



*La investigación, su esencia y arte.*

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL**

**TESIS**

**Evaluación de la eficiencia del almidón de tres variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) como coagulante para la remoción de turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas - Tayacaja, 2023.**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

LI2: Seguridad ambiental y adaptación al cambio climático.

**OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE:**

AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO

**CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO OCDE:**

2.00.00 (2.07.00)

**PRESENTADO POR:**

Canchari Suarez, Luz Mayli

(ORCID: 0009-0001-7763-0794)

Flores Pituy, Betsy Lizzie

(ORCID: 0009-0001-1536-0514)

**ASESOR:**

Dr. Alvarez Ticllasuca, Adiel

(ORCID: [0000-0002-5410-0571](https://orcid.org/0000-0002-5410-0571))

**Ahuaycha – Perú**

2025

## FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA DE ACTO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DE TITULACIÓN PROFESIONAL			
N°	007	Fecha	15/07/2025
			Página 1 de 2

En esta acta, se describe y hace constar, la realización del acto de SUSTENTACIÓN DE TESIS DE TITULACIÓN PROFESIONAL, cuyos datos se consignan a continuación:

1. Escuela Profesional y Facultad	
Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental	Facultad de Ingeniería

2. Título Profesional Optado
Ingeniero Forestal y Ambiental

3. Título de Tesis
"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL ALMIDÓN DE TRES VARIEDADES DE PAPAS NATIVAS ( <i>Solanum tuberosum</i> ) COMO COAGULANTE PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL DISTRITO DE PAMPAS - TAYACAJA, 2023"

4. Tesista
CANCHARI SUAREZ LUZ MAYLI
FLORES PITUY BETSY LIZZIE

5. Asesor de Tesis
Dr. ÁLVAREZ TICLLASUCA ADIEL

6. Jurado de Tesis			
N°	Apellidos y Nombres	DNI	Cargo
1.	Dr. ANGELES SUAZO JULIO MIGUEL	47579797	Presidenta
2.	Mg. GUTIÉRREZ COLLAO JAIRO EDSON	72023583	Secretaria
3.	Dr. ADIEL ÁLVAREZ TICLLASUCA	47404015	Vocal

7. Resolución Autoritativa		
Tipo	N°	Fecha
Resolución de Coordinación	35-2025-UNAT/FI	1.07.2025

8. Lugar
Auditorio - Pabellón de Enfermería- Facultad de Ciencias de la Salud - Ciudad Universitaria - Distrito de Ahuaycha / Provincia de Tayacaja / Departamento Huancavelica

9. Fecha y Horas de Inicio y de Término		
Fecha	Hora de Inicio	Hora de Término
15/07/2025	15:00	16:30

10. Resultado		
Situación <sup>1</sup>	Calificación	Condición <sup>2</sup>
APROBADO	14	REGULAR

## FACULTAD DE INGENIERÍA



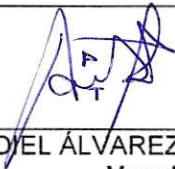
ACTA DE ACTO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DE TITULACIÓN PROFESIONAL						
N°	007	Fecha	15.07.2025			Página 2 de 2

1. Indicar: Aprobado o Desaprobado., según corresponda.
2. Indicar: Excelente, Muy Bueno, Bueno, Regular o Desaprobado, según corresponda.

En consecuencia, el/la tesista:

- SI queda en condición de recibir el indicado Título Profesional, de conformidad con las normas legales, estatutarias y reglamentarias aplicables en materia del proceso de titulación profesional.
- NO queda en condición de recibir el indicado Título Profesional, de conformidad con las normas legales, estatutarias y reglamentarias aplicables en materia del proceso de titulación profesional.

Siendo la hora de término antes consignada, se da por concluido el ACTO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DE TITULACION PROFESIONAL, firmando a continuación los intervinientes, en señal de conformidad de lo acontecido y consignado.

	
Dr. ANGELES SUAZO JULIO MIGUEL <b>Presidente</b>	
	
Mg. GUTIÉRREZ COLLAO JAIRO EDSON <b>Secretario</b>	Dr. ADYEL ÁLVAREZ TICLLASUCA <b>Vocal</b>

## **CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 008-2025**


EL DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA DANIEL HERNÁNDEZ MORILLO, QUIEN SUSCRIBE:

### **HACE CONSTAR:**

Que la tesis titulada: "Evaluación de la eficiencia del almidón de tres variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) como coagulante para la remoción de turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas – Tayacaja, 2023", desarrollado por las Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental **LUZ MAYLI CANCHARI SUAREZ** y **BETSY LIZZIE FLORES PITUY**, asesorado por el **Dr. Adiel Álvarez Ticllasuca**, cumple con los requisitos de conformidad de originalidad mediante (*software Anti plagio Turnitin*), evidenciándose en el informe de originalidad un porcentaje de similitud de dieciocho (18%), el cual se encuentra dentro del parámetro establecido por la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo.

Se expide la presente constancia para los fines que estime conveniente.

Pampas, 23 de junio de 2025

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Gino Paul Prieto Rosales**  
Director de la Unidad de Investigación  
de la Facultad de Ingeniería

## **Agradecimiento**

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a Dios, por otorgarnos la fortaleza y la sabiduría necesarias para llevar a cabo este trabajo de investigación. Su guía y protección han sido pilares fundamentales en cada etapa de este proceso académico.

También queremos manifestar nuestra profunda gratitud hacia todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este proyecto. De igual manera, deseamos agradecer a nuestro asesor, el Dr. Adiel Alvarez Ticllasuca, por su orientación experta, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso. Su sabiduría y dedicación fueron elementos cruciales para dar forma a este trabajo y para nuestro desarrollo académico y personal.

Además, no podemos dejar de agradecer a nuestras familias por su amor incondicional, su apoyo constante y su comprensión a lo largo de esta travesía académica. Su aliento continuo y sus sacrificios han sido nuestra mayor motivación para seguir adelante, y este logro es también suyo.

Asimismo, agradecemos profundamente el uno al otro por el ánimo, la comprensión y el apoyo durante los momentos difíciles. Haber compartido esta etapa ha hecho más llevadero el proceso y ha enriquecido nuestras vidas de formas inimaginables.

## **Dedicatoria**

Querida familia, amigos y profesores, con profunda gratitud y alegría dedico este trabajo a cada uno de ustedes. A mi familia, por su apoyo incondicional y por ser mi fuente inagotable de inspiración. A mis amigos, por estar siempre a mi lado, compartiendo risas, preocupaciones y momentos inolvidables que han hecho de esta travesía académica un viaje emocionante. A mis profesores, por su sabiduría, paciencia y dedicación en guiarme a través del laberinto del conocimiento, ayudándome a crecer no solo académicamente, sino también como persona. Sin su constante apoyo y estímulo, este logro no sería posible. Este trabajo está dedicado con profundo amor y gratitud a todos aquellos que han sido parte de mi camino hacia el éxito.

**Luz Mayli**

A mis padres, quienes han sido mi más grande ejemplo de esfuerzo y sacrificio, les dedico este trabajo con todo mi corazón. Su constante motivación y apoyo han sido mi mayor fortaleza durante este arduo camino. A mis hermanos, por ser mi red de contención y fuente de ánimo en los momentos difíciles. A mis queridas amigas, por su complicidad, alegría y por acompañarme en cada paso de esta aventura académica. A mis profesores y mentores, por su sabiduría, guía y por desafiarme a superar mis límites. A cada uno de ustedes les debo una parte de este logro y les dedico esta tesis como un humilde gesto de gratitud por todo lo que han hecho por mí. Sin su apoyo incondicional, este sueño no sería una realidad.

**Betsy Lizzie**

## Contenido

Agradecimiento.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos .....	2
1.3. Justificación e importancia .....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Formulación de hipótesis.....	4
1.5.1. Hipótesis general .....	4
1.5.2. Hipótesis específicas .....	4
II. Marco teórico .....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.1.1. Internacionales .....	5
2.1.2. Nacionales .....	5
2.1.3. Locales .....	7
2.2. Bases teóricas y conceptuales.....	7
2.2.1. Agua .....	7

2.2.2.	Propiedades generales del agua.....	8
2.2.3.	Contaminación del agua .....	8
2.2.4.	Calidad del agua .....	11
2.2.5.	Papa .....	11
2.2.6.	Papas nativas .....	12
2.2.7.	Almidón.....	13
2.2.8.	Almidón de papa .....	13
2.2.9.	Turbidez .....	14
2.2.10.	Color.....	14
2.2.11.	Sólidos disueltos totales .....	14
2.2.12.	Floculación .....	15
2.2.13.	Coagulación.....	15
2.2.14.	Coagulante natural de la papa .....	20
2.2.15.	Mecanismo de remoción de contaminantes del agua .....	21
III.	Metodología.....	22
3.1.	Tipo de investigación .....	22
3.2.	Nivel de investigación .....	22
3.3.	Método de investigación.....	22
3.3.1.	Materiales necesarios .....	22
3.3.2.	Muestreo del agua .....	24
3.3.3.	Proceso de obtención del almidón de las papas nativas.....	25
3.3.4.	Tratamiento del agua a través del almidón.....	26
3.3.5.	Cálculo de porcentaje de remoción .....	26
3.3.6.	Análisis de la turbidez, color y sólidos disueltos .....	27
3.4.	Diseño de investigación.....	27
3.5.	Población, muestra y muestreo.....	28
3.5.1.	Población.....	28

3.5.2.	Muestra.....	28
3.5.3.	Muestreo:.....	29
3.6.	Identificación y operacionalización de variables .....	29
3.6.1.	Identificación de variables .....	29
3.6.2.	Operacionalización de variables.....	30
3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	31
3.7.1.	Técnicas.....	31
3.7.2.	Instrumentos .....	31
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	31
3.8.2.	Análisis de datos.....	32
3.9.	Aspectos éticos y regulatorios .....	33
IV.	Resultados.....	35
4.1.	Almidón de las distintas variedades de papa.....	35
4.2.	Caracterización del agua en planta de tratamiento para consumo humano.....	38
4.3.	Resultados de la concentración final y % de remoción del color.....	39
4.4.	Resultados de la concentración final y % de remoción de turbidez .....	45
4.5.	Resultados de la concentración final y % de remoción de STD.....	50
4.6.	Prueba de hipótesis contrastación de hipótesis de la investigación.....	55
4.6.1.	Prueba de normalidad.....	55
4.6.2.	Contrastación de hipótesis para la remoción de color.....	57
4.6.3.	Contrastación de hipótesis para la remoción de turbidez.....	59
4.6.4.	Contrastación de hipótesis para la remoción de STD .....	61
V.	Discusión .....	64
VI.	Conclusiones.....	67
VII.	Recomendaciones .....	68
VIII.	Referencias bibliográficas .....	69
IX.	Anexo .....	

## Índice de tablas

Tabla 1 Alteraciones físicas del agua.....	9
Tabla 2 Alteraciones químicas del agua.....	10
Tabla 3 Límite Máximo Permisible (LMP) de parámetros de calidad organoléptica.....	11
Tabla 4 Niveles de las variables de estudio .....	28
Tabla 5 Arreglo factorial 3 <sup>2</sup> .....	28
Tabla 6 Operacionalización de variables.....	30
Tabla 7 Parámetros iniciales del agua .....	39
Tabla 8 Resultados de concentración final del color en cada tratamiento.....	40
Tabla 9 Resultados de % de remoción de color.....	42
Tabla 10 Resultados de la turbidez final en cada tratamiento .....	45
Tabla 11 Resultados de % de remoción de turbidez .....	47
Tabla 12 Resultados de concentración final del STD.....	50
Tabla 13 Resultados de % de remoción de STD .....	52
Tabla 14 Análisis de varianza para la remoción de color .....	58
Tabla 15 Resumen del modelo.....	58
Tabla 16 Análisis de varianza para la remoción de turbidez .....	60
Tabla 17 Resumen del modelo.....	60
Tabla 18 Estadística descriptiva de las medias de los niveles de remoción de STD.....	62
Tabla 19 Prueba de hipótesis para remoción de STD por almidón de distintas variedades de papa .....	62
Tabla 20 Estadística descriptiva de las medias de los niveles de remoción de STD.....	63
Tabla 21 Prueba de hipótesis para remoción de STD por almidón de distintas concentraciones del coagulante.....	63

## Índice de figuras

Figura 1 Coagulación.....	15
Figura 2 Atracción y repulsión.....	16
Figura 3 Re estabilización de partículas .....	17
Figura 4 Atrapamiento de las partículas.....	18
Figura 5 Efecto de puente de las partículas en suspensión .....	19
Figura 6 Fases de la coagulación.....	20
Figura 7 Interacción de $\pi$ -electrón de la molécula de colorante y el grupo hidroxilo del polisacárido.....	21
Figura 8 Espectro FTIR de almidón de papa criolla.....	35
Figura 9 Espectro FTIR de almidón de papa peruanita.....	36
Figura 10 Espectro FTIR de almidón de papa huayro.....	37
Figura 11 .....	41
Figura 12 Porcentaje de remoción de color .....	43
Figura 13 Efectos principales para la remoción de color .....	44
Figura 14 Interacción de factores para la remoción de color .....	44
Figura 15 Remoción de turbidez.....	46
Figura 16 Porcentaje de remoción de turbidez.....	48
Figura 17 Efectos principales para la remoción de turbidez.....	49
Figura 18 Interacción de factores para la remoción de turbidez .....	49
Figura 19 Remoción de STD.....	51
Figura 20 Porcentaje de remoción de STD.....	53
Figura 21 Efectos principales para la remoción de STD.....	54
Figura 22 Interacción de factores para la remoción de STD .....	54
Figura 23 Gráfica de probabilidad normal para la remoción de color .....	55
Figura 24 Gráfica de probabilidad normal para la remoción de turbidez .....	56
Figura 25 Gráfica de probabilidad normal para la remoción de STD .....	56
Figura 26 Diagrama de Pareto para la remoción de color.....	59
Figura 27 Diagrama de Pareto para la remoción de turbidez.....	61

## Resumen

La coagulación es un proceso esencial en el tratamiento de agua cruda destinada al consumo humano, ya que permite la desestabilización y aglomeración de partículas suspendidas mediante la adición de coagulantes, lo que facilita su posterior sedimentación. En esta investigación se evaluó la eficiencia del almidón de papa como coagulante natural para remover la turbidez del agua cruda proveniente de una planta de tratamiento en el distrito de Pampas, Tayacaja. Se aplicó un diseño experimental factorial  $3^2$ , combinando tres concentraciones de almidón (80, 100 y 120 mg/l) con tres variedades de papa: huayro, criolla y peruanita. Se utilizó el método de prueba de jarras con una muestra de 21 litros de agua cruda. Los resultados mostraron que el almidón de la variedad huayro fue el más eficiente, alcanzando una remoción de turbidez del 98.94 % y de color del 99.05 %, superando los estándares establecidos por la normativa nacional. Las otras dos variedades también demostraron buenos niveles de remoción, especialmente a concentraciones más altas. El análisis estadístico mediante ANOVA evidenció diferencias significativas entre tratamientos, lo que confirma que tanto la variedad de papa como la concentración del almidón influyen en la eficiencia del proceso. En conclusión, el almidón de papa se presenta como una alternativa técnica viable, eficaz y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua en comunidades rurales, contribuyendo así a mejorar la calidad del agua y proteger la salud pública.

**Palabras clave:** coagulación, almidón, papa, turbidez, coagulante y color.

## **Abstract**

Coagulation is an essential process in the treatment of raw water intended for human consumption, as it enables the destabilization and agglomeration of suspended particles through the addition of coagulants, thereby facilitating their subsequent sedimentation. This study evaluated the effectiveness of potato starch as a natural coagulant for removing turbidity from raw water collected from a treatment plant located in the district of Pampas, Tayacaja. A  $3^2$  factorial experimental design was applied, combining three starch concentrations (80, 100, and 120 mg/l) with three potato varieties: huayro, criolla, and peruanita. The jar test method was used with a 21-liter sample of raw water. The results showed that starch from the huayro variety was the most effective, achieving a turbidity removal of 98.94% and a color removal of 99.05%, exceeding the standards established by national regulations. The other two varieties also demonstrated good removal efficiencies, particularly at higher concentrations. Statistical analysis using ANOVA revealed significant differences between treatments, confirming that both the potato variety and starch concentration influence the efficiency of the coagulation process. In conclusion, potato starch proves to be a technically viable, effective, and environmentally sustainable alternative for the treatment of raw water in rural communities, thereby contributing to improved water quality and the protection of public health.

**Keywords:** coagulation, starch, potato, turbidity, coagulant, and color.

## I. Introducción

El acceso seguro al recurso hídrico continúa siendo uno de los desafíos más urgentes en el ámbito de la salud pública y la sostenibilidad ambiental. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), aproximadamente 2 mil millones de personas consumen agua contaminada con heces, lo cual implica un peligro considerable de enfermedades como diarreas, cólera, disentería, fiebre tifoidea y polio.

Por lo tanto, en todo el mundo, ha crecido el interés en investigar el empleo de coagulantes naturales como alternativa a los productos químicos habituales, tal como el sulfato de aluminio, dados sus posibles perjuicios para la salud humana y el medio ambiente (Kristianto et al., 2022). De forma similar, estudios realizados en países como Indonesia, Colombia y México han demostrado que los compuestos orgánicos de origen vegetal, incluyendo almidones, mucílagos y taninos, son eficaces para reducir la turbidez y otros elementos contaminantes del agua (Posada et al., 2023; Ezeh et al., 2023).

Por su parte, en el contexto nacional, diversas investigaciones han evidenciado el potencial del almidón extraído de cultivos tradicionales peruanos como la papa y la oca en la clarificación del agua, ya sea como coagulante primario o como complemento de coagulantes químicos (Ttito et al., 2020; Zenon, 2021).

En la región de Huancavelica, sobre todo en el distrito de Pampas, perteneciente a la provincia de Tayacaja, existe un problema claro: el agua que la gente usa para beber no es del todo segura. Esto se debe a que está turbia, llena de pequeñas cosas que vienen del agua que corre por la superficie y de los trabajos en los campos. Los expertos en salud dicen que muchas de las muestras de agua que toman en Pampas no cumplen con las reglas de calidad del país, tal como lo indica la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA, 2022). Esto pone en serio peligro la salud de las personas que viven en las zonas rurales.

Tras lo expuesto, la investigación plantea usar el almidón extraído de tres clases de patatas autóctonas (criolla, peruanita y huayro), cultivadas de forma ancestral en los Andes peruanos, como un floculante orgánico para depurar el agua para beber. Esta propuesta se fundamenta en la disponibilidad cercana del recurso, su bajo costo y su carácter biodegradable, lo cual contribuye a establecer un método de tratamiento hídrico eficiente, perdurable y acorde con la idiosincrasia local.

## **1.1. Planteamiento del problema**

En el distrito Pampas, provincia Tayacaja, la calidad del agua para consumo humano se ve comprometida debido a la presencia de turbidez, causada principalmente por partículas suspendidas derivadas de actividades agrícolas, ganaderas y de escorrentía superficial. Aunque las fuentes de agua como manantiales, ríos y precipitaciones pluviales abastecen a la población, estas se encuentran expuestas a contaminantes físicos, químicos y biológicos que disminuyen su aptitud para el consumo humano (Acosta, 2021).

De acuerdo reportes del Sector Salud, el 73% de las muestras analizadas en Pampas supera los límites permisibles de coliformes totales y termotolerantes, lo cual representa un alto riesgo sanitario. Esta situación afecta principalmente a las zonas rurales, donde los sistemas de tratamiento son insuficientes o inexistentes. Además, la aplicación de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio genera preocupación debido a sus efectos secundarios sobre la salud humana y el ambiente (Posada et al., 2023).

La búsqueda de soluciones sostenibles y accesibles para el tratamiento de agua ha impulsado la investigación en el uso de coagulantes naturales. En este marco, el almidón extraído de tres variedades de papa nativa (*Solanum tuberosum*), cultivadas ancestralmente en los Andes peruanos, se presenta como una alternativa prometedora debido a su amplia disponibilidad, bajo costo y bajo impacto ambiental (Ttito et al., 2020). No obstante, se requiere evaluar científicamente su eficiencia en la remoción de turbidez del agua destinada al consumo humano.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál será la eficiencia del almidón de tres variedades de papas nativas como coagulante para la remoción de turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas - Tayacaja, 2023?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las propiedades organolépticas del agua durante el proceso de coagulación en la eficiencia del almidón de tres variedades de papas nativas para la remoción de la turbidez?

- ¿Cuál es la concentración óptima de almidón de cada variedad de papa para remover la turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas - Tayacaja, 2023?

### **1.3. Justificación e importancia**

La investigación responde a la necesidad urgente de mejorar la calidad del agua para consumo humano en zonas rurales, como el distrito de Pampas, donde la presencia de turbidez compromete la salud pública. La propuesta de utilizar almidón de tres variedades de papa nativa como coagulante natural se justifica por varias razones:

Primero, el uso de coagulantes naturales puede reducir significativamente los riesgos asociados al uso prolongado de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, cuyos residuos remanentes pueden afectar la salud humana y generar subproductos difíciles de gestionar (Kristianto et al., 2022).

Segundo, la papa nativa es un recurso local abundante, lo que permite desarrollar soluciones tecnológicas sostenibles adaptadas al contexto económico y social de la región. Su utilización podría generar valor agregado a la producción agrícola local y contribuir a la economía circular (Ttito et al. 2020).

Tercero, los estudios preliminares indican que el almidón de papa posee propiedades coagulantes que podrían ser eficaces en la remoción de turbidez, color y sólidos disueltos (Ezeh et al., 2023). Esta alternativa permitiría establecer un sistema de tratamiento de agua más saludable, ecológico y viable económicamente.

