



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL

**TESIS**

**EFICIENCIA DEL ALMIDÓN DE TRES VARIEDADES DE MAÍZ (*Zea mays L. Ssp  
amiláceo. Zea mays amylosaccharata*) COMO COAGULANTE NATURAL EN LA  
REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE PAMPAS,  
TAYACAJA, HUANCVELICA**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

L12: SEGURIDAD AMBIENTAL Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

**OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE:**

AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO

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

1.00.00 – Ciencias Naturales

**PRESENTADO POR:**

Bach. NILO EDISON HUAMÁN ZEVALLOS

(ORCID: 0009-0007-4631-5592)

**ASESOR:**

Dr. Ing. PEDRO JOSÉ GARCÍA MENDOZA

(ORCID: 0000-0002-3888-2315)

Pampas – Perú

2024

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

## FACULTAD DE INGENIERÍA

<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS EN LA MODALIDAD PRESENCIAL PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL</b>	
Expediente N° 19-2024-UNAT/FI-EPIFA	Página 1 de 1

En esta acta, se hace constar que en el auditorium de Estudios Generales de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja "Daniel Hernández Morillo", ubicado en el distrito de Ahuaycha, provincia de Tayacaja, departamento Huancavelica, el día **19 de diciembre del 2024**, a las **10:00** horas, se reunieron los miembros del Jurado Calificador designados con Resolución de Comisión Organizadora N° 316-2023-CO-UNAT, de fecha 12 de setiembre del 2023, con el propósito de llevar a cabo el **Acto de Sustentación** de la tesis de Titulación Profesional:

**"EFICIENCIA DEL ALMIDÓN DE TRES VARIEDADES DE MAÍZ (*Zea mays L. Ssp amiláceo. Zea mays amylosaccharata*) COMO COAGULANTE NATURAL EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE PAMPAS, TAYACAJA, HUANCAMELICA"**



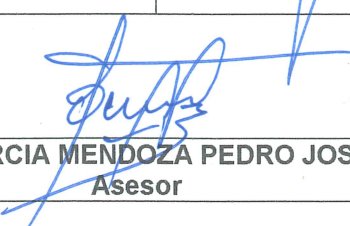
Dicha tesis ha sido presentado por el Bachiller en Ingeniería Forestal Ambiental **HUAMAN ZEVALLOS NILO EDISON** asesorado por el docente Dr. GARCIA MENDOZA PEDRO JOSE, adscrito al Departamento Académico de Ingeniería Forestal Ambiental.

Después de haber calificado el informe final de tesis, escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas por el Jurado, se le declara<sup>1</sup>: Aprobado, para optar el **Título Profesional de INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL**, con la calificación de 17,33, que corresponde a la condición<sup>2</sup>: Muy bueno.

En consecuencia, la sustentante:

- 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 las 10:51 horas del mismo día, mes y año, se da por concluido el Acto de Sustentación, firmando a continuación los intervinientes, en señal de conformidad de lo acontecido y consignado.

	
<b>Dr. SALDAÑA CHAFLOQUE CHARLES FRANK</b> Presidente	<b>Dr. ALVAREZ TICLLASUCA ADIEL</b> Miembro
	
<b>Dr. GARCIA MENDOZA PEDRO JOSE</b> Asesor	

1. Indicar: Aprobado y/o Desaprobado.
2. Indicar: Excelente, Muy Bueno, Bueno, Regular y/o Desaprobado.

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 051-2024

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

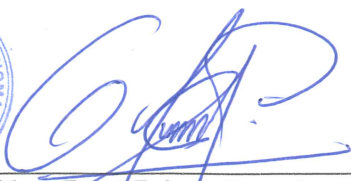
### HACE CONSTAR:

Que la tesis titulada: "EFICIENCIA DEL ALMIDÓN DE TRES VARIETADES DE MAÍZ (*Zea mays L. Ssp amiláceo. Zea mays amylosaccharata*) COMO COAGULANTE NATURAL EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE PAMPAS, TAYACAJA, HUANCVELICA", desarrollado por el bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental NILO EDISON HUAMÁN ZEVALLOS, asesorado por el DR. PEDRO JOSÉ GARCÍA MENDOZA, cumple con los requisitos de conformidad de originalidad mediante (*software Anti plagio Turnitin*), evidenciándose en el informe de originalidad un porcentaje de similitud de diecisiete (17%), 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, 16 de diciembre de 2024



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

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar un gran agradecimiento al Dr. Ing. Pedro José García Mendoza, por su inestimable guía, paciencia y su dedicación en todo este proceso largo de investigación. También su conocimiento y experiencia muy fundamental para la realización de esta tesis.

Agradezco también al Mg. Ing. Adiel Álvarez Ticllasuca quien con su formación y disposición a sus estudiantes han contribuido significativamente a la mejora de este trabajo. Su apoyo ha sido clave en cada etapa del desarrollo de esta investigación.

A mi familia, especialmente a mis padres Miguel Huamán Villalva y Graciela Zevallos Pérez, asimismo mis hermanos Cristian, Salvador, Kenyi y Franz, gracias por su amor incondicional. Su apoyo ha sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza.

