emergencia a tomar si hay derrames del material:**
Recoger rápidamente con pala, recogedor, escoba. Colocar el material en recipientes claramente identificados. Para su posterior eliminación.
- **Equipo de Protección Personal para atacar la emergencia:**
Usar vestimenta que cubra el cuerpo, así como también guantes, anteojos, mascarilla para polvo.
- **Precauciones a seguir para evitar daños al ambiente:**
Evitar que el producto y la solución de lavado ingresen a cursos de agua, alcantarillas y/o desagües.
- **Métodos de Eliminación de Desechos:**
Barrer y recoger en recipientes claramente identificados, finalmente trasladar a un botadero autorizado para este tipo de sustancias, de acuerdo a lo dispuesto por la autoridad competente.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAJE

- **Precauciones a Tomar:**
Manipulación con implementos de seguridad, guantes de goma puño largo, lentes, ropa para productos químicos, mascarilla para polvos.
- **Recomendaciones específicas sobre manipulación segura:**
Manipular en un local de trabajo bien ventilado. Durante la manipulación no beber, comer ni fumar. Evitar el contacto con los ojos. El personal involucrado con su manipulación debe tener todos los elementos de protección recomendados.
- **Condiciones de Almacenamiento:**
Almacene en un lugar fresco y seco y bien ventilado; los envases deben estar bien cerrados, porque pueden ganar o perder agua, en condiciones desfavorable de almacenaje debido a que contiene aprox. 14 moles de agua de constitución, pudiendo llegar hasta completar las 18 moles de agua (hidrato químicamente más estable).

8. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Medidas para reducir la posibilidad de exposición	Utilizar los elementos de protección recomendados	Guantes de protección	De Neopreno o PVC.
Parámetros de Control	No aplicables.	Protección de la vista	Gafas de seguridad o protector facial.
Límites Permisibles ponderados (LPP) y Absoluto (LPA)	No establecidos.	Otros equipos de Protección	Overol de algodón.
Protección respiratoria	Se recomienda el uso de mascarilla para polvos.	Ventilación	Use sólo en áreas bien ventiladas.



UN Químicos

ARIS

**SULFATO DE ALUMINIO
GRANULADO TIPO A PANTERA**

SULFATO DE ALUMINIO

HOJA DE SEGURIDAD

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado Físico	Sólido Granulado	Temperatura de Fusión	90 - 95
Apariencia	Blanco	Temperatura de Inflamación	No aplica
Olor	Característico	pH, 50 g/L, (25°C)	3.5 aproximado
Temperatura de Ebullición	No Aplica	Solubilidad en Agua, 20°C	Fácilmente soluble
Densidad, g/mL	0.94 – 0.98		

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD QUÍMICA

- Estabilidad:**
 Relativamente estable. Puede ganar o perder agua de cristalización en condiciones desfavorables de almacenaje, en las zonas de la costura del saco, especialmente en almacenes húmedos y con cambios considerables de temperatura. Debe almacenarse siempre bajo techo, a la sombra.
- Condiciones que deben evitarse:**
 Se debe evitar almacenar con álcalis o agentes oxidantes fuertes.
- Materiales incompatibles:**
 Agentes fuertemente oxidante. Reacciona con álcalis y ataca a muchos metales en presencia de agua.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

DL/50 Dérmica Ratas	Mayor de 2000 - 5000 mg/kg	Clasificación Toxicológica	III Ligeramente Peligroso (Franja Azul, Pantone 293C)
CL/50 Inhalatoria Ratas	Mayor de 5.0 mg/L de aire (4 horas exposición continua)	Frases de Advertencia	Cuidado
DL/50 Oral Ratas	Mayor de 2000 - 5000 mg/kg		

12. INFORMACION RELACIONADA AL MEDIO AMBIENTE

Toxicidad a los peces	TLM (48 horas, pez mosquito) = 240 mg/L.
Efectos Ambientales	Puede ser dañino a la vida acuática. Su toxicidad se asocia con el pH ácido. Cuando el suelo se contamina con este material éste se acidifica.
Biodegradabilidad	No disponible.
Consideraciones generales	En exceso puede ser dañino para la vida acuática. Su toxicidad está asociada con el pH ácido. Cuando el suelo se contamina con este material se acidifica.

13. CONSIDERACIONES PARA SU DISPOSICIÓN

Disponer de acuerdo con la legislación local, regional o nacional. Si no se dispone, consultar la legislación internacional.

14. INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE

N° ONU	-
Clase	-



Riesgo Secundario	-
Grupo de Embalaje	-
Clasificación NFPA	
Salud	1
Inflamabilidad	0
Reactividad	0

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Según las normativas internacionales:
 Normas internacionales aplicables: IATA, IMDG.
 Normas nacionales aplicables: DS 298/94 – 198/0.

16. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Los datos consignados en esta hoja informativa fueron obtenidos de fuente confiable, como las Normas Internacionales para productos químicos, sin embargo, se entregan sin garantía expresa o implícita respecto a su exactitud o corrección. Las opiniones expresadas en este formulario son de profesionales capacitados. La información que se entrega en él, es la conocida actualmente sobre la materia. Considerando que el uso de esta información y de sus productos está fuera del control del proveedor, la empresa no asume responsabilidad alguna por este concepto. Es obligación del usuario trabajar en condiciones de uso seguro del producto, en base a la presente información.

Fecha de emisión: 22/01/2024
 Versión: 01

Av. Industrial 491 Lima, Perú
 (511) 336 5428 A: 5517 | vquimicos@aris.com.pe | www.quimicos.aris.com.pe