Finalmente, esta investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 6: Agua limpia y saneamiento, promoviendo el acceso equitativo al agua potable mediante el desarrollo de tecnologías apropiadas y ambientalmente responsables.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia del almidón de tres variedades de papas nativas como coagulante para la remoción de turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas - Tayacaja, 2023.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades organolépticas del agua durante el proceso de coagulación en la eficiencia del almidón de tres variedades de papas nativas para la remoción de la turbidez.
- Determinar la concentración óptima de almidón de cada variedad de papa para remover la turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas - Tayacaja, 2023.

### **1.5. Formulación de hipótesis**

#### **1.5.1. Hipótesis general**

El almidón de tres variedades de papas nativas como coagulante remueve significativamente la turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas - Tayacaja, 2023.

#### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- Las propiedades organolépticas del agua durante el proceso de coagulación influyen en la eficiencia del almidón de tres variedades de papas nativas como coagulante para reducir la turbidez.
- La determinación de la concentración óptima de almidón de cada variedad de papa remueve significativamente la turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas - Tayacaja, 2023.

## II. Marco teórico

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Internacionales

Choque et al. (2020),

realizaron un estudio para investigar el potencial floculante de tres especies de cactus (*Echinopsis pachanoi*, *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus*) en el tratamiento de aguas residuales simuladas, buscando una alternativa a los coagulantes químicos convencionales. En esta investigación, aplicaron extractos de estas plantas, preparados con tres tipos de disolventes y en concentraciones del 1%, 2% y 3%, a muestras de agua residual. Posteriormente, se evaluaron los efectos en parámetros fisicoquímicos como el pH, la dureza, la alcalinidad y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Adicionalmente, se descubrió que *Echinopsis pachanoi* (San Pedro) fue la especie con el desempeño más destacado, logrando un incremento significativo en la clarificación del agua a medida que aumentaba la dosis del coagulante ( $p < 0.05$ ). Además, se detectó un ligero aumento en el pH del agua tratada, de 6.61 a 7.58, mientras que la dureza y la alcalinidad no presentaron variaciones significativas. No obstante, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) aumentó proporcionalmente con la dosis del coagulante. En síntesis, los coagulantes naturales a base de cactáceas, en particular *Echinopsis pachanoi*, representan una opción promisoriosa para el tratamiento de aguas residuales, ya que contribuyen a mitigar algunos de los efectos negativos vinculados al uso de productos químicos tradicionales.

#### 2.1.2. Nacionales

Ttito et al. (2020), desarrollaron un estudio con el propósito de evaluar la eficiencia del almidón extraído de tres variedades de papa nativa (*Imilla negra*, *Sani imilla* y *Ccompi*) al usarse junto con sulfato de aluminio para hacer potable el agua en zonas altas de los Andes peruanos. Para lograrlo, usaron el método del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), haciendo pruebas en recipientes siguiendo un diseño experimental completamente al azar con un esquema factorial 3A-8B; aquí, A indicaba la clase de patata, y B, la cantidad combinada de sustancia

coagulante. Los resultados mostraron que la Imilla negra fue la que mejor funcionó, bajando la turbidez en un 95. 72% con solo 27. 5 mg/l de almidón y 15 mg/l de sulfato de aluminio, lo que resultó en una turbidez final de 1. 7 UNT y un pH de 7. 1. Finalmente, determinaron que el almidón de patata puede actuar como un segundo coagulante junto con las sales de aluminio, impulsando significativamente la eficacia del tratamiento en las condiciones comunes de las regiones altoandinas.

Zenon (2021), realizó un estudio para examinar si el almidón extraído de la oca (*Oxalis tuberosa*) podía mejorar la pureza del agua del río Ayaviri, haciéndola apta para beber. Con este fin, diseñó un experimento supervisado empleando pruebas de jarras, modificando las cantidades de sulfato de aluminio y almidón de oca. La evaluación se dividió en tres fases: agua en su estado natural, agua después del tratamiento y agua pasada por un filtro, cuantificando la turbiedad en NTU. Se aplicaron métodos de estadística descriptiva y pruebas Z, fijando un nivel de confianza del 95%. Tras analizar los datos, se observó que el almidón de oca logró reducir la turbidez en un 20. 56% al añadir 80 mg/l y agitar durante 600 segundos. Adicionalmente, para el agua filtrada, se alcanzó una eficiencia del 97. 35% utilizando la misma cantidad. Los resultados sugieren que el almidón de oca influye favorablemente en la mejora de la calidad del agua. En resumen, se llegó a la conclusión de que el almidón de oca representa una alternativa eficaz para la clarificación del agua, y su uso combinado con sulfato de aluminio puede potenciar significativamente la eficacia del proceso.

Melgarejo et al. (2019), investigaron si el almidón obtenido del plátano seda (*Musa acuminata*), específicamente del grupo AAA, podía ser útil para limpiar las aguas superficiales del río Puchca, en Ancash, mediante la coagulación-floculación. Para llevar a cabo esta investigación, primero extrajeron el almidón en el laboratorio moliendo los plátanos, y luego midieron su pureza con un espectrofotómetro UV-visible, obteniendo un 60. 52% de almidón puro. Después, hicieron pruebas de jarras para encontrar la cantidad ideal de coagulante, combinando el almidón con sulfato de aluminio en distintas proporciones. Los resultados mostraron que la mezcla más eficaz, con un 98. 34% de remoción de turbidez, era aquella que contenía partes

iguales de almidón de plátano y sulfato de aluminio. En conclusión, este estudio demostró que el almidón de plátano seda sirve para aclarar el agua de manera efectiva, lo que lo convierte en una alternativa natural muy interesante para mejorar los tratamientos de agua.

### **2.1.3. Locales**

Quispe y Ventura (2022), llevaron a cabo una investigación para examinar cómo el almidón proveniente de la papa (*Solanum tuberosum*) puede funcionar como coagulante. Su meta era reducir la turbidez en las aguas superficiales de los ríos que atraviesan la zona urbana de Huancavelica. El proceso que siguieron se desarrolló en dos fases: primero, obtuvieron el coagulante siguiendo el método de Aparicio (que implicó lavar, pelar, raspar, tamizar, asentar, secar y moler papas Canchan); luego, hicieron pruebas con jarras, usando muestras de 40 litros que inicialmente tenían una turbidez de 35 NTU. Los resultados arrojaron que la cantidad más efectiva era 100 mg/l, mezclando a 300 rpm, lo que logró bajar la turbidez en un 93.31% en la primera fase. En la segunda fase, bajo condiciones parecidas, la eliminación de la turbidez alcanzó un 90.79%. Estos hallazgos demuestran la notable utilidad de la papa Canchan como un coagulante natural, especialmente en zonas rurales. Finalmente, llegaron a la conclusión de que el almidón de esta clase de papa posee un gran potencial como coagulante amigable con el medio ambiente, presentando una opción factible en lugares con pocos medios para adquirir productos químicos industriales.

## **2.2. Bases teóricas y conceptuales**

### **2.2.1. Agua**

El agua, vital para la vida, está compuesta por tres átomos muy pequeños: dos de hidrógeno y uno de oxígeno, enlazados mediante un tipo de unión polar llamada covalente. El oxígeno es más electronegativo debido a la distribución asimétrica de la densidad electrónica, lo que crea una mayor atracción por los electrones compartidos por los dos enlaces covalentes. Esto provoca una acumulación significativa de densidad electrónica alrededor del átomo de oxígeno, resultando en una carga negativa más marcada en esa región, en contraposición a una carga positiva menos pronunciada en el átomo de hidrógeno (Ttito, 2018).

## **2.2.2. Propiedades generales del agua**

El agua se manifiesta en la naturaleza en tres estados: sólido, líquido y gaseoso. La estructura de la molécula de agua está representada en puentes de hidrógeno que hemos observado el cual le otorga propiedades físicas y químicas excepcionales que pueden considerarse extraordinarias. Estas características singulares y diversas (como su alta capacidad calorífica, mayor tensión superficial en comparación con otros líquidos y la separación de moléculas de agua) convierten al agua en una sustancia químicamente altamente activa y en un solvente universal (Castillo y Cacha, 2017).

### **2.2.2.1. Propiedades organolépticas del agua**

Las propiedades organolépticas del agua se refieren a la evaluación del agua potable basada en su aroma, gusto, tonalidad y claridad (Ghione, 2023).

- **Turbidez:** Determina la cantidad de partículas en suspensión. Regulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (<5 NTU), el Código Alimentario Argentino (< 3 NTU) y la Ley 11220 (< 2 NTU) (Ghione, 2023).
- **Color:** Puede ser aparente (incluye partículas en suspensión) o verdadero (solo sustancias disueltas). Se mide en Unidades de Color (UC). Límite recomendado: 1 UC; obligatorio: 20 UC (Ley 11220). (Ghione, 2023)
- **Olor y Sabor:** Determinados por sustancias disueltas y contaminantes; afectan la percepción del agua potable. (Ghione, 2023)

## **2.2.3. Contaminación del agua**

Se refiere a los elementos que contaminan las fuentes de agua, disminuyendo su pureza hasta el punto de impedir su uso para el fin previsto. Las sustancias extrañas contaminantes pueden ser inertes, como compuestos como el plomo o el mercurio o los microorganismos vivos (Castillo y Cacha, 2017).

### **2.2.3.1. Contaminaciones físicas**

Se refieren a cambios en la característica inherente de las aguas.

**Tabla 1***Alteraciones físicas del agua*

Alteración física	Característica y contaminación que indica
Color	El agua libre de impurezas presenta un color suave que puede ser rojo, marrón, amarillo o verde, esto se atribuye esencialmente a las siguientes causas: la presencia de ácidos húmicos, hierro y el color verde de las algas.
Olor y sabor	Los elementos químicos que se encuentran en el agua, como fenoles, diversos hidrocarburos, cloro y compuestos orgánicos descomponibles y aromas liberados por distintas algas y hongos, tienen la capacidad de generar olores y sabores intensos en el agua.
Temperatura	Cuando se aumenta la temperatura, la solubilidad del gas (oxígeno) disminuye y la solubilidad de la sal generalmente aumenta. La temperatura óptima del agua potable es de 10-14 °C.
Materiales en suspensión	Las partículas no solubles los cuales son arcilla, limo, entre otras, son transportadas por el agua en dos formas. Pueden estar en suspensión permanente, formando una especie de solución coloidal, o en un estado flotante que perdura únicamente mientras son desplazadas por el flujo del agua.
Conductividad	La conductividad eléctrica es muy baja. El agua común contiene iones, y esto aumenta su conductividad, dependiendo esta de la clase y concentración de dichos electrolitos.
Radiactividad	Los cuerpos de agua naturales tienen ciertos valores de radiactividad, que se deben principalmente a los isótopos K.

*Nota.* Contaminación física de (Castillo y Cacha, 2017).

**2.2.3.2. Contaminaciones químicas**

Pueden ser de origen orgánico e inorgánico.

**Tabla 2***Alteraciones químicas del agua*

Alteraciones químicas	Contaminación que indica
<b>pH</b>	El pH de las aguas naturales puede ser ácido debido al Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) disuelto de la atmósfera o de los organismos vivos; con la ayuda del ácido el contenido de azufre de algunos minerales, el suelo se cubre con la ayuda de ácidos húmicos disueltos.
<b>Oxígeno disuelto</b> <b>OD</b>	El agua de superficie que está en condiciones limpias suele contener una saturación de oxígeno. Si los niveles de oxígeno disuelto son bajos, esto señala la presencia de contaminación por materia orgánica, una calidad deficiente del agua y la inhabilidad para sustentar ciertas formas de vida.
<b>Materia orgánica biodegradable: (DBO<sub>5</sub>)</b>	DBO <sub>5</sub> representa el volumen de oxígeno disuelto que los microorganismos necesitan para descomponer aeróbicamente la materia orgánica que puede descomponerse en el agua. La evaluación se realizó cinco días después.
<b>Materiales oxidables: (DQO)</b>	Esta cantidad de oxígeno es necesaria para la oxidación de compuestos que se encuentran en el agua utilizando un agente oxidante químico (frecuentemente el dicromato de potasio en un medio ácido).
<b>Nitrógeno total</b>	Numerosos compuestos que contienen nitrógeno son nutrientes vitales. Sin embargo, cuando se encuentran en exceso en el agua, pueden causar el fenómeno de la eutrofización.
<b>Fósforo total</b>	Al igual que el nitrógeno, el fósforo es un nutriente necesario, pero su acumulación excesiva en el agua causa eutrofización.
<b>Compuestos orgánicos</b>	Los aceites y grasas originados por residuos alimenticios o procesos industriales, como automóviles y lubricantes, presentan dificultades en su descomposición por bacterias, lo que provoca películas dañinas para los organismos acuáticos.

*Nota.* Contaminación química de (Castillo y Cacha, 2017).

#### 2.2.4. Calidad del agua

Es un factor clave en los ecosistemas acuáticos, tanto para describir el entorno ambiental como para la gestión del agua. A lo largo del tiempo, el concepto ha evolucionado y se ha plasmado en diferentes formas en la legislación. En esencia, la calidad del agua abarca las características físicas, químicas y biológicas que determinan su adecuación para un fin específico. A partir de esta definición han surgido diversas normativas que aseguran una adecuada calidad. Esto abarca usos concretos, pero no contempla el impacto de las actividades humanas en los cuerpos de agua naturales. Los diferentes usos del agua requieren recursos de diferente calidad y se tratan de manera diferente tanto antes como después de su uso. Comúnmente, categorizamos el uso del agua en tres principales sectores: agricultura, industria y consumo humano (Castillo y Cacha, 2017).

**Tabla 3**

*Límite Máximo Permissible (LMP) de parámetros de calidad organoléptica*

Parámetros	Unidad de medida	Límite Máximo Permissible
Turbidez	UNT	5
Color	UCV Pt/Co	15
pH	valor de PH	6.5-8.5
STD	mg/l	1000
Conductividad (25°)	Umho/c	1500
Coliformes Totales	UFC/100 ml o 35°	0
Cloruros	mg/l Cl- L <sup>-1</sup>	250
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> - L <sup>-1</sup>	250
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub> - L <sup>-1</sup>	500
Hierro	mg/l Fe- L <sup>-1</sup>	0.3
Manganeso	mg/l Mn- L <sup>-1</sup>	0.4

*Nota.* Parámetros de calidad organoléptica del agua de (Castillo y Cacha, 2017).

#### 2.2.5. Papa

Es una planta de dos hojas embrionarias, lo que la hace crecer de manera postrada o vertical. Tiene sus orígenes en las regiones tropicales de los Andes. Pertenece a las plantas herbáceas debido a su sistema aéreo y subterráneo,

surgiendo dos ramificaciones del núcleo del tubérculo. Su desarrollo se ve influenciado por sus características del suelo y sus condiciones climáticas (Orosco, 2020).

### 2.2.6. Papas nativas

Las papas nativas son variedades tradicionales de papas cultivadas en regiones específicas, con características únicas en sabor y apariencia, y a menudo tienen un valor cultural y culinario significativo (Orosco, 2020).

#### 2.2.6.1. Tipos de papas nativas

Las 3 papas nativas que se utilizarán son:

- **Papa Criolla:** Es una clasificación de patata que forma parte del grupo *Solanum phureja*, destacándose por su tonalidad amarilla brillante y su tamaño reducido. Su cultivo es común en Colombia y en la zona andina. Se distingue por su alto nivel de carotenoides y antioxidantes, siendo apta para el cultivo en climas de días cortos y con un tiempo de conservación breve después de la cosecha. Su sabor es apreciado, utilizándose en recetas tradicionales como sopas y guisos (Orosco, 2020).
- **Papa Peruanita:** También conocida como papa amarilla en Perú, esta variedad se distingue por su textura suave, sabor mantecoso y un característico color amarillo intenso tanto en su piel como en su interior. Es muy utilizada en la gastronomía peruana para preparaciones como purés y causas. Su cultivo es tradicional en las zonas altoandinas, lo que asegura su calidad y autenticidad (Orosco, 2020).
- **Papa Huayro:** Es una variedad de papa nativa del Perú, famosa por su textura harinosa y su sabor característico, ideal para sopas y purés. Su piel suele ser de colores moteados o jaspeados, y es una de las más apreciadas en mercados locales debido a su versatilidad culinaria y conexión con la tradición agrícola peruana (Orosco, 2020).

### **2.2.7. Almidón**

El almidón es un compuesto de reserva que abunda en la naturaleza y se localiza en diminutos gránulos presentes en semillas, tubérculos y raíces de múltiples especies vegetales. Esta sustancia es producida por las plantas utilizando dióxido de carbono y agua, acumulando la energía del sol en forma de glucosa, que se enlaza en largas cadenas de hasta 2,000 o 3,000 unidades (Leiva y Obando, 2014).

Consiste en una combinación de dos tipos de polímeros: la amilosa, que presenta una estructura lineal con enlaces  $\alpha$ -(1. 4), y la amilopectina, que cuenta con una estructura ramificada con enlaces  $\alpha$ -(1. 4) y ramificaciones en  $\alpha$ -(1. 6). La proporción habitual entre amilosa y amilopectina es de alrededor de 3 a 1. Esta composición influye en las características físico-químicas y funcionales del almidón (Leiva y Obando, 2014).

El almidón no se disuelve en agua fría, sin embargo, al ser cocido con agua, los gránulos se inflan y explotan, lo que ocasiona la gelatinización, un proceso fundamental para su uso en la industria. Las características funcionales, como la solubilidad, el poder de hinchado, la viscosidad y la estabilidad del gel, están directamente relacionadas con la proporción de amilosa y amilopectina (Leiva y Obando, 2014).

### **2.2.8. Almidón de papa**

Se obtiene de variedades especiales cultivadas principalmente en América y Europa. Es un polvo blanco puro con aproximadamente 17% de humedad, con muy bajo contenido de cenizas (alrededor de 0.35%) y sin grasa. Se caracteriza por desarrollar la más alta consistencia en la gelificación comparado con otros almidones comerciales, aunque su viscosidad puede disminuir con la agitación y calentamiento continuos (Leiva y Obando, 2014).

Este tipo de almidón se emplea ampliamente en el sector de los alimentos, sobre todo en la elaboración de pasteles, comidas para infantes y en otros productos donde se pretende cambiar las propiedades físicas sin afectar el valor nutricional (Leiva y Obando, 2014).

El almidón de papa (*Solanum tuberosum*) ha surgido como un auxiliar potencial en este proceso. El almidón está compuesto principalmente por amilopectina y amilosa; esta última posee una mayor solubilidad en agua y contiene grupos fosfato que le confieren propiedades de polielectrolito, lo que favorece la aglomeración de partículas y mejora la floculación (Ttito et al., 2020).

#### **2.2.9. Turbidez**

La turbidez es una medida de la claridad del agua y se refiere a la presencia de partículas suspendidas que dispersan o bloquean el paso de la luz. Estas partículas pueden ser de origen inorgánico (como arcillas y limos), orgánico (materia vegetal en descomposición), o biológico (microorganismos). La turbidez es un indicador importante de calidad del agua, ya que niveles elevados pueden afectar la eficiencia de los procesos de desinfección y estar asociados con la presencia de patógenos. Se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) y los valores permisibles varían según el uso del recurso hídrico (Perez y Urrea, 2018).

#### **2.2.10. Color**

El color en el agua puede ser aparente o verdadero. El color aparente incluye las sustancias en suspensión, mientras que el verdadero es causado por sustancias disueltas como ácidos húmicos y fúlvicos provenientes de materia orgánica en descomposición. El color puede indicar contaminación orgánica natural o antropogénica y afectar la aceptación estética del agua. Se mide en Unidades de Platino-Cobalto (UPC) y es especialmente importante en aguas destinadas al consumo humano o a usos industriales específicos (Perez y Urrea, 2018).

#### **2.2.11. Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden todos los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Estos sólidos pueden influir en el sabor, la conductividad y la salinidad del agua, afectando tanto su potabilidad como su uso agrícola o industrial. Un nivel elevado de SDT puede ser indicativo de contaminación por descargas domésticas, industriales o infiltraciones naturales. Se expresan en miligramos por litro (mg/l) y su

medición es fundamental para evaluar la idoneidad del agua para diferentes usos (Perez y Urrea, 2018).

### 2.2.12. Floculación

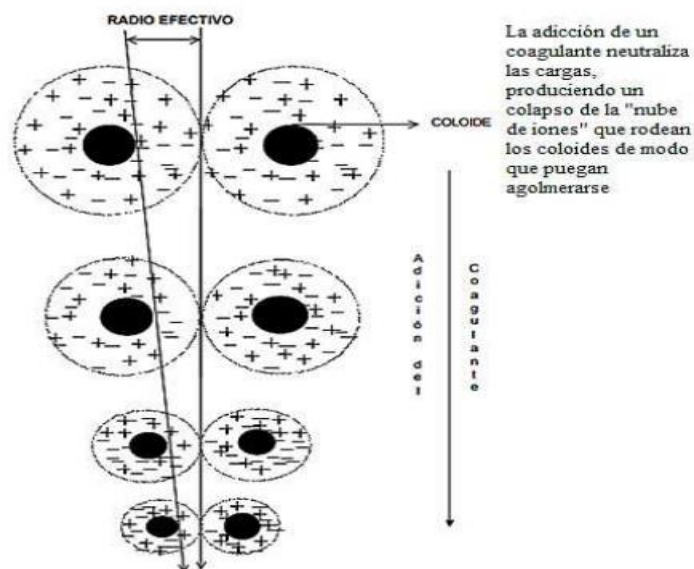
Es un proceso crucial en el tratamiento de aguas que consiste en agregar agentes químicos (floculantes) para que las partículas suspendidas en el agua se agrupen y formen flóculos, estructuras más grandes y densas. Este mecanismo permite separar las impurezas del agua durante etapas posteriores, como la sedimentación o la filtración. Es un paso común en el tratamiento de aguas residuales, agua potable y procesos industriales, y ayuda a reducir contaminantes como fósforo y sólidos suspendidos que afectan la calidad del agua. (Perez y Urrea, 2018).

### 2.2.13. Coagulación

Es un método de inestabilización química de partículas coloidales que se crea al neutralizar las fuerzas que las mantienen distanciadas, mediante la incorporación de coagulantes químicos. Este es el procedimiento clave en el tratamiento inicial de aguas residuales, particularmente en la clarificación, donde la mayoría de los sólidos suspendidos son eliminados. También se aplica el proceso de coagulación para eliminar turbidez, tanto orgánica como inorgánica, colores verdaderos y aparentes, ciertos microorganismos patógenos y algunas sustancias (Perez y Urrea, 2018).

**Figura 1**

*Coagulación*



Nota. Proceso de coagulación de Perez y Urrea (2018)

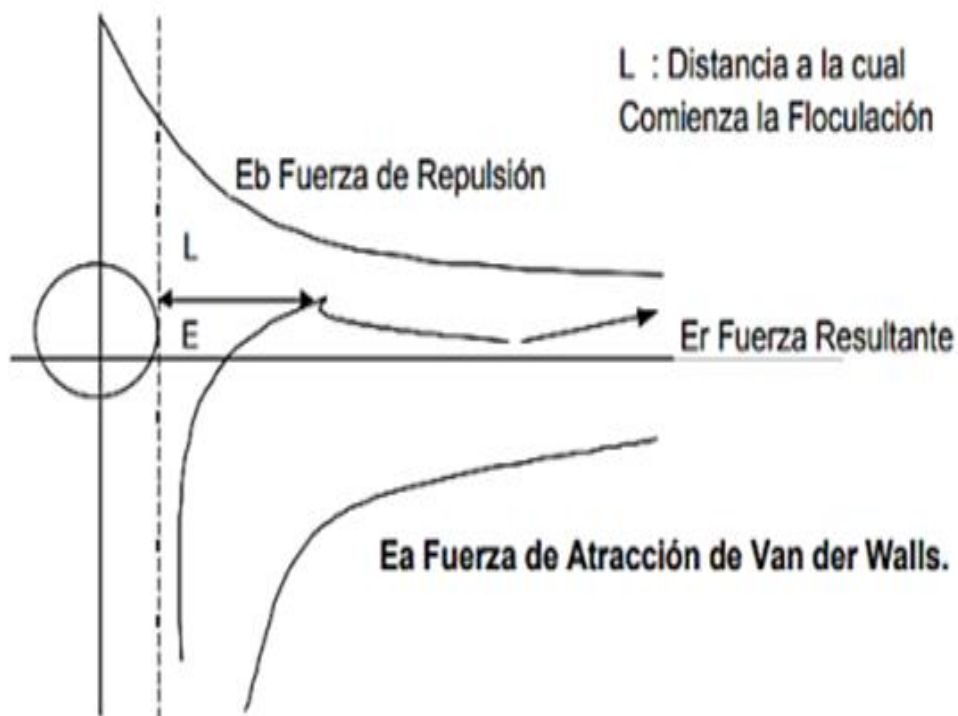
### 2.2.13.1. Mecanismo de la coagulación:

La inestabilidad se puede alcanzar a través de los siguientes procesos físico-químicos:

- **Compresión de la doble capa:** Compresión de la doble capa: Cuando se aproximan dos partículas que son similares, sus capas difusas se conectan de tal manera que crean una fuerza de repulsión. Esta fuerza, denominada potencial de repulsión, varía según la distancia entre las partículas y se reduce rápidamente con la presencia de iones de carga opuesta a la de las partículas. Este fenómeno ocurre únicamente por la acción de los iones del coagulante (Castillo y Cacha, 2017).

**Figura 2**

*Atracción y repulsión*

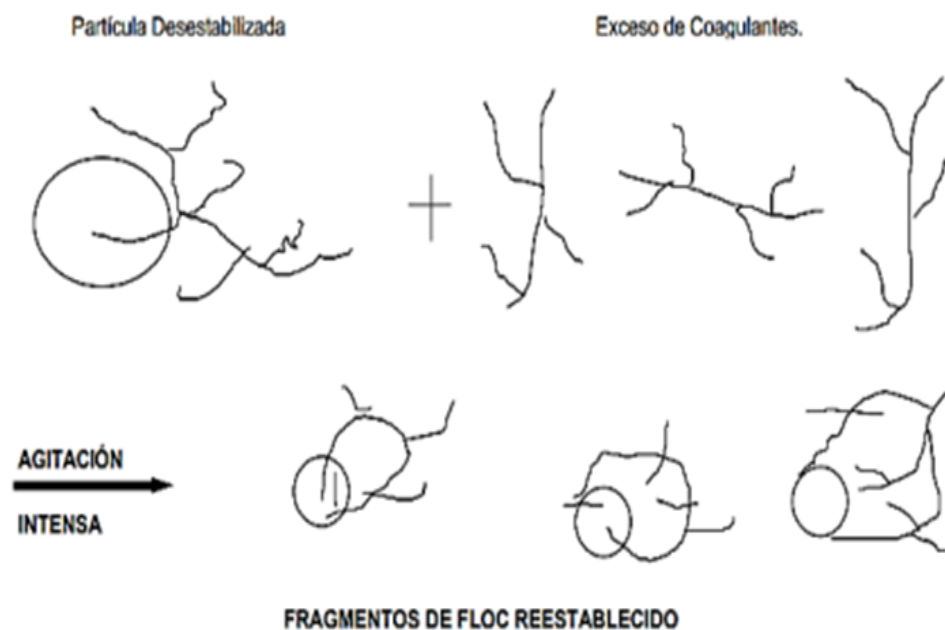


Nota. fuerzas de atracción y repulsión de (Castillo y Cacha, 2017).

- **Adsorción y neutralización de cargas:** Las partículas coloidales tienen superficies con carga negativa, conocida como carga primaria, que atrae iones positivos disueltos en el agua, formando así la primera capa cercana al coloide. El potencial en la interfaz se denomina potencial zeta, también llamado así. Este potencial determina la movilidad de los coloides y sus interacciones entre sí. Según la teoría de la doble capa, la coagulación se refiere al cambio en el potencial que ocurre al añadir un coagulante. Si el movimiento natural por efecto browniano no es suficiente, se necesita energía adicional para provocar esta inversión, que se puede lograr mediante técnicas de mezcla mecánica o hidráulica. Cuando se introduce un exceso de coagulante en el agua tratada, la carga de las partículas se estabiliza nuevamente. Esto sucede porque el coagulante adicional se une a la superficie de las partículas, generando una carga opuesta a la carga original (Castillo y Cacha, 2017).

**Figura 3**

*Re estabilización de partículas*



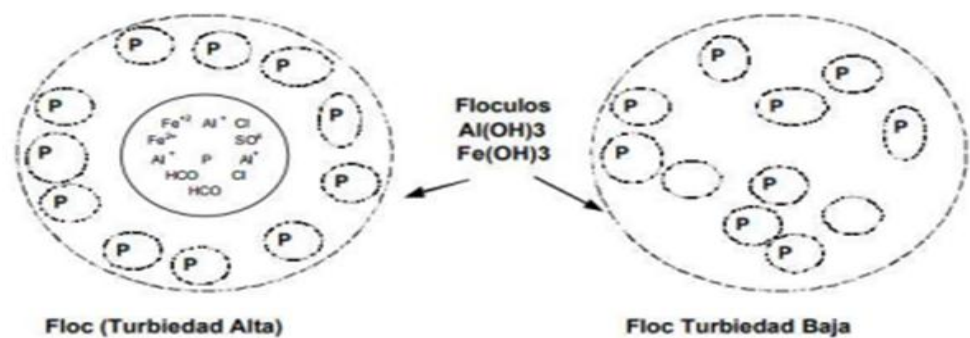
Nota. Re estabilización de partículas de (Castillo y Cacha, 2017).

- **Atrapamiento de partículas en un precipitado:** Cuando se añaden coagulantes en cantidad adecuada, tales como sales de metales trivalentes como  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  o  $\text{FeCl}_3$ , se producen efectos sobre partículas coloidales inestables o moléculas de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Esta situación podría estar asociada a la correlación inversa entre la turbidez y la cantidad necesaria de coagulante, lo que indica que una gran concentración de partículas suspendidas puede necesitar una menor dosis de coagulante.

(Castillo y Cacha, 2017).

#### Figura 4

##### *Atrapamiento de las partículas*

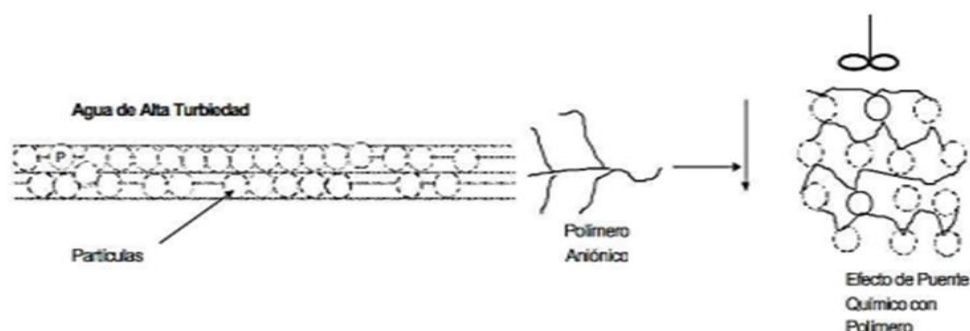


Nota. Atrapamiento de las partículas en un floc de (Castillo y Cacha, 2017).

- **Adsorción y puente:** En todas las situaciones, la opción más económica consiste en emplear un polímero aniónico cuando las partículas presentan carga negativa. Este proceso se fundamenta en la teoría del "puenteo", que involucra moléculas de polímero de gran longitud y grupos químicos capaces de ser capturados por las partículas coloidales. Una molécula de polímero tiene la capacidad de capturar partículas coloidales en un extremo, dejando otros sitios disponibles para la captura de otras partículas. Esto provoca la formación de "puentes" de moléculas de polímero entre las partículas coloidales, lo que puede conducir a la rentabilización de la suspensión debido a la sobresaturación del polímero (Castillo y Cacha, 2017).

## Figura 5

### *Efecto de puente de las partículas en suspensión*



Nota. efecto de puente de las partículas en suspensión de (Castillo y Cacha, 2017).

#### 2.2.13.2. Clases de coagulantes

- **Sales de aluminio:** Forman floc un poco más pesados. Algunos de los más conocidos son: Sulfato de aluminio,  $Al_2(SO_3)14H_2O$ , en realidad llamado sulfato de aluminio Alum amonio y aluminato de sodio, uso el más común porque es más barato y fácil de trabajar (Restrepo, 2009).
- **Sales de hierro:** Con cloruro de hierro,  $FeCl_3$ , sulfato de hierro Férrico y Ferroso,  $Fe(SO_4)_3$  y  $FeSO_4$ . Constituyen diferentes floc es más pesado que la sal y se asienta más rápido fabricado en aluminio (Restrepo, 2009).
- **Polímeros o polielectrolitos:** Estos son compuestos de alta masa molecular y se aplican principalmente como coagulantes en lugar de floculantes. Dado que se utilizan en cantidades muy reducidas, esta característica representa una ventaja significativa que contrarresta el costo asociado con los polímeros (Restrepo, 2009).

#### 2.2.13.3. Factores que influyen en la coagulación

Se deben considerar varios factores para aumentar la eficiencia del proceso de coagulación, incluidos: pH, turbidez, nivel de sal disuelta, temperatura del agua, elección del coagulante, método de mezcla y aplicación del coagulante y propiedades de coagulación. y color (Brincano Castillo y Rosario Cacha, 2017).

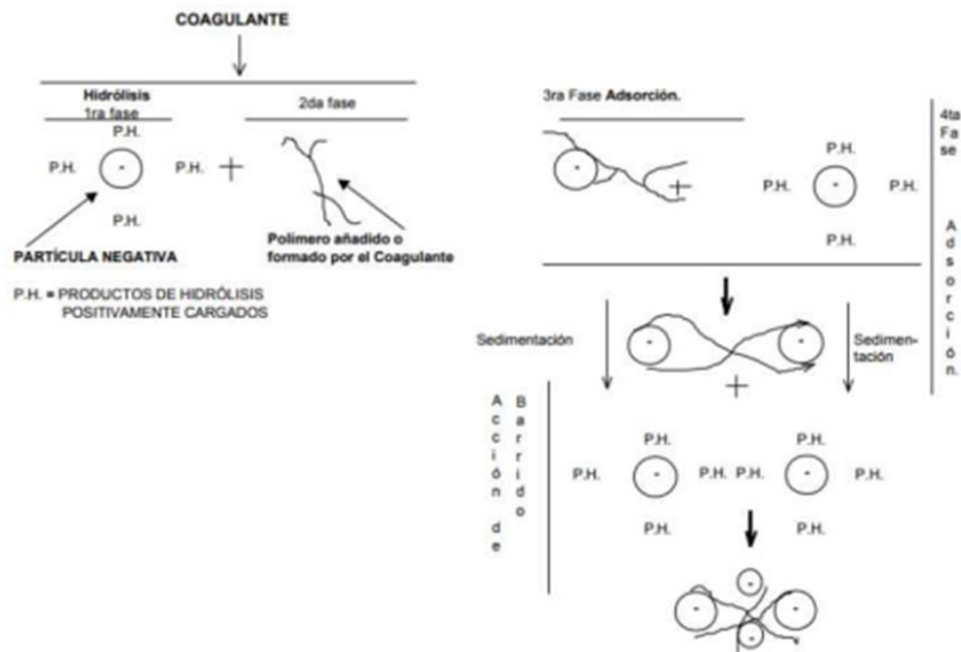
#### 2.2.13.4. Etapas o fases de la coagulación

El proceso de coagulación tiene lugar en un corto espacio de tiempo (casi instantáneamente), durante el cual se suceden las siguientes fases (Castillo y Cacha, 2017).

- Descomposición de coagulantes.
- Generación de compuestos químicos poliméricos.
- Fijación de cadenas poliméricas en las partículas coloidales.
- Interacción mutua de partículas coloidales mediante adsorción.
- Operación de barrido.

**Figura 6**

*Fases de la coagulación*



Nota. Fases de la Coagulación de (Castillo y Cacha, 2017).

#### 2.2.14. Coagulante natural de la papa

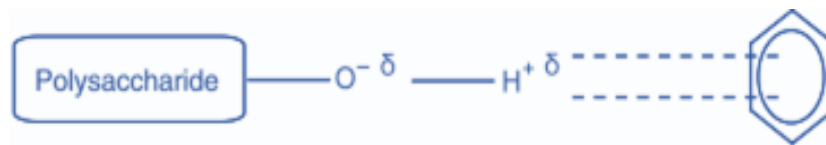
Las papas son miembros de la familia de las solanáceas y tienen su origen en América del Sur. Poseen un elevado contenido de agua y contienen almidón, minerales y varias vitaminas como B11, B2, B6, A, C, H y K, en función de sus atributos. Las papas contienen alrededor de un 20% de almidón, siendo este el componente principal que contribuye al proceso de coagulación (Castillo y Cacha, 2017).

### 2.2.15. Mecanismo de remoción de contaminantes del agua

El coagulante natural del almidón de papa presenta dos tipos de mecanismos de eliminación de contaminantes (i) adsorción y neutralización de la carga de iones de cargas opuestas y (ii) adsorción y puenteo entre partículas. Debido a su peso molecular elevado y contienen una estructura de cadena larga, por lo que tienen un gran número de sitios de activos (Zafar et al. 2015). Para el caso de moléculas de colorante, la formación de puentes con los polisacáridos (amilosa/amilopectina) se debe a la interacción del sistema  $\pi$ -electrón de los colorantes y el grupo OH- de los polisacáridos (Figura 7).

**Figura 7**

*Interacción de  $\pi$ -electrón de la molécula de colorante y el grupo hidroxilo del polisacárido*



*Nota.* Obtenido de Zafar et al. (2015).

Por lo que, el almidón de la papa con grupos hidroxilo a lo largo de la cadena de polisacáridos proporciona un gran número de sitios de adecuadas para la adsorción (mediante fuerzas electrostáticas, fuerzas de van der Waal, enlaces de hidrógeno y enlaces químico) que podrían conducir a la neutralización de la carga (como coagulante) o a la formación de puentes de impurezas coloidales (como floculante), provocando un rápido desarrollo del tamaño de los flóculos (Aziz y Sobri, 2015). Cuando los polímeros de cadena larga han sido adsorbidos en las partículas de la superficie, se forman una serie de bucles (segmentos que se extienden hacia la solución) y trenes (segmentos adsorbidos en la superficie). Cuando una segunda partícula con un sitio de adsorción vacío entra en contacto con estos bucles y trenes extendidos, puede ocurrir una unión en la que se forma un agregado partícula-polímero-partícula con el polímero sirviendo como puente. Este proceso de formación de puentes continuará ocurriendo hasta que se formen grandes flóculos que se asienten rápidamente (Teh et al., 2014).

### **III. Metodología**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Aplicada: dado que se orienta a la utilización de conocimientos científicos previos para dar solución a un problema concreto: la remoción de turbidez en el agua destinada al consumo humano, mediante el uso de almidón extraído de tres variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) como coagulante natural. Esta investigación se enmarca en un contexto real de aplicación en la planta de tratamiento del distrito de Pampas, Tayacaja. Tal como lo señalan Hernández et al. (2022), la investigación tipo aplicada, busca resolver problemas concretos aplicando conocimientos y técnicas existentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida y fomentar el desarrollo sostenible.

#### **3.2. Nivel de investigación**

Explicativo: Este nivel de investigación busca explicar las causas de los fenómenos, comprendiendo sus relaciones, significados y condiciones, más allá de la simple descripción de conceptos u opiniones. Se centra en identificar las conexiones entre variables y entender el porqué de los hechos. Sustentado en Hernández et al. (2022), quienes mencionan que la investigación explicativa tiene como propósito principal establecer relaciones causa-efecto entre variables, explicando los mecanismos mediante los cuales ocurre un fenómeno determinado.

#### **3.3. Método de investigación**

Cuantitativo: Se empleó un enfoque cuantitativo fundamentado en mediciones numéricas y análisis estadístico, lo que permitió evaluar objetivamente la eficiencia del almidón de tres variedades de papa nativa (criolla, peruanita y huayro) en la remoción de turbidez, color y sólidos disueltos totales del agua para consumo humano. Sustentado en Hernández et al. (2022), quienes señalan que el enfoque cuantitativo se basa en la recolección de datos cuantificables y en el análisis estadístico para explicar fenómenos y establecer patrones o relaciones entre variables.

##### **3.3.1. Materiales necesarios**

- Botellas de muestra: Se utilizaron para recolectar las muestras de agua cruda, asegurando que se mantuvieran limpias y libres de contaminantes para evitar alterar los resultados.
- Equipo de Protección Personal (EPP): Protegió al personal durante la toma de muestras, garantizando seguridad e higiene en el proceso.

- Etiquetas: Sirvieron para identificar correctamente cada muestra, registrando información relevante como punto de muestreo, fecha, hora y responsable.
- Registro de datos: Permite documentar y organizar toda la información obtenida durante el muestreo y análisis, facilitando el seguimiento y la interpretación de resultados.
- Agua destilada: Se empleó para preparar soluciones, lavar equipos y diluir las muestras de almidón, evitando la contaminación con sales o impurezas.
- Vaso de precipitación (500 ml y 1000 ml): Se usaron para contener las muestras durante las pruebas de coagulación y otras etapas experimentales.
- Multiparamétrico (pH, temperatura, conductividad y SDT): Instrumento para medir parámetros físicos y químicos esenciales que definen la calidad del agua.
- Turbidímetro: Se empleó para medir la turbidez, indicador clave de la presencia de partículas suspendidas en el agua.
- Colorímetro: Permite cuantificar el color del agua, importante para evaluar la eliminación de materia orgánica y otros compuestos coloreados.
- Papas nativas (criolla, peruanita, huayro): Fuentes naturales del almidón utilizado como coagulante en el tratamiento del agua.
- Licuadora: Se utilizó para triturar las papas y facilitar la extracción del almidón.
- Tela fina: Empleada para filtrar el material triturado y separar el almidón del resto de la pulpa.
- Centrífuga: Sirvió para sedimentar y separar el almidón del líquido en suspensión.
- Cuchillo: Para cortar las papas en cubos pequeños antes de la trituración.
- Estufa: Utilizada para secar la muestra de almidón obtenida después de la filtración y centrifugación.
- Tamiz de 100 micras: Se empleó para tamizar el almidón seco y obtener un polvo fino y homogéneo.
- Lunas de reloj: Se usaron para pesar pequeñas cantidades de almidón o para secar muestras en laboratorio.

- Balanza: Para pesar con precisión las muestras de almidón y otros reactivos.
- Espátula de laboratorio: Para manipular y transferir el almidón y otras sustancias durante el proceso.
- Bolsas herméticas: Se usaron para almacenar el almidón seco, protegiéndolo de la humedad y la contaminación.
- Almidón de papa: Producto extraído de las papas nativas, utilizado como agente coagulante natural en el tratamiento del agua.
- Conos de sedimentación: Recipientes donde se dejó reposar la mezcla para que los flóculos formados sedimentaran y facilitaran su medición.
- Agitador mecánico: Instrumento para realizar la mezcla rápida y lenta durante la coagulación, garantizando una dispersión uniforme del coagulante.
- Agitador o varilla de vidrio: Se utilizó para mezclas manuales y para facilitar la homogenización de las soluciones.
- Pipetas y pipetas de succión: Herramientas para medir y transferir volúmenes precisos de líquidos durante las diferentes etapas del experimento.
- Cronómetro: Para controlar los tiempos de mezcla, sedimentación y otras etapas críticas del proceso.

### **3.3.2. Muestreo del agua**

Se definió el objetivo del muestreo determinando los parámetros a analizar, tales como temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos totales disueltos (STD) y color. Posteriormente, se identificó como punto de muestreo el ingreso de agua cruda a la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Pampas, Tayacaja. Se obtuvo y alistó el equipo necesario para el muestreo, incluyendo botellas de muestra, sondas multiparamétricas, brazo muestreador y equipo de protección personal (EPP).

Antes de la toma de muestras, se aseguró la limpieza de los equipos para evitar cualquier contaminación que pudiera afectar los resultados. La toma de muestras se realizó sumergiendo cuidadosamente la botella bajo la superficie del agua para evitar la captura de aire que pudiera alterar las mediciones. Se llenó la botella sin llegar al borde para prevenir derrames y formación de

burbujas de aire. Cada muestra fue etiquetada con información relevante, como el punto de muestreo, código, nombre del responsable, fecha y hora.

Dado que algunos parámetros analizados eran sensibles al tiempo, se mantuvieron las muestras refrigeradas durante el transporte para conservar su integridad. Se registraron cuidadosamente los datos relevantes, incluyendo los puntos de muestreo, fecha, hora, condiciones climáticas y observaciones importantes.

Las muestras se enviaron a un laboratorio especializado para el análisis de los parámetros establecidos, asegurándose que se aplicaran métodos estandarizados que garantizaran la precisión de los resultados. Finalmente, los resultados obtenidos fueron evaluados y comparados con los criterios de calidad del agua preestablecidos para interpretar la calidad del recurso analizado.

### **3.3.3. Proceso de obtención del almidón de las papas nativas**

Se seleccionaron tres variedades nativas de papa de alta calidad: papa criolla, peruanita y huayro, adquiriéndose 3 kg de cada una. Las papas fueron lavadas cuidadosamente para eliminar suciedad y contaminantes superficiales, y luego cortadas en pequeños cubos para facilitar la trituración. Posteriormente, se realizó la primera trituración en licuadora, mezclando la papa con agua destilada en una relación 1:1 (m/v).

El material triturado fue filtrado utilizando una tela fina de algodón, a la cual se adicionaron 250 ml de agua destilada para maximizar la extracción de almidón. Lo retenido en la tela se sometió a una segunda trituración, también en proporción 1:1 (m/v). La masa obtenida de esta segunda trituración se filtró nuevamente con la tela de algodón, añadiendo otros 250 ml de agua destilada, y los filtrados recolectados en ambas ocasiones se combinaron en un balde de 4 litros para dejar sedimentar durante tres horas, desechando el sobrenadante.

La muestra sedimentada fue centrifugada a 3000 rpm durante 15 minutos. La pasta obtenida tras la centrifugación fue filtrada con papel filtro número 42. Finalmente, la muestra sobre el papel filtro fue secada en una estufa durante

14 horas a 45 °C. Una vez seca, la muestra de almidón se tamizó pasando por un tamiz de 100 micras, obteniéndose un polvo fino.

Por último, el almidón de papa nativa fue empacado en contenedores herméticos para su adecuado almacenamiento hasta su uso.

#### **3.3.4. Tratamiento del agua a través del almidón**

Se preparó el almidón seleccionando el almidón de papa de cada variedad. Se pesaron cantidades específicas de 80 mg, 100 mg y 120 mg para cada tipo de almidón. Posteriormente, se disolvió cada muestra en 100 ml de agua a tratar, revolviendo bien para evitar la formación de grumos y asegurar una mezcla homogénea; la proporción de almidón a agua pudo variar según las necesidades del tratamiento.

En la etapa de coagulación, se adicionaron 900 ml de la muestra a tratar en vasos de precipitación de 2000 ml, los cuales fueron etiquetados para identificar las diferentes condiciones de prueba. Se añadió la mezcla de almidón de papa a los 900 ml de agua y se realizó una mezcla rápida a una velocidad de 120 rpm durante un minuto para dispersar el almidón uniformemente en todo el volumen. Luego, se aplicó una agitación lenta durante 20 minutos a una velocidad de 30 rpm.

Posteriormente, las muestras se trasladaron a conos de sedimentación y se dejaron en reposo entre una y dos horas para permitir que los flóculos se depositaran en el fondo. Tras la sedimentación, se midió la turbidez del agua en cada vaso utilizando un turbidímetro y un multiparámetro para obtener datos adicionales. Finalmente, se registraron los resultados de turbidez junto con cualquier otra información relevante correspondiente a cada prueba.

#### **3.3.5. Cálculo de porcentaje de remoción**

Para el cálculo del porcentaje de remoción del color presentado en la Tabla 9, 11 y 13, se empleó la siguiente ecuación:

$$\% \text{Remocion} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

**Donde:**

- **C<sub>0</sub>** es la concentración inicial

- **Ct** es la concentración final

### **3.3.6. Análisis de la turbidez, color y sólidos disueltos**

#### **A. Turbidez**

- Método de análisis: Se mide utilizando un turbidímetro que emite luz a examinar una muestra de agua y mida la cantidad de luz dispersada. Las unidades de medida más utilizadas es el NTU (Nefelometric Turbidity Units) (Digesa, 2009)

#### **B. Color**

- Método de análisis: Se evalúa mediante un espectrofotómetro que registra la absorción de luz en una longitud de onda específica, con el objetivo de determinar la intensidad del matiz cromático. La unidad de medida más común es el UC (Unidades de Color) (Digesa, 2009).

#### **C. Sólidos disueltos**

- Método de análisis: Se mide evaporando una muestra de agua y pesando los residuos sólidos que quedan después de la evaporación. Los resultados se presentan en unidades de miligramos por litro (mg/l) o en proporciones por millón (ppm) (Digesa, 2009).

### **3.4. Diseño de investigación**

Experimental: Se empleó un enfoque experimental con diseño factorial  $3^2$ , manipulando la variedad de papa y la concentración del coagulante para analizar su efecto en la eficiencia de coagulación y determinar la mejor alternativa para reducir la turbidez del agua. Esto permitió analizar los efectos significativos sobre las variables dependientes: sólidos totales disueltos (STD), turbidez y color. Además, se hicieron 3 réplicas por cada tratamiento. De acuerdo con Hernández et al. (2022), el diseño experimental permite identificar relaciones causales al manipular variables independientes y observar su efecto en variables dependientes bajo condiciones controladas.

**Tabla 4***Niveles de las variables de estudio*

<b>Variab</b> <b>independientes</b>	<b>Niveles</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Variedad de papa</b>	Papa criolla	Papa peruanita	Papa huayro
<b>Concentraci3n del coagulante</b>	80 mg/l	100 mg/l	120 mg/l

Nota. Muestras de agua de consumo humano (elaboraci3n propia).

**Tabla 5***Arreglo factorial 3<sup>2</sup>*

<b>Variedad de papa</b>	<b>Concentraci3n de coagulante (mg/l)</b>	<b>Color, Turbidez y STD</b>		
		<b>R3plica I</b>	<b>R3plica II</b>	<b>R3plica III</b>
Criolla	80	M111	M112	M113
Criolla	100	M121	M122	M123
Criolla	120	M131	M132	M133
Peruanita	80	M211	M212	M213
Peruanita	100	M221	M222	M223
Peruanita	120	M231	M232	M233
Huayro	80	M311	M312	M313
Huayro	100	M321	M322	M323
Huayro	120	M331	M332	M333

Nota. Los c3digos utilizados van de acuerdo con el nivel de cada variable.

### 3.5. Poblaci3n, muestra y muestreo

#### 3.5.1. Poblaci3n

La poblaci3n de estudio estuvo conformada por el agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento de agua potable del distrito de Pampas – Tayacaja, con un caudal aproximado de 70 l/s.

#### 3.5.2. Muestra

La muestra estuvo compuesta por un volumen total de 21 litros de agua cruda recolectada del ingreso directamente en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito.

### **3.5.3. Muestreo:**

La muestra de agua fue obtenida mediante un muestreo puntual no probabilístico, consistente en la recolección directa de agua en un único momento y lugar, específicamente al ingreso del agua cruda a la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del distrito de Pampas – Tayacaja. El punto de muestreo fue elegido por representar las condiciones iniciales del agua cruda, lo que permitió evaluar con precisión su calidad y validar experimentalmente la eficiencia del almidón de papa como coagulante natural.

## **3.6. Identificación y operacionalización de variables**

### **3.6.1. Identificación de variables**

- **Variable independiente:** Eficiencia del almidón de papas nativas en agua para consumo humano como coagulante.
- **Variable dependiente:** Remoción de turbidez, color y sólidos totales disueltos.

### 3.6.2. Operacionalización de variables

Tabla 6

*Operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional / mediciones	Indicador	Escala	Medición
<b>(Independiente)</b> <b>Eficiencia del almidón de papas nativas en agua para consumo humano como coagulante.</b>	Una serie continua de procesos y actividades que eliminan los contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua. (Martinuzz, 2017)	Se evaluó la eficiencia del almidón de tres variedades de papas nativas (criolla, peruanita y huayro) como coagulante natural en el tratamiento de agua para consumo humano. Se aplicaron tres concentraciones (80, 100 y 120 mg/l) de cada coagulante, y se midió su efecto sobre la remoción de turbidez, color y sólidos disueltos totales.	Variedad de papa	Tipo	<b>Procedimiento validado por el Laboratorio de Calidad FCAM-UNASAM</b>
			Concentración del coagulante	mg/l	
<b>(Dependiente)</b> <b>Remoción de la turbidez, el color y los sólidos disueltos.</b>	Una secuencia ininterrumpida de procedimientos y acciones que erradican los agentes contaminantes de naturaleza física, química y biológica presentes en el agua. (MINSAs, 2010)	Para evaluar la eliminación de turbidez, color y sólidos disueltos totales (SDT), se realizaron mediciones antes y después del tratamiento. Esto permitió cuantificar la cantidad removida y determinar la efectividad de cada tratamiento propuesto, con el objetivo de cumplir las normativas vigentes en Perú.	Turbidez	UNT	
			Color	PCU	
			Sólidos disueltos	mg/l	

Nota. Identificación y operacionalización de variables (elaboración propia).

### **3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.7.1. Técnicas**

- Pruebas de laboratorio.
- Observación directa.
- Muestreo físico.
- Análisis de laboratorio.

#### **3.7.2. Instrumentos**

- Guía de monitoreo de los parámetros en el laboratorio.
- Reporte de laboratorio.
- D.S. N° 031-2010-SA.
- Cadena de custodia.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

#### **3.8.1. Técnicas de procesamiento**

- Cálculo de promedios y desviaciones estándar: Se calcularon los valores promedio de cada tratamiento para evaluar tendencias generales en la remoción de color, turbidez y sólidos totales disueltos (STD). Además, la desviación estándar permitió medir la variabilidad de los datos y la precisión de los resultados obtenidos.
- Análisis de Varianza (ANOVA): Se empleó para determinar si había diferencias estadísticamente significativas entre las distintas variedades de papa y concentraciones de coagulante en la reducción de color, turbidez y STD. Este análisis permitió identificar qué combinaciones de factores producían los mejores resultados.
- Pruebas de correlación: Se aplicaron pruebas de correlación para evaluar la relación entre las variables dependientes (color, turbidez y STD) y las variables independientes (variedad de papa y concentración del coagulante). Esto permitió identificar patrones y dependencias entre los parámetros analizados.
- Regresión lineal: Se aplicó para modelar la relación entre la concentración del coagulante y la eficiencia en la reducción de contaminantes. Esta técnica permitió predecir el comportamiento del tratamiento bajo diferentes condiciones.

- Representación gráfica: Se elaboraron gráficos de barras y diagramas de dispersión para visualizar mejor los resultados y facilitar la interpretación de los efectos de cada tratamiento.
- Software estadístico: Para análisis de los datos se emplearon herramientas como Excel, SPSS o R, que facilitaron los cálculos y análisis estadísticos necesarios para interpretar los resultados de manera rigurosa.

### **3.8.2. Análisis de datos**

El análisis de datos se realizó con el objetivo de evaluar la eficiencia de diferentes variedades de papa y concentraciones de coagulante en la reducción de turbidez, color y sólidos totales disueltos (STD). Para ello, se recopilaron los valores experimentales obtenidos en cada tratamiento y se calcularon los promedios y desviaciones estándar, con el fin de describir la tendencia central y la variabilidad de los resultados.

Posteriormente, se elaboraron gráficos de barras comparativos y diagramas de dispersión para facilitar la visualización de patrones y posibles relaciones entre las variables analizadas.

Antes de aplicar cualquier prueba estadística inferencial, se evaluó la distribución de los datos mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, utilizando el software estadístico Minitab. Esta prueba permitió determinar si los datos de cada grupo seguían una distribución normal, condición necesaria para el uso de análisis paramétricos como el ANOVA. En aquellos casos donde el valor p fue mayor al nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), se aceptó la hipótesis de normalidad, habilitando así la aplicación del Análisis de Varianza

El ANOVA se ejecutó en Minitab seleccionando los datos agrupados por tratamiento dentro del menú de análisis de varianza de un solo factor. El software calculó automáticamente la estadística F y su valor p asociado.

Cuando este valor p resultó menor a 0.05, se concluyó que existían diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos tratamientos, lo que permitió identificar la efectividad relativa de las diferentes combinaciones evaluadas.

Sin embargo, en los casos donde los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, se recurrió al uso de métodos no paramétricos, específicamente la prueba de Kruskal-Wallis, la cual es apropiada para comparar grupos independientes sin asumir una distribución específica.

Esta prueba también se ejecutó en Minitab, accediendo al módulo de análisis no paramétrico y seleccionando "Kruskal-Wallis Test". Se ingresaron los datos categorizados por tratamiento, y el software generó el estadístico H y su correspondiente valor p. Cuando este último fue inferior al umbral de significancia ( $p < 0.05$ ), se determinó que existían diferencias significativas entre las medianas de los grupos analizados.

De este modo, la elección entre ANOVA y Kruskal-Wallis se basó en criterios objetivos derivados de la evaluación previa de los datos, garantizando así la validez y solidez del análisis estadístico aplicado.

### 3.9. Aspectos éticos y regulatorios

- **Consentimiento informado:** Antes de realizar pruebas en fuentes de agua de consumo humano, se obtuvo el consentimiento informado de los propietarios de las fuentes y de las personas que utilizan esa agua. Se les explicó claramente el propósito del estudio, los procedimientos involucrados y cualquier riesgo potencial. Se procedió con la investigación tras el consentimiento voluntario y consciente de todas las partes involucradas.
- **Cumplimiento normativo:** Se verificó y cumplió con todas las regulaciones y normativas locales y nacionales relacionadas con la calidad del agua y la investigación científica. Incluyendo los permisos necesarios de las autoridades locales o agencias reguladoras antes de realizar las pruebas.
- **Ética de la investigación:** Durante la realización de las pruebas, se aseguró los altos estándares éticos. Garantizando la confidencialidad de los datos recopilados y el respeto a la privacidad de las personas involucradas. Además, evitando cualquier forma de manipulación de datos o resultados.

- **Seguridad de los participantes:** En el manejo de productos químicos para llevar a cabo las pruebas de coagulación-floculación, se siguió estrictamente los protocolos de seguridad, con equipos de protección personal (EPP) cuando se participó en la manipulación de sustancias químicas tomando las medidas para evitar cualquier exposición no deseada
- **Divulgación de conflictos de interés:** En los investigadores no se cuenta con una afiliación institucional, intereses financieros o cualquier otro conflicto de interés que pueda alterar en los resultados de la investigación.
- **Ética en la publicación:** Para la presentación de los resultados de la investigación en publicaciones científicas o informes, se proporcionó una atribución adecuada a las fuentes con datos honesta y precisa, sin sesgo o manipulación.

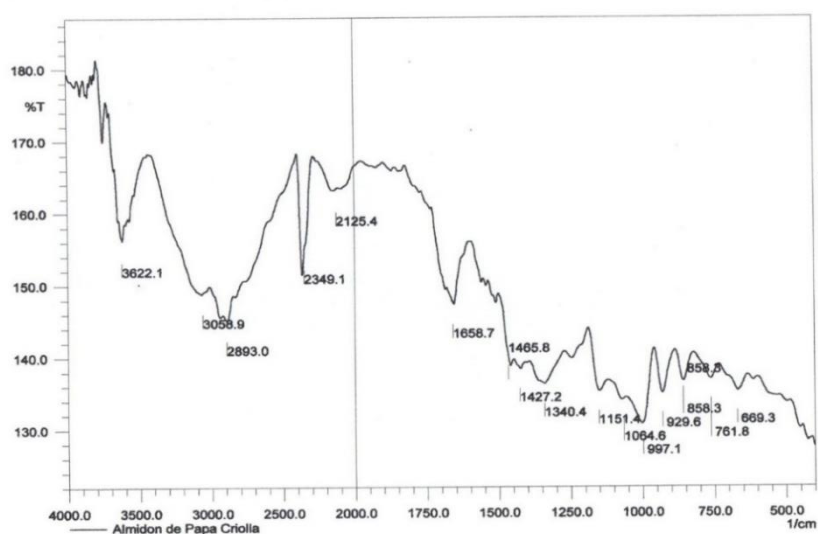
## IV. Resultados

### 4.1. Almidón de las distintas variedades de papa

Según la Figura 8 el espectro infrarrojo FTIR del almidón de la papa criolla se muestra en el rango de 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  de número de onda que identifica los enlaces químicos. La vibración 3058.9 y 3622.1  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones de estiramiento de los grupos hidroxilos (O-H) presentes en las unidades de glucosa que estructuran las cadenas de amilosa y amilopectina, relacionados con el enlace libre, inter e intramolecular del grupo hidroxilo, característica particular de la estructura de los almidones (Abdullah et al., 2018). El agua retenida por el almidón se evidencia en el espectro como una banda de flexión del O-H a 1658.7  $\text{cm}^{-1}$ , lo cual indica que el almidón es higroscópico. La banda a 2893.0  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones de tensión C-H asociados con el anillo de la glucopiranososa y las bandas a 1427.2 y 1465.8 y 1340.4  $\text{cm}^{-1}$  a la vibración de flexión de los grupos H-C-H. Las bandas características del almidón se distinguen a 1151.4 y 1064.6  $\text{cm}^{-1}$  correspondientes a las vibraciones de los enlaces C-O-C de la glucopiranososa y C-O, respectivamente. Las bandas en 997.1, 929.6, 858.3, 761.8 y 669.3  $\text{cm}^{-1}$  son atribuidos a la vibración del anillo C - O - C de carbohidratos. Como señala Altayan et al. (2017), el pico de  $\text{CO}_2$  poco común en el almidón (2125.4 y 2349.1  $\text{cm}^{-1}$ ) se observó en el espectro IR del almidón de papa criolla. Podrían ser resultados de las condiciones de medición.

### Figura 8

*Espectro FTIR de almidón de papa criolla*

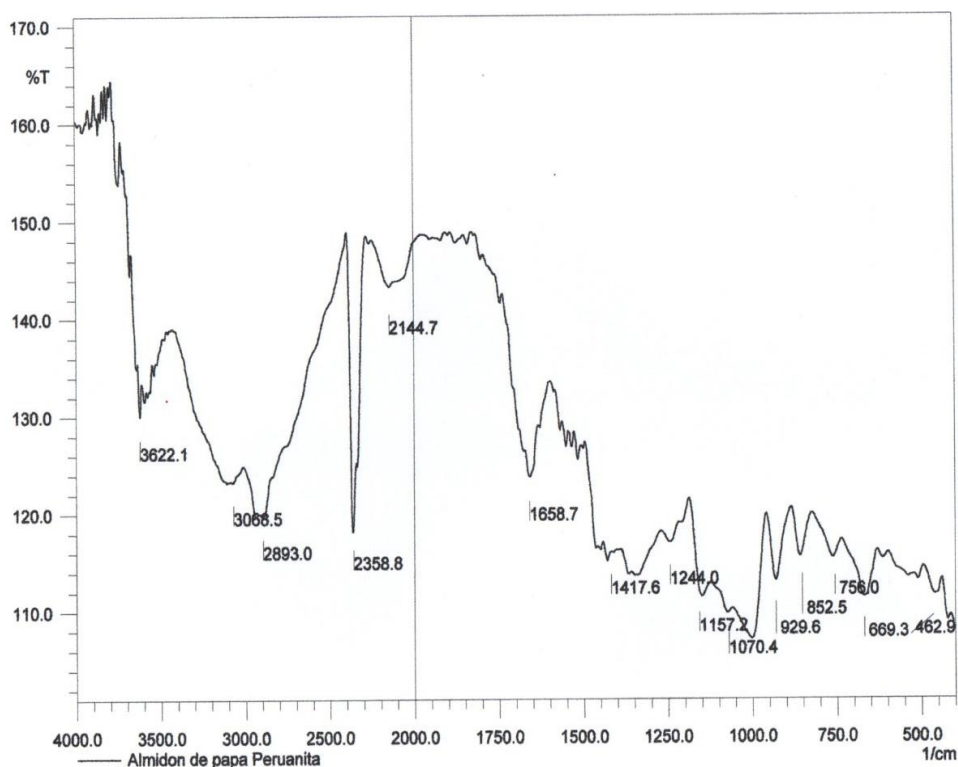


*Nota:* El eje X muestra el número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ), relacionado con las vibraciones moleculares; el eje Y indica la transmitancia (%T), que refleja cuánta radiación infrarroja atraviesa la muestra.

La Figura 9 muestra la caracterización del almidón de la papa peruanita por FTIR. La vibración 3066.5 y 3622.1  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones del grupo O-H presentes en las unidades de glucosa que constituyen las cadenas de amilosa y amilopectina, característica particular de la estructura de los almidones. El agua retenida por el almidón se aprecia en el espectro como una banda de flexión del O-H a 1658.7  $\text{cm}^{-1}$ . La banda a 2893.0  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones de C-H asociados con el anillo de la glucopiranososa y las bandas a 1417.6 y 1244  $\text{cm}^{-1}$  a la vibración de flexión de los grupos H-C-H (Abdullah et al., 2018). Las bandas representativas del almidón se distinguen a 1157.2 y 1070.4  $\text{cm}^{-1}$  correspondientes a las vibraciones de los enlaces C-O-C de la glucopiranososa y C-O respectivamente. Las bandas en 929.6, 852.5, 756.0, 669.3 y 462.9  $\text{cm}^{-1}$  son atribuidos a la vibración del anillo C - O - C de carbohidratos. El pico intenso a 2358.8  $\text{cm}^{-1}$  seguida de 2144.7  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente a  $\text{CO}_2$  puede ser resultados de las condiciones de medición (Altayan et al., 2017).

### Figura 9

*Espectro FTIR de almidón de papa peruanita*

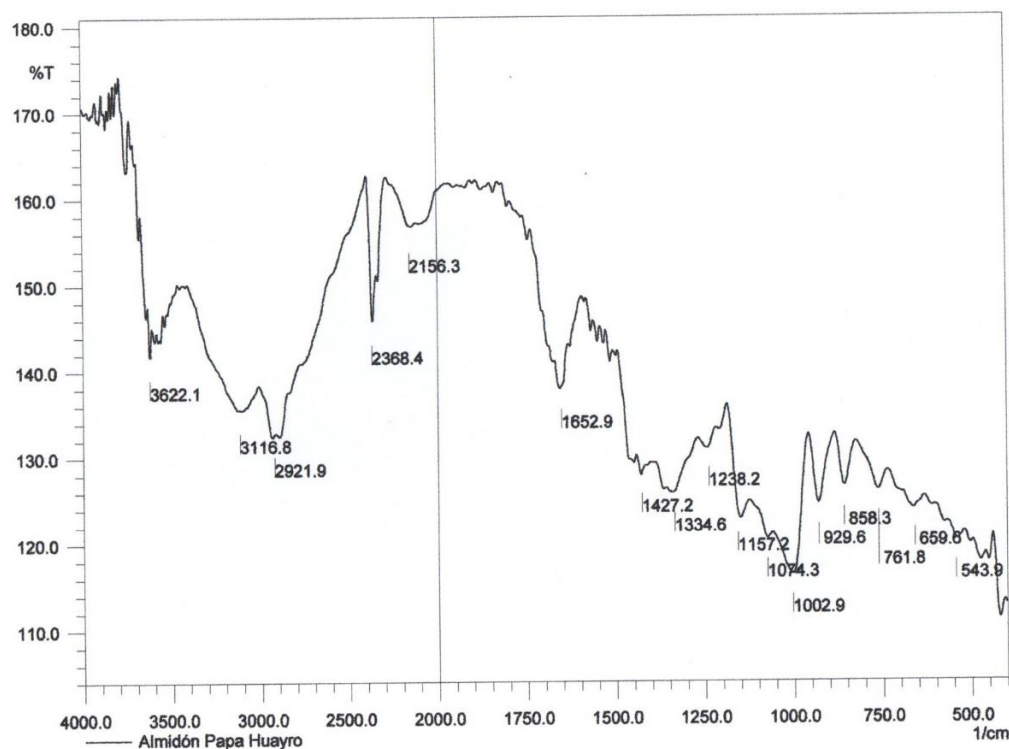


*Nota:* El eje X muestra el número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ), relacionado con las vibraciones moleculares; el eje Y indica la transmitancia (%T), que refleja cuánta radiación infrarroja atraviesa la muestra.

La Figura 10 muestra la caracterización del almidón a partir de la papa huayro por FTIR. La vibración  $3622.1$  y  $3116.8\text{ cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones del grupo O-H presentes en las unidades de glucosa que componen las cadenas de amilosa y amilopectina, característica particular de la estructura de los almidones. El agua retenida por el almidón se evidencia en el espectro como una banda de flexión del O-H a  $1652.9\text{ cm}^{-1}$ . La banda a  $2921.9\text{ cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones de C-H asociados con el anillo de la glucopiranososa y las bandas a  $1427.2$ ,  $1334.6$  y  $1238.2\text{ cm}^{-1}$  a la vibración de flexión de los grupos H-C-H (Abdullah et al., 2018). Las bandas características del almidón se distinguen a  $1157.2$ ,  $1074.3$  y  $1002.9\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a las vibraciones de los enlaces C-O-C de la glucopiranososa y C-O respectivamente. Las bandas en  $929.6$ ,  $858.3$ ,  $761.8$ ,  $659.6$  y  $543.9\text{ cm}^{-1}$  son atribuidos a la vibración del anillo C - O - C de carbohidratos. El pico a  $2368.4$  y  $2156.3\text{ cm}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  podrían ser resultados de las condiciones del análisis (Altayan et al., 2017).

**Figura 10**

*Espectro FTIR de almidón de papa huayro*



*Nota:* El eje X muestra el número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ), relacionado con las vibraciones moleculares; el eje Y indica la transmitancia (%T), que refleja cuánta radiación infrarroja atraviesa la muestra.

#### **4.2. Caracterización del agua en planta de tratamiento para consumo humano**

Los parámetros del agua cruda analizados en la planta de tratamiento del distrito de Pampas – Tayacaja mostraron un pH de 7.47, valor que se encuentra dentro del rango permitido por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010-SA), que establece un límite entre 6.5 y 8.5. La temperatura del agua fue de 18.3 °C, un valor que no cuenta con una regulación específica en dicha normativa, pero que es considerado adecuado para el consumo humano.

En cuanto a la turbidez, se registró un valor de 77.3 UNT, el cual supera ampliamente el límite máximo permitido de 5 UNT establecido en el DS N° 031-2010-SA. Esta elevada turbidez indica la presencia de partículas suspendidas que afectan la calidad visual y sanitaria del agua, por lo que es necesario aplicar un tratamiento adecuado para su reducción.

La conductividad eléctrica del agua fue de 79  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valor que se encuentra muy por debajo del límite máximo permisible de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que indica una baja concentración de sales disueltas y una buena calidad en este aspecto. Los sólidos disueltos totales (SDT) también mostraron un valor favorable de 39 mg/l, que está dentro del rango permitido por la normativa, cuyo límite máximo es de 1000 mg/l.

Finalmente, el color del agua cruda fue de 140 Pt/Co, cifra que excede considerablemente el valor máximo permitido de 15 Pt/Co establecido en el DS N° 031-2010-SA. Este parámetro es indicativo de la presencia de materia orgánica o compuestos coloreados que deben ser removidos para garantizar la calidad y seguridad del agua potable.

En resumen, aunque algunos parámetros como el pH, la conductividad y los sólidos totales disueltos cumplen con los estándares nacionales establecidos en el Reglamento DS N° 031-2010-SA, la turbidez y el color exceden los límites permitidos, lo que resalta la necesidad de implementar procesos de tratamiento efectivos para garantizar la potabilidad del agua en la zona.

**Tabla 7***Parámetros iniciales del agua*

Parámetro	Valor y unidad
pH	7.47
Temperatura	18.3 °C
Turbidez	77.3 UNT
Conductividad	79 $\mu$ S/m
SDT	39 mg/l
Color	140 Pt/Co

#### 4.3. Resultados de la concentración final y % de remoción del color

Las concentraciones iniciales del color del agua para los tratamientos en las tres réplicas fueron de 140 Pt/Co. En los tratamientos (Tabla 8), se evaluaron las variables, variedad de papa y concentración de coagulante en la remoción de color.

La Tabla 8 muestra la influencia de tres variedades de papa (criolla, peruanita y huayro) en la reducción del color del agua, utilizando distintas concentraciones de coagulante (80 mg/l, 100 mg/l y 120 mg/l). Se realizaron tres réplicas para cada combinación y se calculó el promedio de los valores obtenidos.

En términos generales, la papa criolla presentó valores de color relativamente estables en todas las concentraciones del coagulante, con promedios entre 4.67 y 5.33 Pt/Co. Esto indica que su capacidad para remover el color es limitada en comparación con las otras variedades evaluadas.

Por otro lado, la papa peruanita mostró una tendencia decreciente en los valores de color a medida que aumentaba la concentración del coagulante. Con 120 mg/l, se alcanzó el menor promedio para esta variedad (2.67 Pt/Co), lo que sugiere una mejora en la eficiencia del coagulante al aumentar su concentración.

La papa huayro fue la más efectiva en la remoción del color, alcanzando el valor más bajo (1.33 Pt/Co) con 120 mg/l de coagulante. Esta combinación mostró una mayor

capacidad de coagulación, posicionándola como la opción más eficiente para reducir la coloración del agua.

En todas las variedades analizadas, se observó que el aumento de la concentración del coagulante tiende a reducir el color del agua, siendo la mayor disminución registrada en la papa huayro con 120 mg/l.

En conclusión, el coagulante derivado de la papa huayro mostró el mejor desempeño en la reducción del color, seguido por la papa peruanita. La papa criolla, aunque efectiva, fue la menos eficiente. Estos resultados confirman que incrementar la concentración del coagulante mejora la eliminación del color, lo cual es clave para optimizar los procesos de potabilización del agua.

Tabla 8

*Resultados de concentración final del color en cada tratamiento*

N°	Variedad de papa	Concentración de coagulante (mg/l)	Color (Pt/Co)			Promedio
			Réplica I	Réplica II	Réplica III	
1	criolla	80	5	4	7	5.33
2	criolla	100	5	5	6	5.33
3	criolla	120	4	5	5	4.67
4	peruanita	80	4	4	5	4.33
5	peruanita	100	4	4	4	4.00
6	peruanita	120	2	3	3	2.67
7	huayro	80	4	3	5	4.00
8	huayro	100	4	3	4	3.67
9	huayro	120	1	2	1	1.33

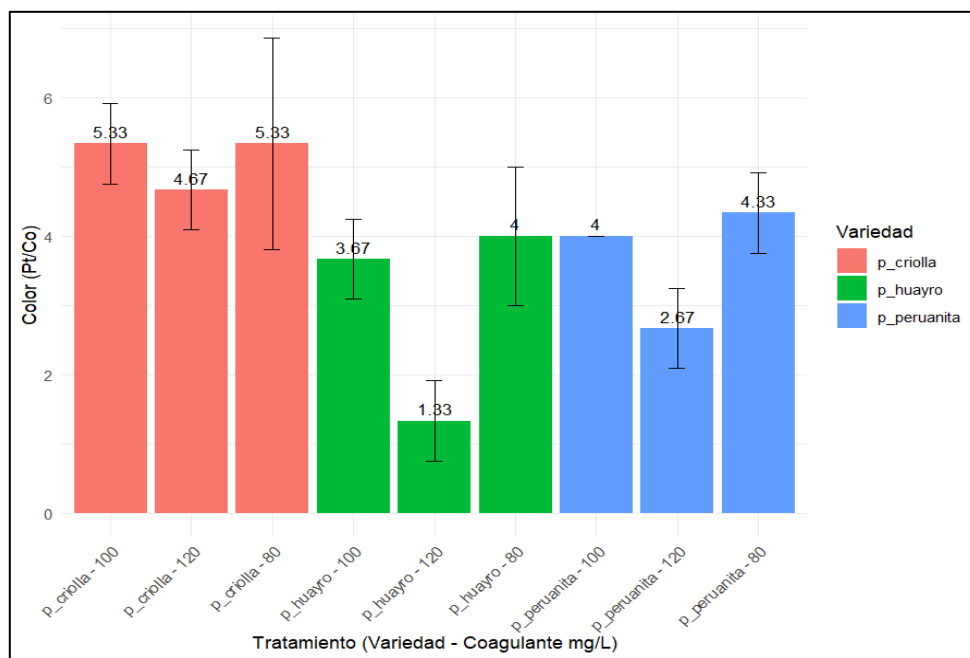
En la figura 11 se muestra el comportamiento del color (Pt/Co) residual en función de la concentración del coagulante (80 mg/l, 100 mg/l y 120 mg/l) para tres variedades de papa: criolla, peruanita y huayro. En términos generales, la variedad papa criolla presentó los valores más altos de color residual, con un promedio de 5.33 Pt/Co tanto a 80 como a 100 mg/l, lo cual indica una menor eficiencia en la remoción de color. Por otro lado, la variedad papa huayro mostró los valores más bajos, destacando el tratamiento con 120 mg/l, que alcanzó el mínimo promedio de color (1.33 Pt/Co), lo

que sugiere una mejor respuesta al coagulante. En tanto, la papa peruanita presentó un comportamiento intermedio, con una tendencia clara a disminuir el color conforme aumenta la concentración del coagulante.

Respecto a la desviación estándar, se observa que los tratamientos con mayor variabilidad fueron los de papa criolla a 80 mg/l y papa huayro a 80 mg/l, lo cual indica una menor repetibilidad o consistencia entre réplicas, posiblemente por factores no controlados durante el ensayo. En contraste, los tratamientos de papa peruanita a 100 mg/l y 120 mg/l mostraron desviaciones estándar muy bajas, evidenciando una alta estabilidad en los resultados. Este comportamiento sugiere que, además del promedio de color, la variedad de papa influye significativamente en la consistencia del proceso de coagulación, siendo la papa peruanita una opción más confiable bajo condiciones experimentales constantes.

Figura 11

*Remoción de color*



*Nota:* El eje X muestra los tratamientos aplicados (variedad de papa y dosis de coagulante en mg/l), y el eje Y representa el color del agua tratado, medido en unidades Pt/Co. Las barras de error indican la desviación estándar.

En la Tabla 9 se muestra los resultados de % de remoción de color; donde la mínima remoción de color obtenida fue de 96.19% en el tratamiento N° 1, lograda con coagulante de la variedad de papa criolla y concentración coagulante de 80 mg/l; mientras que, la máxima remoción de color de 99.05% fue en el tratamiento N° 9, obtenida con coagulantes de la variedad de papa huayro y concentración coagulante de 120 mg/l.

**Tabla 9**

*Resultados de % de remoción de color*

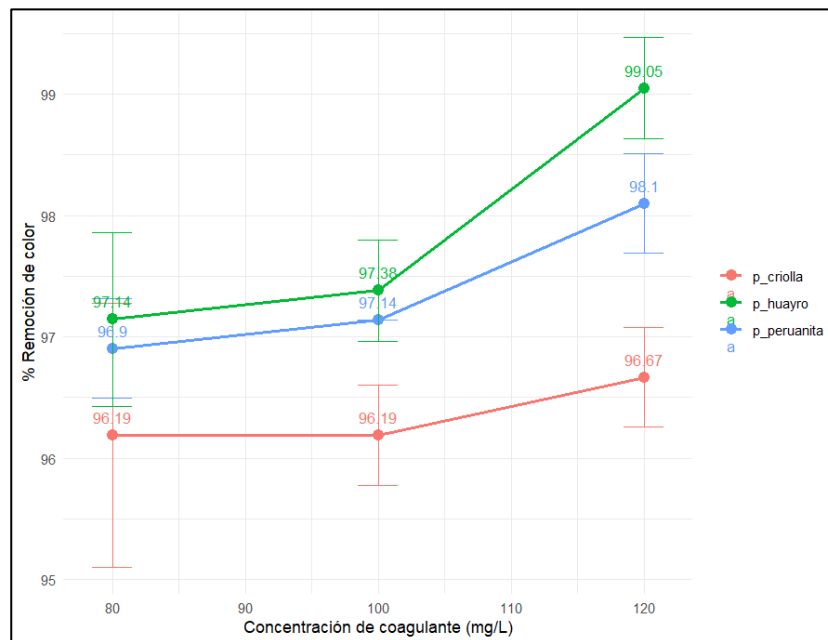
N°	Variedad de papa	Concentración de coagulante	% Remoción de color			Promedio
			Réplica I	Réplica II	Réplica III	
1	criolla	80	96.43	97.14	95.00	96.19
2	criolla	100	96.43	96.43	95.71	96.19
3	criolla	120	97.14	96.43	96.43	96.67
4	peruanita	80	97.14	97.14	96.43	96.90
5	peruanita	100	97.14	97.14	97.14	97.14
6	peruanita	120	98.57	97.86	97.86	98.10
7	huayro	80	97.14	97.86	96.43	97.14
8	huayro	100	97.14	97.86	97.14	97.38
9	huayro	120	99.29	98.57	99.29	99.05

El la figura 12 se muestra la eficiencia de remoción de color aumentó progresivamente con la concentración del coagulante en las tres variedades evaluadas: papa huayro, papa peruanita y papa criolla. La papa huayro mostró el mejor desempeño, alcanzando un 99.05% de remoción a 120 mg/l, seguida por la papa peruanita con un 98.10%, y finalmente la papa criolla, que logró solo un 96.67% en esa misma concentración. Esta tendencia indica que la variedad de papa utilizada como agente coagulante influyó significativamente en la eficiencia del proceso, evidenciando que la papa huayro y la papa peruanita poseen mayor capacidad para remover los compuestos responsables del color.

Estas diferencias pueden explicarse por las características estructurales y composicionales del almidón presente en cada variedad. Asimismo, se observó que la papa peruanita mostró una alta eficiencia con menor variabilidad entre réplicas, lo que sugiere una respuesta más estable al tratamiento. En contraste, la papa criolla presentó una eficiencia más baja y variable, posiblemente debido a una estructura del almidón menos favorable para el proceso de coagulación-floculación. Estos resultados evidencian la importancia de seleccionar adecuadamente la variedad vegetal en función de su composición para optimizar los procesos de tratamiento de aguas.

**Figura 12**

*Porcentaje de remoción de color*

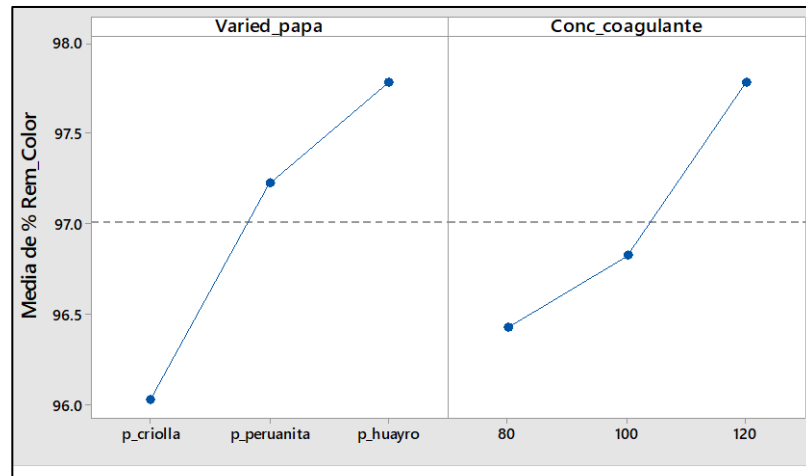


*Nota:* El eje X indica la concentración del coagulante (mg/l) y el eje Y muestra el porcentaje de remoción de color del agua tratada. Las líneas representan las distintas variedades de papa utilizadas como coagulante, y las barras de error reflejan la desviación estándar.

En la Figura 13, se muestra claramente que la máxima remoción de color fue con el almidón de la variedad de papa huayro, seguida de la papa peruanita y por último la papa criolla; además, la máxima remoción de color se lleva a cabo con una concentración del coagulante de 120 mg/l, seguida de 100 mg/l y por último la mínima remoción a 80 mg/l.

**Figura 13**

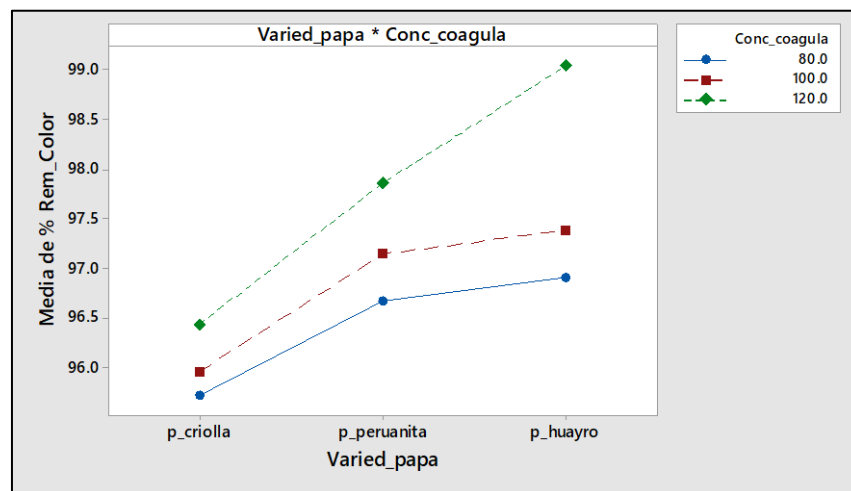
*Efectos principales para la remoción de color*



La Figura 14 muestra que, en la gráfica de interacción variedad de papa vs concentración de coagulante, se evidencia que, se logra mayores remociones de color con la variedad de papa huayro en diferentes niveles de concentración de coagulante, además, se observa que a mayor concentración de coagulante se tiene la máxima remoción de color.

**Figura 14**

*Interacción de factores para la remoción de color*



#### 4.4. Resultados de la concentración final y % de remoción de turbidez

Las concentraciones iniciales de la turbidez del agua para la réplica I fue de 77.3 UNT, para la réplica II de 72.9 UNT y para la réplica III de 79.3 UNT. En los tratamientos (Tabla 10), se evaluaron las variables: variedad de papa y concentración de coagulante en la remoción de la turbidez.

En la Tabla 10 se muestra la turbidez final en cada tratamiento y su réplica; donde la turbidez mínima fue reportada en las tres réplicas en el tratamiento N° 9 logrando una turbidez mínima promedio de 0.81 UNT; mientras que la turbidez máxima fue reportada en las tres réplicas en el tratamiento N° 1 con un promedio de 2.50 UNT.

**Tabla 10**

*Resultados de la turbidez final en cada tratamiento*

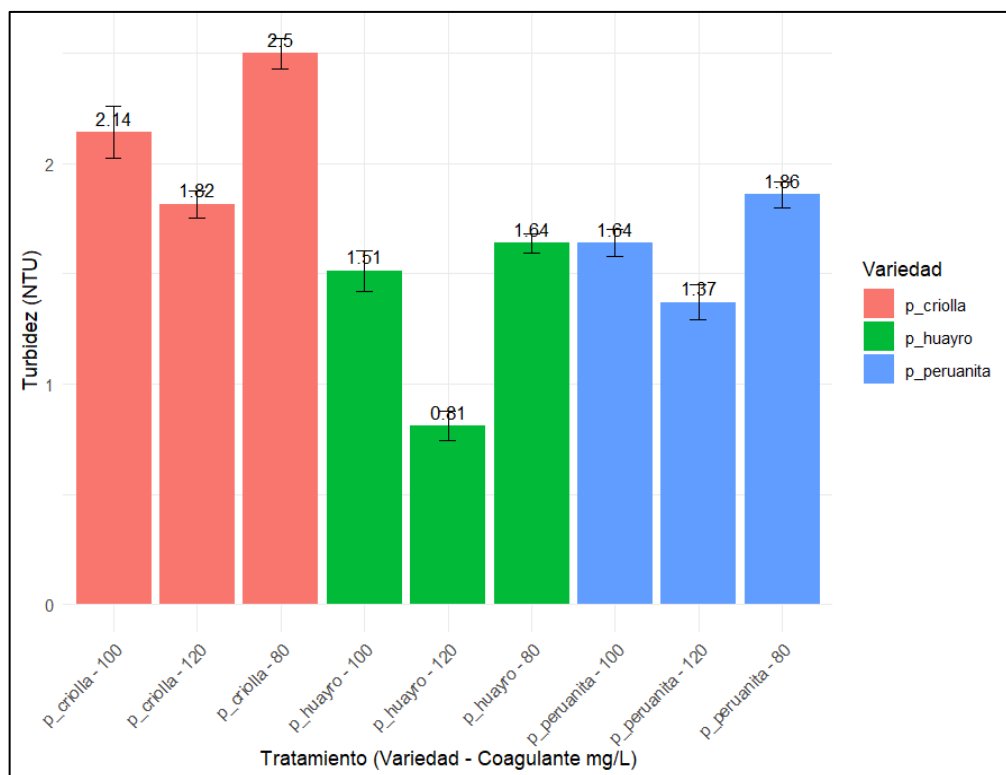
N°	Variedad de papa	Concentración de coagulante (mg/l)	Turbidez (UNT)			Promedio
			Réplica I	Réplica II	Réplica III	
1	criolla	80	2.53	2.42	2.55	2.50
2	criolla	100	2.18	2.01	2.24	2.14
3	criolla	120	1.83	1.75	1.87	1.82
4	peruanita	80	1.86	1.8	1.92	1.86
5	peruanita	100	1.64	1.58	1.7	1.64
6	peruanita	120	1.37	1.29	1.45	1.37
7	huayro	80	1.62	1.61	1.69	1.64
8	huayro	100	1.5	1.43	1.61	1.51
9	huayro	120	0.8	0.75	0.88	0.81

En la figura 15 la variedad papa huayro mostró los valores de turbidez más bajos entre las tres variedades evaluadas, destacando el tratamiento con 120 mg/l de coagulante, que alcanzó una turbidez de 0.81 UNT, el valor más bajo de todo el experimento. En cambio, con 100 y 80 mg/l, la turbidez fue de 1.51 y 1.64 UNT, respectivamente, indicando que un aumento en la dosis de coagulante mejoró significativamente la eficiencia en la reducción de turbidez para esta variedad.

Por otro lado, la papa criolla presentó los valores más altos de turbidez, siendo el tratamiento con 80 mg/l el menos efectivo, con 2.50 UNT, seguido por los tratamientos con 100 y 120 mg/l, que registraron 2.14 y 1.82 UNT, respectivamente. Esto sugiere una menor eficiencia coagulante en esta variedad. La papa peruanita tuvo resultados intermedios: el tratamiento con 120 mg/l redujo la turbidez a 1.37 UNT, mientras que con 100 y 80 mg/l se obtuvieron valores de 1.64 y 1.86 UNT, respectivamente, lo que indica que la eficiencia aumentó con una mayor concentración de coagulante, aunque no tan marcadamente como en la papa huayro.

**Figura 15**

*Remoción de turbidez*



*Nota:* El eje X muestra los tratamientos aplicados (variedad de papa y dosis de coagulante en mg/l), y el eje Y representa la turbidez del agua tratado, medido en unidades NTU. Las barras de error indican la desviación estándar.

En la Tabla 11 se muestra los resultados de % de remoción de turbidez; donde la mínima remoción de turbidez obtenida fue de 96.73% en el tratamiento N° 1, lograda con coagulante de la variedad de papa criolla y concentración coagulante de 80 mg/l; mientras que, la máxima remoción de turbidez de 98.94% en el tratamiento N° 9, fue obtenida con coagulantes de la variedad de papa huayro y concentración coagulante de 120 mg/l.

**Tabla 11**

*Resultados de % de remoción de turbidez*

N°	Variedad de papa	Concentración de coagulante (mg/l)	% Remoción de turbidez			Promedio
			Réplica I	Réplica II	Réplica III	
1	criolla	80	96.73	96.68	96.78	96.73
2	criolla	100	97.18	97.24	97.18	97.20
3	criolla	120	97.63	97.60	97.64	97.62
4	peruanita	80	97.59	97.53	97.58	97.57
5	peruanita	100	97.88	97.83	97.86	97.86
6	peruanita	120	98.23	98.23	98.17	98.21
7	huayro	80	97.90	97.79	97.87	97.85
8	huayro	100	98.06	98.04	97.97	98.02
9	huayro	120	98.97	98.97	98.89	98.94

En la figura 16 la papa huayro mostró el mayor porcentaje de remoción de turbidez, destacando con un 98.94% al emplear 120 mg/l de coagulante. Incluso a concentraciones menores (100 y 80 mg/l), mantuvo valores altos de remoción con 98.02% y 97.85%, respectivamente. Esto sugiere que esta variedad libera compuestos que favorecen la coagulación, posiblemente almidones o proteínas con mayor capacidad para desestabilizar las partículas suspendidas, incrementando así la eficiencia del tratamiento. En contraste, la papa criolla presentó los menores

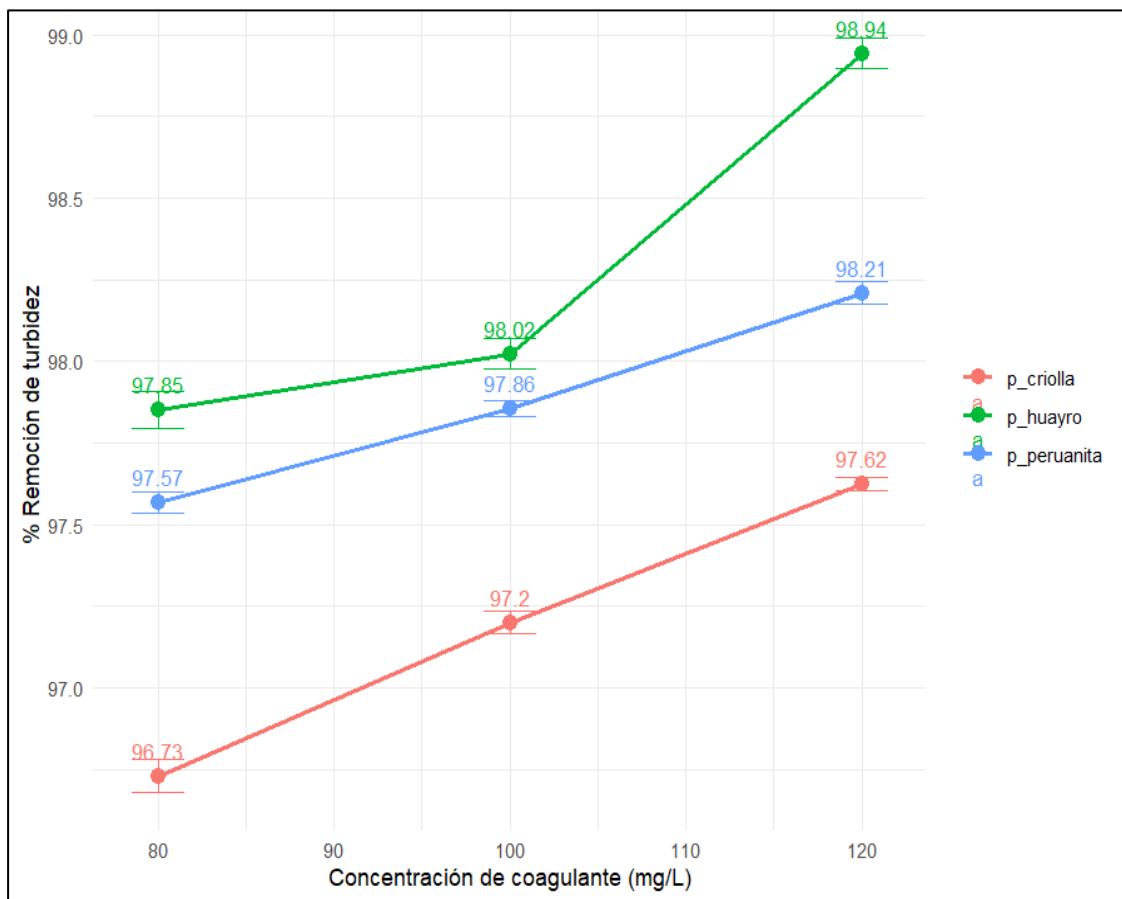
porcentajes de remoción, con 96.73 % a 80 mg/l y un máximo de 97.62% a 120 mg/l, lo que indica una respuesta menos eficiente al coagulante.

Por su parte, la papa peruanita tuvo un comportamiento más estable, con una remoción de turbidez que aumentó ligeramente con la concentración de coagulante, alcanzando un máximo de 98.21%.

Estos resultados podrían explicarse por diferencias en la composición química del almidón o la presencia de otros componentes que afectan la interacción con las partículas coloidales del agua.

**Figura 16**

*Porcentaje de remoción de turbidez*

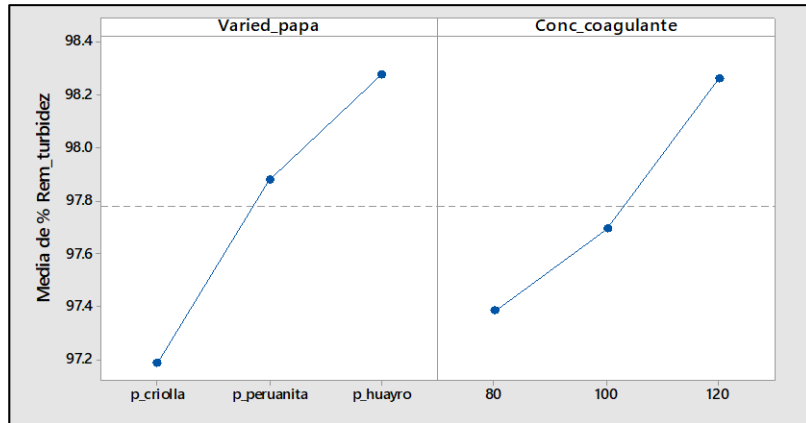


*Nota:* El eje X indica la concentración del coagulante (mg/l) y el eje Y muestra el porcentaje de remoción de turbidez del agua tratada. Las líneas representan las distintas variedades de papa utilizadas como coagulante, y las barras de error reflejan la desviación estándar.

En Figura 17, se muestra claramente que la máxima remoción de la turbidez fue con el almidón de la variedad de papa huayro, seguida de la papa peruanita y por último la papa criolla; por otro lado, la máxima remoción de la turbidez se lleva a cabo con una concentración del coagulante de 120 mg/l, seguida de 100 mg/l y por último la mínima remoción a 80 mg/l.

**Figura 17**

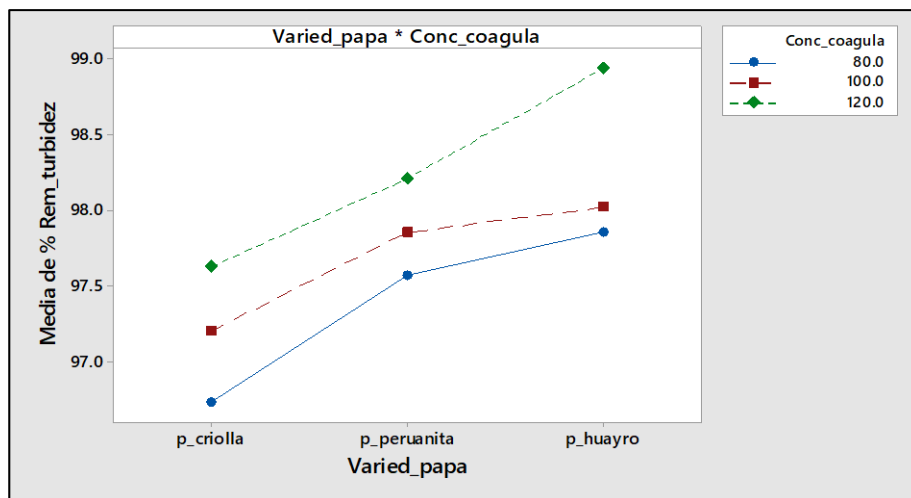
*Efectos principales para la remoción de turbidez*



La Figura 18 muestra que, en la gráfica de interacción variedad de papa vs concentración de coagulante, se evidencia que, se logra mayores remociones de turbidez con la variedad de papa huayro en cada nivel de concentración de coagulante en comparación con otras variedades, además, se observa que a mayor concentración de coagulante se tiene la máxima remoción de turbidez.

**Figura 18**

*Interacción de factores para la remoción de turbidez*



#### 4.5. Resultados de la concentración final y % de remoción de STD

Las concentraciones iniciales de STD para las tres réplicas en todos los tratamientos fue de 39 mg/l. En los tratamientos (Tabla 12), se evaluaron las variables, variedad de papa y concentración de coagulante en la remoción de STD.

En la Tabla 12 se muestra la concentración final de STD en cada tratamiento y su réplica; donde la concentración mínima de STD fue reportada en las tres réplicas en el tratamiento N° 9 con una concentración mínima promedio de 34.00 mg/l; mientras que, la concentración máxima fue reportada en las tres réplicas del tratamiento N.º 3, 4 y 5 con un promedio de 36 mg/l.

**Tabla 12**

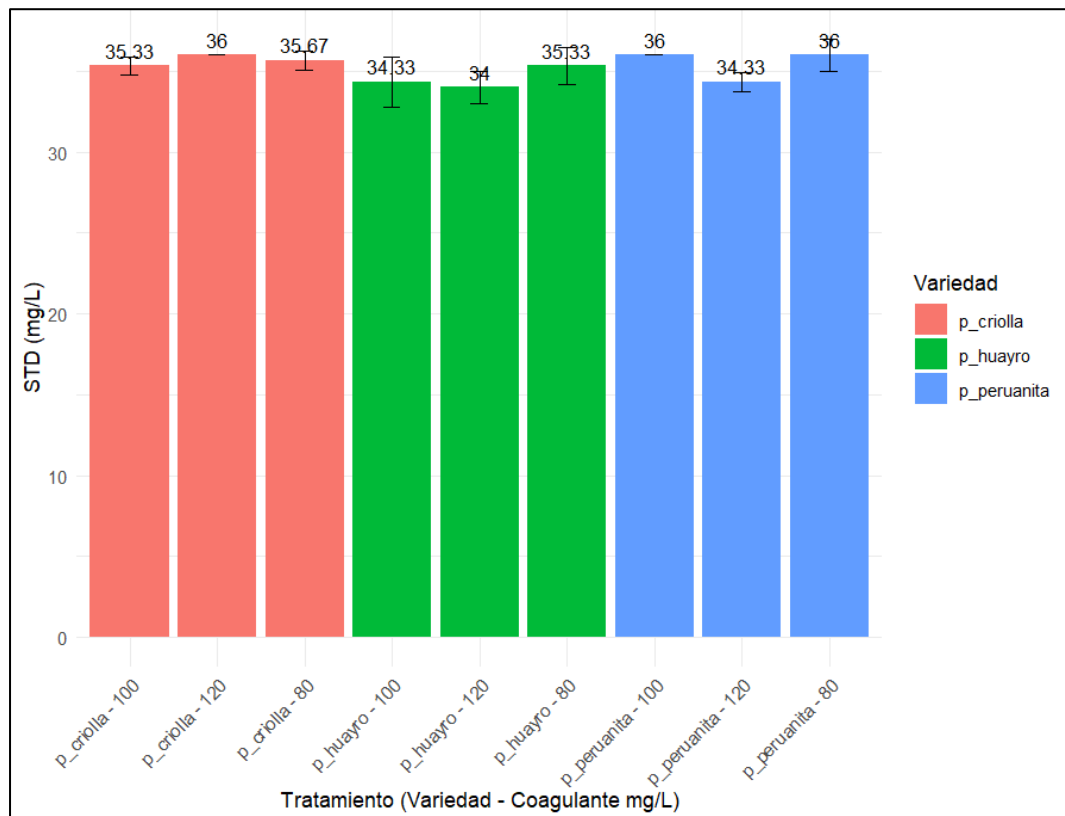
*Resultados de concentración final del STD*

N°	Variedad de papa	Concentración de coagulante (mg/l)	STD (mg(L))			Promedio
			Réplica I	Réplica II	Réplica III	
1	criolla	80	36	35	36	35.67
2	criolla	100	36	35	35	35.33
3	criolla	120	36	36	36	36.00
4	peruanita	80	36	37	35	36.00
5	peruanita	100	36	36	36	36.00
6	peruanita	120	35	34	34	34.33
7	huayro	80	36	34	36	35.33
8	huayro	100	36	33	34	34.33
9	huayro	120	35	34	33	34.00

En la figura 19 la papa huayro presentó los valores más bajos de sólidos totales disueltos (STD), especialmente con 120 mg/l de coagulante, alcanzando 34.00 mg/l, seguida de 100 mg/l con 34.33 mg/l. Aunque con 80 mg/l el valor aumentó a 35.33 mg/l, esta variedad mostró en general una mejor capacidad para generar extractos con menor concentración de sólidos disueltos, lo cual puede deberse a una menor liberación de compuestos solubles o a una mayor eficiencia en la sedimentación de partículas. En el caso de la papa criolla, los valores de STD fueron consistentemente altos, siendo el más elevado con 120 mg/l (36.00 mg/l), seguido de 80 mg/l (35.67 mg/l) y 100 mg/l (35.33 mg/l). La papa peruanita también mostró un comportamiento similar, con un pico de 36.00 mg/l en las concentraciones de 100 y 80 mg/l, mientras que con 120 mg/l se registró una leve disminución a 34.33 mg/l. Esto sugiere que estas variedades podrían liberar una mayor cantidad de compuestos solubles al medio, lo cual puede influir en la calidad final del agua tratada.

**Figura 19**

*Remoción de STD*



*Nota:* El eje X muestra los tratamientos aplicados (variedad de papa y dosis de coagulante en mg/l), y el eje Y representa los STD del agua tratado, medido en unidades mg/l. Las barras de error indican la desviación estándar.

En la Tabla 13 se muestra los resultados de % de remoción de STD; donde la mínima remoción de STD obtenida fue de 8.55% en el tratamiento N° 1, lograda con coagulante de la variedad de papa criolla y concentración coagulante de 80 mg/l; mientras que, la máxima remoción de turbidez de 12.82% se obtuvo en el tratamiento N° 9, con coagulantes de la variedad de papa huayro y concentración de coagulante de 120 mg/l.

**Tabla 13**

*Resultados de % de remoción de STD*

N°	Variedad de papa	Concentración de coagulante (mg/l)	% Remoción de STD			Promedio
			Réplica I	Réplica II	Réplica III	
1	criolla	80	7.69	10.26	7.69	8.55
2	criolla	100	7.69	10.26	10.26	9.40
3	criolla	120	7.69	7.69	7.69	7.69
4	peruanita	80	7.69	5.13	10.26	7.69
5	peruanita	100	7.69	7.69	7.69	7.69
6	peruanita	120	10.26	12.82	12.82	11.97
7	huayro	80	7.69	12.82	7.69	9.40
8	huayro	100	7.69	15.38	12.82	11.97
9	huayro	120	10.26	12.82	15.38	12.82

En la figura 20 la variedad papa huayro mostró los mayores porcentajes de remoción de sólidos totales disueltos (STD), alcanzando un 12.82% con 120 mg/l de coagulante. Este comportamiento puede atribuirse a una mayor presencia de compuestos bioactivos, como almidones y polisacáridos, que favorecen la formación de flóculos más estables y eficaces para la remoción de sólidos.

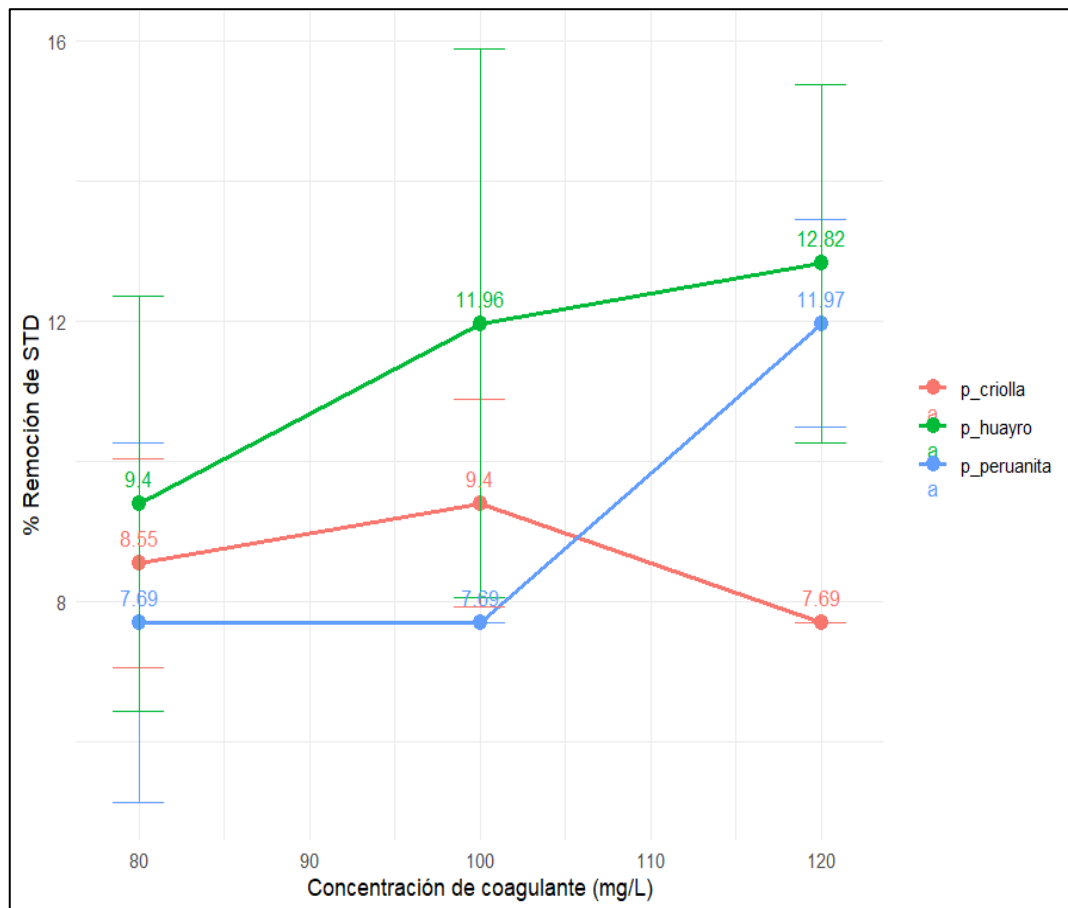
En contraste, la variedad papa criolla presentó valores más bajos, con una remoción máxima de 9.4% a 100 mg/l y una disminución a 7.69% a mayor concentración. Esto

podría deberse a una menor capacidad coagulante natural o a una sobresaturación del medio que disminuya la eficiencia a concentraciones más altas.

Por otro lado, la papa peruana mostró un comportamiento más estable a concentraciones bajas (7.69%) y un incremento significativo hasta 11.97% a 120 mg/l, lo que indica una mejor respuesta a concentraciones elevadas del coagulante, posiblemente por una interacción sinérgica con los componentes propios de esta variedad. En general, el aumento de la concentración de coagulante tiende a mejorar la eliminación de STD, aunque la eficiencia depende también de las características fisicoquímicas de cada variedad de papa utilizada como coagulante natural.

**Figura 20**

*Porcentaje de remoción de STD*

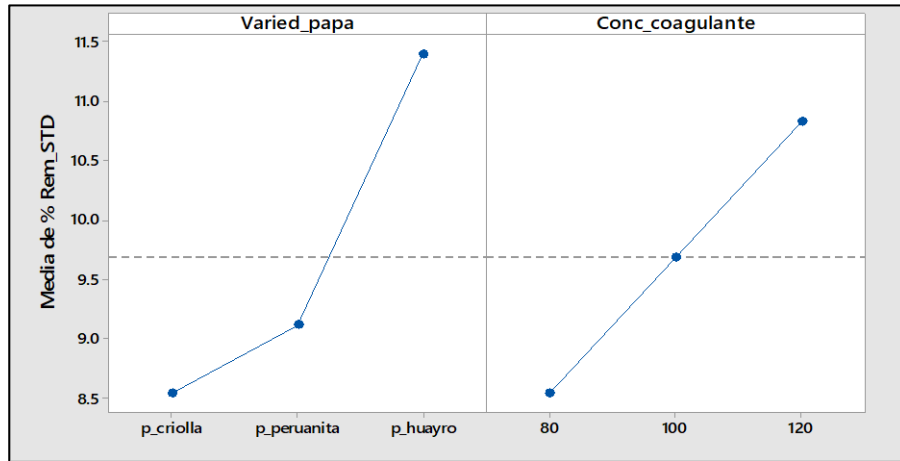


*Nota:* El eje X indica la concentración del coagulante (mg/l) y el eje Y muestra el porcentaje de remoción de STD del agua tratada. Las líneas representan las distintas variedades de papa utilizadas como coagulante, y las barras de error reflejan la desviación estándar.

En Figura 21, se muestra claramente que la máxima remoción de STD fue con el almidón de la variedad de papa huayro, seguida de la papa peruanita y por último la papa criolla; por otro lado, la máxima remoción de STD se lleva a cabo con una concentración del coagulante de 120 mg/l, seguida de 100 mg/l y por último la mínima remoción a 80 mg/l.

**Figura 21**

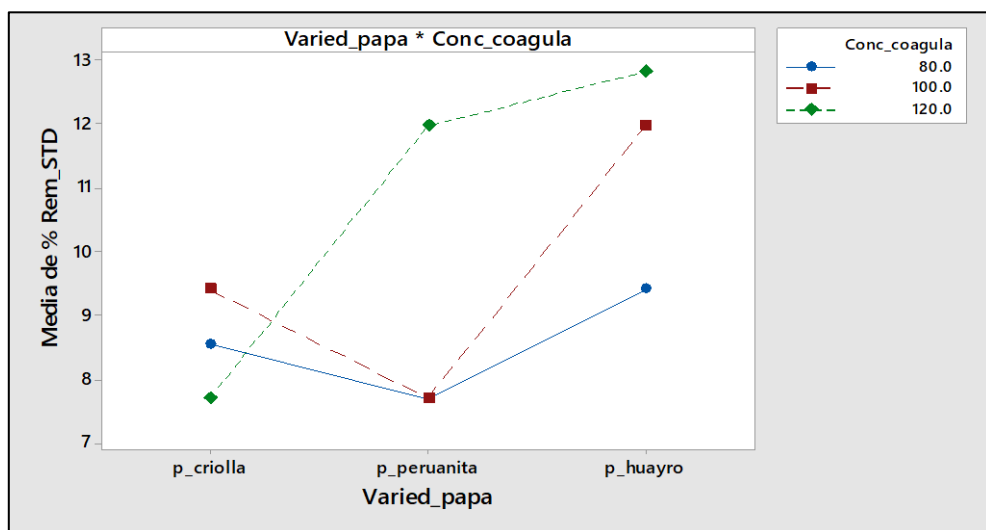
*Efectos principales para la remoción de STD*



La Figura 22 muestra que, en la gráfica de interacción variedad de papa vs concentración de coagulante, se observa que, se tiene mayores remociones de STD con la variedad de papa huayro con diferentes niveles de concentración de coagulante en comparación con otras variedades. También, se evidencia que a mayor concentración de coagulante se tiene la máxima remoción de STD.

**Figura 22**

*Interacción de factores para la remoción de STD*



## 4.6. Prueba de hipótesis contrastación de hipótesis de la investigación

### 4.6.1. Prueba de normalidad

Para determinar si se acepta o no la hipótesis nula, las gráficas de probabilidad normal (Figuras 23, 24 y 25) se elaboraron utilizando los porcentajes de remoción de turbidez, color y STD

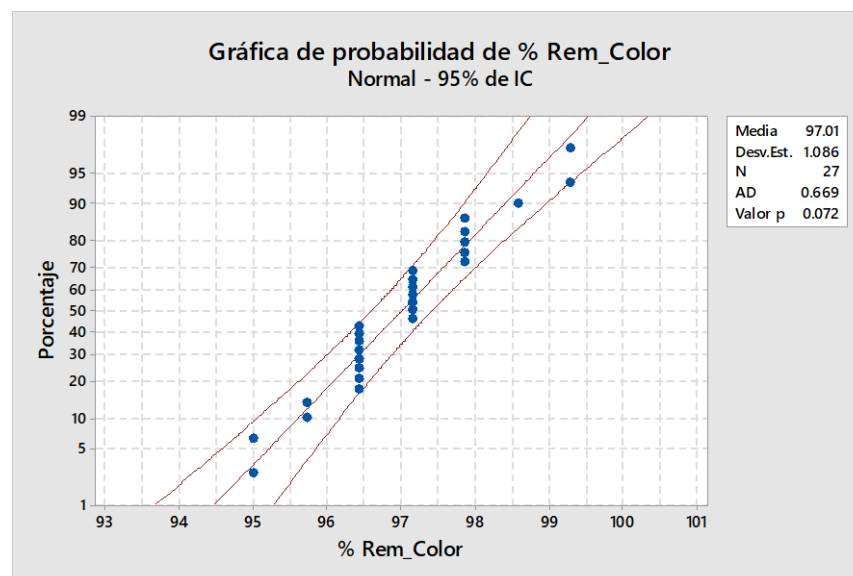
**H<sub>0</sub>:** Los datos proceden de una población normal

**H<sub>a</sub>:** Los datos no proceden de una población normal

La Figura 23 muestra la prueba de normalidad para la remoción de color, y el valor obtenido de " $p > 0.05$ " indica que se acepta la hipótesis nula. Esto significa que, estadísticamente, los datos proceden de una población normal. Por lo tanto, se puede utilizar la prueba paramétrica de análisis de varianza (ANOVA) para la contratación de hipótesis.

#### Figura 23

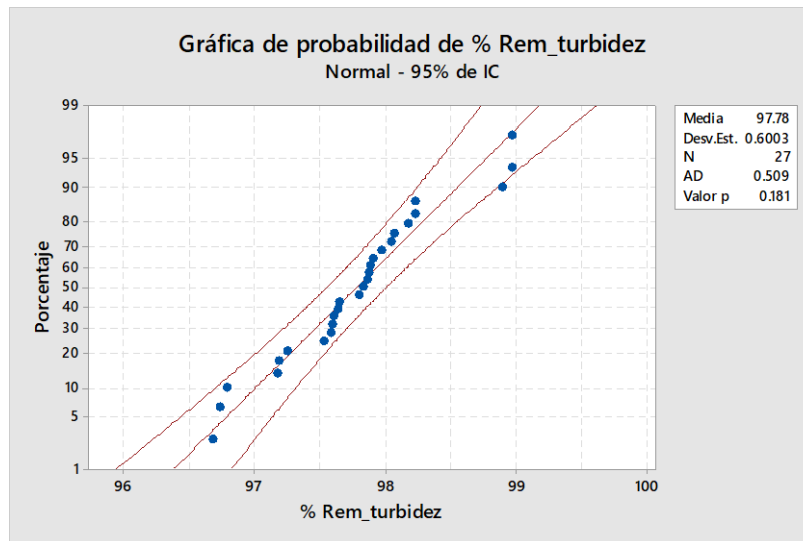
*Gráfica de probabilidad normal para la remoción de color*



La Figura 24 indica que, al realizar la prueba de normalidad para la remoción de turbidez, el valor obtenido de " $p > 0.05$ " sugiere que se acepta la hipótesis nula. En términos estadísticos, esto implica que los datos proceden de una distribución normal. Por lo tanto, podemos utilizar la prueba paramétrica de análisis de varianza (ANOVA) para contrastar hipótesis.

**Figura 24**

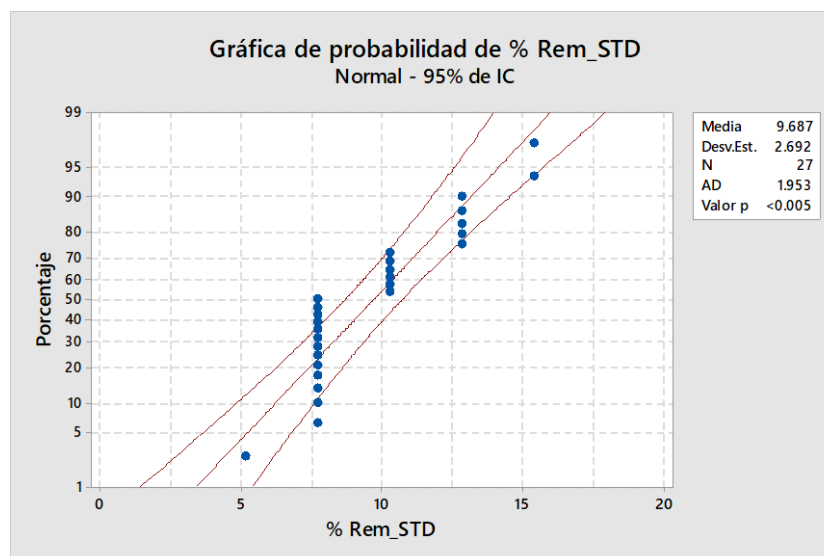
*Gráfica de probabilidad normal para la remoción de turbidez*



La Figura 25 muestra que, al realizar la prueba de normalidad para la remoción de STD, el valor obtenido de "p <0.05" indica que la hipótesis alterna es aceptada. Esto significa que, desde el punto de vista estadístico, los datos no siguen una distribución normal. Por ende, se empleó la estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis para la comparación de medias de porcentaje de remoción de STD.

**Figura 25**

*Gráfica de probabilidad normal para la remoción de STD*



#### 4.6.2. **Contrastación de hipótesis para la remoción de color**

En la Tabla 14, se aplicó un ANOVA bifactorial con bloques para analizar la influencia de la variedad de papa y la concentración del coagulante en la remoción de color. Los resultados indicaron que el modelo general obtuvo un valor p de 0.000, lo que confirma que al menos uno de los factores evaluados tiene un impacto significativo en la remoción de color. Además, el valor F de 10.88 respalda la relevancia estadística del modelo para explicar la variabilidad evidenciada en los datos.

El efecto de los bloques, que representa posibles fuentes de variación no controladas, presentó un valor p de 0.046, lo que sugiere una influencia moderada en los resultados. Aunque no es el principal factor de variación, su impacto no puede ser ignorado en el análisis.

Respecto al efecto individual de los factores, tanto la variedad de papa como la concentración del coagulante mostraron valores p de 0.000, lo que indica que ambos influyen significativamente en la remoción de color. La variedad de papa tuvo un valor F de 29.15, lo que demuestra que su impacto en la reducción del color es mayor en comparación con la concentración del coagulante, que obtuvo un valor F de 17.62.

Por otro lado, la interacción entre la variedad de papa y la concentración del coagulante no resultó significativa, ya que el valor p de 0.156 indica que no existe una relación sinérgica entre estos factores. Esto sugiere que cada variable influye de manera independiente en la remoción del color y que su combinación no genera un efecto adicional significativo.

El error residual del modelo es relativamente bajo (SC Ajustada = 3.930 y MC Ajustada = 0.2457), lo que indica que la mayor parte de la variabilidad en los datos es explicada por los factores analizados. Adicionalmente, el SC Total de 30.650 muestra que el modelo es adecuado para evaluar la eficiencia del tratamiento aplicado.

**Tabla 14***Análisis de varianza para la remoción de color*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	10	26.720	2.6720	10.88	0.000
Bloques	2	1.852	0.9259	3.77	0.046
Lineal	4	22.978	5.7445	23.38	0.000
Varied_papa	2	14.324	7.1618	29.15	0.000
Conc_coagulante	2	8.655	4.3273	17.62	0.000
Interacciones de 2 términos	4	1.890	0.4724	1.92	0.156
Varied_papa*Conc_coagulante	4	1.890	0.4724	1.92	0.156
Error	16	3.930	0.2457		
Total	26	30.650			

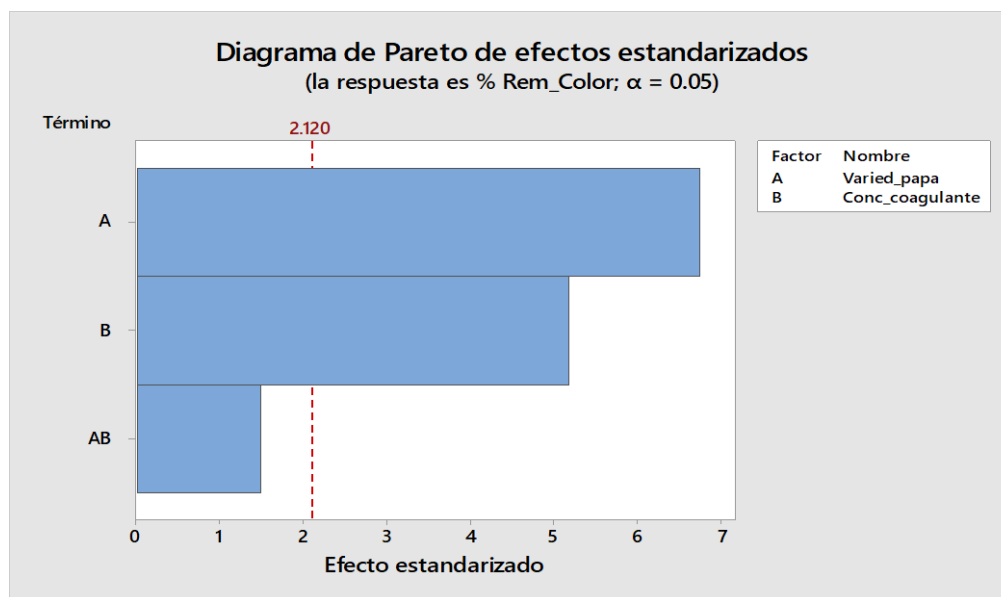
**Tabla 15***Resumen del modelo*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.495635	87.18%	79.16%	63.48%

El diagrama de Pareto de la Figura 26, muestra los factores junto con sus efectos e interacciones. Se destaca que tanto la variedad de papa como la concentración del coagulante son significativos, siendo la variedad de papa la más influyente en la remoción de color. Asimismo, al examinar la interacción de dos factores, se evidencia que la combinación de dosis de variedad de papa con concentración del coagulante no tiene impacto en la remoción de color.

**Figura 26**

*Diagrama de Pareto para la remoción de color*



#### 4.6.3. Contrastación de hipótesis para la remoción de turbidez

En la Tabla 16, se aplicó un ANOVA bifactorial con bloqueos para evaluar el impacto de la variedad de papa y la concentración del coagulante en la remoción de turbidez. Este análisis permite determinar la significancia estadística de estos factores y su interacción en la reducción de la turbidez del agua.

El modelo general obtuvo un valor p de 0.000, lo que indica que al menos uno de los factores evaluados tiene un impacto significativo en la remoción de turbidez. Además, el valor F de 586.56 confirma que el modelo es altamente significativo para explicar la variabilidad en los datos.

El efecto de los bloques, que representa fuentes de variación no controladas, mostró un valor p de 0.286, lo que indica que su influencia en los resultados no es significativa. Esto sugiere que la variabilidad en la remoción de turbidez se debe principalmente a los factores analizados (variedad de papa y concentración del coagulante).

En cuanto al efecto individual de los factores, tanto la variedad de papa como la concentración del coagulante presentaron valores p de 0.000, lo que indica que ambos influyen significativamente en la remoción de turbidez. La variedad de papa tuvo un valor F de 1714.72, lo que demuestra que es el factor con mayor impacto en la reducción de la turbidez. La concentración

del coagulante, con un valor F de 1111.46, también mostró un efecto significativo, aunque menor en comparación con la variedad de papa.

A diferencia del análisis de color, en este caso la interacción entre la variedad de papa y la concentración del coagulante resultó significativa, con un valor p de 0.000 y un valor F de 52.63. Esto indica que la combinación de ambos factores tiene un efecto adicional en la remoción de turbidez, es decir, la eficiencia del tratamiento no solo depende de cada factor por separado, sino también de cómo interactúan entre sí.

El error residual del modelo es extremadamente bajo (SC Ajustada = 0.02549 y MC Ajustada = 0.00159), lo que sugiere que la mayor parte de la variabilidad en los datos es explicada por los factores analizados. Adicionalmente, el SC Total de 9.36955 muestra que el modelo es adecuado y robusto para evaluar la eficiencia del tratamiento aplicado.

**Tabla 16**

*Análisis de varianza para la remoción de turbidez*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	10	9.34406	0.93441	586.56	0.000
Bloques	2	0.00432	0.00216	1.36	0.286
Lineal	4	9.00439	2.25110	1413.09	0.000
Varied_papa	2	5.46320	2.73160	1714.72	0.000
Conc_coagulante	2	3.54119	1.77060	1111.46	0.000
Interacciones de 2 términos	4	0.33536	0.08384	52.63	0.000
Varied_papa*Conc_coagulante	4	0.33536	0.08384	52.63	0.000
Error	16	0.02549	0.00159		
Total	26	9.36955			

**Tabla 17**

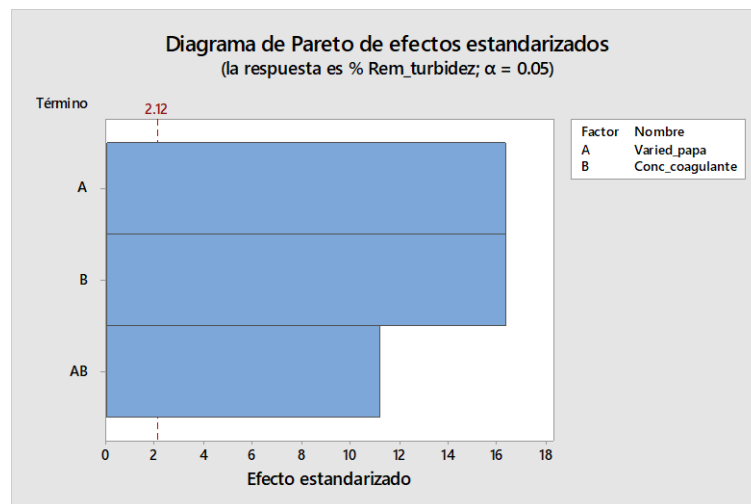
*Resumen del modelo*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0399128	99.73%	99.56%	99.23%

El diagrama de Pareto de la Figura 27, indica cada uno de los factores con sus efectos e interacciones, se observa que tanto la variedad de papa como la concentración del coagulante son significativos en lo que respecta a la remoción de turbidez. Además, al considerar la interacción entre dos factores, se evidencia que la combinación de la variedad de papa con la concentración del coagulante también ejerce influencia en la remoción de turbidez.

**Figura 27**

*Diagrama de Pareto para la remoción de turbidez*



#### 4.6.4. Contrastación de hipótesis para la remoción de STD

Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para contrastar las hipótesis relacionadas con la remoción de sólidos totales disueltos (STD), dado que la prueba de normalidad mostró que los datos no seguían una distribución normal. Esta prueba no paramétrica es conveniente para comparar más de dos grupos independientes cuando no se cumplen los supuestos de normalidad requeridos por métodos paramétricos. Su aplicación admite evaluar si hay diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los tratamientos analizados en relación con la eficiencia en la remoción de STD. En base a ello, se planteó la siguiente hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** No existen diferencias significativas para la eficiencia de remoción de STD con almidón de distintas variedades de la papa

**H<sub>a</sub>:** Existen diferencias significativas para la eficiencia de remoción de STD con almidón de distintas variedades de la papa

La Tabla 19 muestra que, a distintos almidones de diferentes variedades de papa, la remoción de STD no mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), evidenciando que la remoción de STD no fue influenciada por la variedad de coagulante. Donde, la mediana (12.82%) de coagulante de la papa huayro fue mayor que la mediana (7.69) obtenida del coagulante de la papa criolla y peruanita (Tabla 18).

**Ho:** No existen diferencias significativas para la eficiencia de remoción de STD por efecto de la concentración del coagulante.

**Ha:** Existen diferencias significativas para la eficiencia de remoción de STD por efecto de la concentración del coagulante.

**Tabla 18**

*Estadística descriptiva de las medias de los niveles de remoción de STD*

Variedad de papa	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Criolla	9	7.69	11.2	-1.31
Peruanita	9	7.69	12.7	-0.62
Huayro	9	12.82	18.2	1.93
General	27		14.0	

**Tabla 19**

*Prueba de hipótesis para remoción de STD por almidón de distintas variedades de papa*

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	3.88	0.144
Ajustado para empates	2	4.45	0.108

La Tabla 21 muestra que, a distintas concentraciones del coagulante 80, 100 y 120 mg/l, la remoción de STD no mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), evidenciando que la remoción de STD no fue influenciada por las distintas dosificaciones. Donde, la mediana de remoción (10.25%) con 120 mg/l de concentración, fue mayor que la mediana (7.69) obtenida con 80 y 120 mg/l de concentración del coagulante (Tabla 20).

**Tabla 20***Estadística descriptiva de las medias de los niveles de remoción de STD*

Concentración (mg/l)	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
80	9	7.69	11.0	-1.39
100	9	7.69	13.8	-0.08
120	9	10.25	17.2	1.47
General	27		14.0	

**Tabla 21***Prueba de hipótesis para remoción de STD por almidón de distintas concentraciones del coagulante*

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	2.72	0.256
Ajustado para empates	2	3.12	0.210

## V. Discusión

### **Efecto del almidón de tres variedades de papa nativas como coagulante para la remoción de turbidez**

Los resultados obtenidos confirman que la variedad de papa influye significativamente en la remoción de la turbidez (Tabla 16). Entre las variedades evaluadas, el almidón de la papa huayro demostró la mayor eficiencia, alcanzando una remoción del 98.94%, seguido por la papa peruanita con 98.21% y la papa criolla con 97.62% (Figuras 15 y 16). La aplicación del almidón de estas variedades como coagulante redujo significativamente la turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas – Tayacaja, lo que se evidencia en la Figura 27, donde se resalta que la mayor reducción se logró con la variedad huayro.

Estos resultados pueden explicarse por la composición química y estructural del almidón de cada variedad de papa. Investigaciones previas han señalado que la capacidad de adsorción de partículas y la formación de flóculos dependen de la cantidad y tipo de amilosa y amilopectina presentes en el almidón (Ttito et al., 2020). La papa huayro podría contener una mayor proporción de estos componentes, lo que favorece la coagulación y posterior sedimentación de las impurezas. Además, estudios han demostrado que la estructura molecular del almidón de papa facilita la captura de partículas coloidales, lo que explica la elevada eficiencia observada en este estudio (Melgarejo et al., 2019).

Adicionalmente, Melgarejo et al. (2019) evaluaron la combinación de almidón de plátano y sulfato de aluminio en una proporción 50:50, logrando una remoción de turbidez del 98.34%. Estos antecedentes respaldan la efectividad del almidón como coagulante natural y refuerzan su potencial en el tratamiento del agua, ya que la estructura del almidón permite una mejor adsorción de partículas en suspensión. Los resultados del presente estudio concuerdan con estas investigaciones previas, sugiriendo que el almidón de papa, dependiendo de su variedad, puede ser una alternativa viable y sostenible en la potabilización del agua (Ortiz et al., 2018).

## **Variación de la propiedad organoléptica (color) del agua durante el proceso de coagulación**

Se determinó que tanto la variedad de papa como la concentración del coagulante tienen un impacto significativo en la remoción del color del agua (Tabla 14). La variedad de papa huayro logró la mayor eficiencia con un 99.05% de remoción, seguida por la peruanita con 98.10% y la criolla con 96.67% (Figuras 11 y 12). Asimismo, al incrementar la concentración del coagulante a 120 mg/l, se alcanzó la mayor reducción del color, bajando de 140 Pt/Co a 1.33 Pt/Co (Tabla 8), (Figuras 14 y 26). Esto sugiere que el almidón de la papa huayro tiene una mayor capacidad de adsorción y floculación, lo que facilita la eliminación de compuestos responsables del color (Rozo y Cristancho, 2017).

La capacidad del almidón para reducir el color en el agua puede estar relacionada con su interacción con los compuestos orgánicos disueltos que generan la coloración. Se ha demostrado que los polisacáridos presentes en el almidón pueden formar puentes de hidrógeno con sustancias húmicas y fúlvicas, promoviendo su coagulación y sedimentación (Ortiz et al., 2018). Además, el aumento en la concentración del coagulante favorece la formación de flóculos de mayor tamaño, lo que mejora la eficiencia de remoción de estos compuestos. Investigaciones previas han reportado efectos similares al emplear almidón de yuca en combinación con sulfato de aluminio, alcanzando reducciones del 75% en la turbidez y 78% en el color (Rozo y Cristancho, 2017).

De manera similar, Rozo y Cristancho (2017) evaluaron almidones de yuca y plátano, obteniendo reducciones de color superiores al 60% en aguas residuales. Estos estudios refuerzan la efectividad del almidón como alternativa viable en la clarificación del agua potable y destacan el potencial de los coagulantes naturales como sustitutos de los químicos tradicionales. El presente estudio confirma que el almidón de papa, particularmente de la variedad huayro, es un coagulante altamente eficiente en la remoción de color, con resultados comparables a los obtenidos con otras fuentes de almidón en investigaciones previas (Melgarejo et al., 2019).

### **Determinación de la concentración óptima de almidón de cada variedad de papa para remover la turbidez**

El análisis de la variación en la concentración del coagulante confirmó que 120 mg/l es la dosis óptima para maximizar la remoción de turbidez, alcanzando un 98.94% de eficiencia (Tabla 16), (Figuras 15, 16 y 17). La aplicación de esta concentración en las tres variedades de papa resultó en una reducción significativa de la turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano en Pampas – Tayacaja, como se muestra en la Figura 27.

El aumento en la concentración del coagulante mejora la eficiencia del proceso de remoción de turbidez debido a la mayor disponibilidad de sitios activos de adsorción en las moléculas del almidón. Sin embargo, es importante destacar que una concentración excesiva puede generar efectos adversos, como la estabilización de partículas coloidales en lugar de su coagulación (Quispe y Ventura, 2022). Estudios han identificado una tendencia similar, encontrando que la dosis óptima de almidón de papa para la reducción de turbidez en fuentes de agua superficial fue de 100 mg/l con una velocidad de mezcla de 300 RPM, alcanzando una eficiencia del 93.31% (Quispe y Ventura, 2022).

Por otro lado, Zenon (2021) evaluó el almidón de oca en la clarificación del agua y reportó que, a una concentración de 80 mg/l, la reducción de turbidez fue de 20.56%, mientras que, al aplicar un pretratamiento y aumentar la dosis, la eficiencia mejoró hasta 97.35%. Estos hallazgos resaltan la importancia de optimizar la concentración del coagulante para maximizar su rendimiento. En el presente estudio, la dosis de 120 mg/l mostró ser la más efectiva para la remoción de turbidez, alineándose con estudios previos que han determinado que la cantidad de coagulante debe ajustarse a las características específicas del agua a tratar para lograr una mayor eficiencia en el proceso de potabilización.

## VI. Conclusiones

- Se ha identificado que el almidón de cada variedad de papa influye en la mejora de la remoción de turbidez logrando la máxima remoción de 98.94% con almidón de papa nativa huayro, seguida de la variedad de papa peruanita con 98.21% y por último la variedad de papa criolla con 97.62%. Por lo que, el almidón de tres variedades de papa nativas como coagulante remueve significativamente ( $p < 0.05$ ) la turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas – Tayacaja.
- Se determinó que el almidón extraído de la variedad de papa nativa huayro alcanzó la mayor eficiencia en la remoción de color, con un 99.05%, seguido por la variedad peruanita con 98.10% y, finalmente, la variedad criolla con 96.67%. Asimismo, se evidenció que la concentración de coagulante de 120 mg/l fue la más eficaz para la remoción de color en los tres tipos de almidón evaluados. En conclusión, el almidón proveniente de la papa nativa Huayro, aplicado a una concentración de 120 mg/l, demostró una remoción significativa del color ( $p < 0.05$ ) en el tratamiento de agua para consumo humano en la planta del distrito de Pampas – Tayacaja.
- Se determinó que la concentración del almidón de las variedades de papa remueve significativamente ( $p < 0.05$ ) la turbidez en la planta de tratamiento de agua para consumo humano del distrito de Pampas – Tayacaja, donde la mayor concentración de coagulante de 120 mg/l logra la máxima remoción de turbidez de 98.94% empleando almidón de papa huayro; asimismo, el almidón de la papa peruanita y criolla a mayor concentración favorecen la remoción de turbidez.

## VII. Recomendaciones

- Para los directivos o interesados en la planta de tratamiento, realizar una evaluación detallada de la disponibilidad y costos asociados con la adquisición y procesamiento de una planta que integre este sistema de tratamiento.
- Dado que se determinó que la variedad de papa nativa "huayro" logra la mayor remoción de color y que la concentración de coagulante de 120 mg/l es óptima para este propósito, se recomienda realizar investigaciones adicionales para comprender los mecanismos subyacentes detrás de estos hallazgos. Esto podría incluir estudios sobre la composición química y las propiedades físicas del almidón de papa de la variedad "huayro", así como investigaciones sobre la interacción entre el almidón y las partículas en suspensión en el agua.
- Realizar estudios adicionales para investigar cómo diferentes parámetros, como el tamaño de las partículas de almidón y la velocidad de agitación, afectan la eficiencia del proceso de coagulación. Estos estudios podrían proporcionar información útil para optimizar las condiciones de tratamiento de agua y mejorar la eficiencia del proceso de remoción de turbidez.

## VIII. Referencias bibliográficas

- Abdullah, A. H. D. y Chalimah, S. y Primadona, I. y Hanantyo, M. H. G. (2018). Physical and chemical properties of corn, cassava, and potato starches. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 160(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/160/1/012003>
- Acosta, A. (2021). Análisis de Dinámica de Fluidos Computacional del Proceso de Coagulación-Floculación empleando Almidones de Malanga (Colocasia esculenta) como Agentes Floculantes. In *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*.
- Altayan, M. M. y Al Darouich, T. y Karabet, F. (2017). On the Plasticization Process of Potato Starch: Preparation and Characterization. *Food Biophysics*, 12(4), 397–403. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9495-2>
- Brincano Castillo, L. E. y Rosario Cacha, N. P. (2017). Eficiencia Del Tropaeolum Tuberosum y la Cáscara De Solanum Tuberosum como Coagulante Para La Remoción De Turbiedad, Color Y Sólidos Disueltos, En El Río Lullán, Provincia De Caraz, Áncash-2016. *Ciencia e Investigación*, 4(1), 78–79.
- Chama, J. (2017). Evaluación del poder coagulante del almidón de papa (solanum tuberosum) var. única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento samegua, moquegua. *Universidad José Carlos Mariátegui*.
- Choque-Quispe, D. y Choque-Quispe, Y. y Solano-Reynoso, A. y Ramos-Pacheco, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298–309.
- Digesa. (2009). Parámetros organolépticos. *Digesa*. [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes\\_tecnicos/GRUPO DE USO 1.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO DE USO 1.pdf)
- Eili, V. (2022). Eficiencia del coagulante de papa (solanum tuberosum) variedad canchan para la reducción de la turbiedad del agua de consumo humano de la fuente superficial del río Disparate, Huancavelica 2021. *Universidad Nacional de Huancavelica*.
- Ezeh, N. O. y Nwagu, T. N. T. y Amadi, O. C. y Okolo, B. y Moneke, A. y Agu, R. (2023). Extracellular pectinase production from a novel *Yarrowia phangngaensis* XB3 grown on banana waste and its application in fruit juice clarification. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 47, 102614. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102614>
- Ghione, A. (2023). Propiedades organolépticas del agua. *Nucl. Phys.* 13(1), 104–116.
- Gutierrez, J. y Galindo, J. y Lopez, G. y Orellana, D. y Mendoza, S. y Chavez, M. y Rodas,

- N. y Perez, J. y Ortiz, M. (2023). *Pampas Tayacaja-Huancavelica Water purification by means of membranes in the city of Pampas -Tayacaja*. 14–22.
- Hernández, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2022). *Metodología de la investigación* (7.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Kiew, P. L. y Chong, K. H. (2017). Development of fruit-based waste material as bioflocculant for water clarification. *Journal of Mechanical Engineering, SI* 4(5), 1–10.
- Kristianto, H. y Saraswati, S. y Prasetyo, S. y Sugih, A. (2022). The utilization of galactomannan from spent coffee grounds as a coagulant aid for treatment of synthetic Congo red wastewater. *Environment Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02274-x>
- Leiva López, C. M., & Obando Pérez, R. S. (2014). *Extracción de almidón a partir de variedades de papa cultivadas en Nicaragua* (Trabajo de diploma). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química.
- Martinuzz, M. (2017). Sistema de coagulación. *Revista Sociedad Argentina de Hematología*, 21(1), 31–42. [https://www.sah.org.ar/revistasah/numeros/vol21/extra/08-Vol\\_21-extra.pdf](https://www.sah.org.ar/revistasah/numeros/vol21/extra/08-Vol_21-extra.pdf)
- MINSA. (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N ° 031-2010-SA. Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú. *Dirección General de Salud Ambiental - Ministerio de Salud*, 39. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
- Orosco J. (2020). Remoción De Turbidez Y Sdt, Aplicando Almidón De Yuca Y Papa En El Agua De La Quebrada Rumiycu. *Universidad César Vallejo*.
- Padilla, R. (2021). Modelo de red neuronal para mejorar la dosificación de cloro gas en la planta de tratamiento de agua potable de la municipalidad de Tayacaja. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*, 2023.
- Pérez, F. y Urrea, M. A. (2018). Abastecimiento de Aguas. *Abastecimiento De Aguas, Coagulación Y Floculación*, 1–34.
- Posada Velez, M. C. y Pineda Gómez, P. y Martínez Hernández, H. D. (2023). Acetylated corn and potato starches as an alternative to the toxic inorganic coagulants/flocculants for wastewater treatment. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20, 100786. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100786>
- Restrepo, H. (2009). Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable. *Universidad Nacional de Colombia*, 2(5), 255.

- Tayacaja en Línea. (2022). *AGUA POTABLE DE PAMPAS, NO ES APTA PARA EL CONSUMO HUMANO A FALTA DE TRATAMIENTO, CON LOS AÑOS VENIDEROS AFECTARÁ LA SALUD DE SU POBLACIÓN*. Tayacaja En Línea.
- Teh, C. Y. y Wu, T. Y. y Juan, J. C. (2014). Potential use of rice starch in coagulation-flocculation process of agroindustrial wastewater: Treatment performance and flocs characterization. *Ecological Engineering*, 71, 509–519. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.005>
- Ttito, R. M. (2018). Evaluación de la eficacia del almidón de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano en condiciones alta andina, 2018. *Universidad Peruana Unión*, 0(0), 99.
- Ttito Surco, R. M. y Vigo Rivera, J. E. y Callata Chura, R. A. (2020). *Starch of three varieties of potato as an auxiliary to aluminum sulfate in the treatment of water for human consumption in high andean condiciones*. 2, 35–45.
- Velandia, J. (2021). Evaluación del almidón de maíz y trigo como coagulante - floculante para la remoción de turbidez y color aparente en acueductos rurales. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia – Unad*, 6.
- Zenon C. (2021). Determinación de la eficiencia del almidón de la oca en el proceso de clarificación del agua para consumo humano en el río Ayaviri. *Universidad Privada San Carlos*.

## IX. Anexo

### Anexo A: Elaboración del almidón de las variedades de la papa

#### A1: pelado y licuado de cada especie de la papa



#### A2: Obtención del almidón y análisis



## **Anexo B: Pruebas experimentales-coagulación**

### **B1. Pesado de cada variedad de almidón**



### **B2. Medición de muestra de agua a tratar**



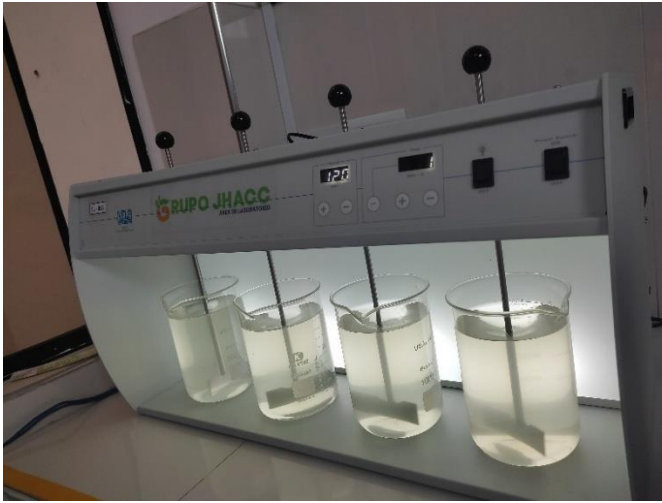
### **B3. Dosificación del almidón a la muestra de agua a tratar**



### **B4: Adecuación al equipo de test de jarras**



**B5: Puesta en marcha del equipo de test de jarras**



**B6: Sedimentación de las muestras tratadas**



## Anexo c: Reportes de laboratorio de FTIR



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

N° 005-2024-LAI

### CONSTANCIA DE ANÁLISIS

Conste por el presente documento que la Tesista **Canchari Suarez, Luz Mayli**, ha solicitado los servicios del Laboratorio de Análisis Instrumental para realizar el:

- ✓ Análisis por Espectrofotometría de Infrarrojos con Transformadas de Fourier de tres muestras en polvo de almidones de tres variedades de papa.

Estas muestras corresponden a su trabajo de Investigación titulado: **"EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL ALMIDÓN DE TRES VARIEDADES DE PAPA NATIVAS (SOLANUM TUBEROSUM) COMO COAGULANTE PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL DISTRITO DE PAMPAS - TAYACAJA, 2023"**.

El análisis se realizó en el Espectrofotómetro de Infrarrojos con Transformadas de Fourier, bajo las siguientes condiciones:

- Modelo del equipo: FTIR-8700
- Marca: SHIMADZU
- Método: DRS
- Modo de Medición: Transmitancia
- Resolución: 4
- Rango: 4000 – 400
- Peso de Muestra: 0.0020 g

Se emite la presente para los fines que estime conveniente.

Huancayo, 19 de marzo del 2024.

  
**Dr. SALVADOR B. BENDEZÚ MONTES**



c.c./Archivo