Agradezco también a la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo (UNAT), por la oportunidad de poder realizar mis estudios universitarios en mi propia región y por el financiamiento de gran parte del trabajo realizado.

Finalmente, agradezco a todas las personas y organizaciones que, de alguna manera, colaboraron con este proyecto, ya sea proporcionando información, recursos o simplemente palabras de ánimo. Su contribución ha sido invaluable para la culminación de esta tesis.

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres, Miguel y Graciela, por su grandioso amor, sacrificio y su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida. Su dedicación y fe en mí han sido el motor que me ha impulsado a alcanzar mis sueños y metas.

A mis queridos abuelos, Petronila y Pablo, por sus sabias palabras y enseñanzas, que estando en vida siempre me han guiado y motivado y que ahora desde el cielo me cuidan y me siguen guiando.

A mis hermanos, Cristian, Salvador, Kenyi y Franz, por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo y ánimo inquebrantable.

A un gran amigo Máximo Osorio, por su compañía, risas y apoyo incondicional siempre durante los años de estudio, pero que lamentablemente ahora solo me acompaña desde el cielo.

## TABLA DE CONTENIDOS

I.	INTRODUCCION .....	1
1.2	Planteamiento del problema .....	3
1.3	Formulación del problema.....	4
1.3.1	Problema general.....	4
1.3.2	Problemas específicos .....	4
1.4	Justificación e importancia.....	4
1.5	Objetivos.....	5
1.5.1	Objetivo general .....	5
1.5.2	Objetivos específicos .....	5
1.6	Formulación de hipótesis.....	6
1.6.1	Hipótesis general .....	6
1.6.2	Hipótesis específicas .....	6
1.6.3	Hipótesis nula .....	6
II.	MARCO TEÓRICO .....	7
2.1	Antecedentes .....	7
2.2	Bases teóricas y conceptuales .....	8
2.2.1	Maíz: .....	8
2.2.2	Definición y origen del maíz: .....	8
2.2.3	El almidón de maíz:.....	9
2.2.4	Calidad de agua: .....	9
2.2.5	Turbidez del agua .....	9
2.2.6	Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ .....	10
III.	METODOLOGÍA .....	11
3.1	Tipo de investigación .....	11
3.2	Nivel de investigación .....	11

3.3	Método de investigación.....	11
3.4	Diseño de investigación.....	11
3.5	Población, muestra y muestreo .....	13
3.5.1	Población.....	13
3.5.2	Muestra.....	13
3.5.3	Muestreo .....	13
3.6	Ubicación.....	13
3.7	Procedimiento de obtención de almidón de tres variedades de maíz .....	14
3.8	Proceso de preparación de soluciones para los tratamientos.....	16
3.9	Dosis para la combinación de los tratamientos .....	17
3.10	Procedimiento de test de jarras .....	17
3.11	Procedimiento de obtención del porcentaje de Eficiencia de Remoción.....	19
IV.	RESULTADOS .....	20
4.1	Resultados del proceso de obtención de almidón de tres variedades de maíz (amiláceo-cusqueado, amiláceo-astilla y amiláceo-carhuay) .....	20
4.2	Resultados del análisis de parámetros de pH y turbidez de agua para consumo humano.....	20
4.3	Comparación de resultados obtenidos de turbidez final .....	21
4.4	Estimación del porcentaje de remoción.....	22
4.5	Comparación de resultados obtenidos de porcentajes de eficiencia de remoción	22
4.6	Resultados de los análisis de varianza .....	23
4.7	Resultado final de pruebas de turbidez y eficiencia .....	25
V.	DISCUSIÓN .....	30
VI.	CONCLUSIONES .....	32
VII.	RECOMENDACIONES .....	33
VIII.	REFERENCIAS.....	34
IX.	ANEXOS.....	1

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> .....	11
Combinación de los factores a y b para determinar los tratamientos.	
<b>Tabla 2</b> .....	21
Esquema de ANOVA según el modelo matemático propuesto.	
<b>Tabla 3</b> .....	17
Dosificación de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ – almidón de maíz.	
<b>Tabla 4</b> .....	20
Resultados – Proceso obtención de almidón de maíz.	
<b>Tabla 5</b> .....	20
Resultados de análisis de agua potable para parámetros pH y Turbidez	
<b>Tabla 6</b> .....	24
Resultados de análisis de varianza para la variable Turbidez del agua.	
<b>Tabla 7</b> .....	24
Resultados de análisis de varianza para la variable eficiencia.	
<b>Tabla 8</b> .....	28
Valores promedios para las variables turbidez y eficiencia observados en las diferentes variedades bajo los diferentes niveles de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) utilizados.	



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> .....	15
Esquema Proceso de obtención de almidón de maíz amiláceo.	
<b>Figura 2</b> .....	21
Comparación de dosificaciones del almidón de maíz amiláceo sus tres variedades.	
<b>Figura 3</b> .....	23
Comparación de porcentajes de remoción de turbidez de acuerdo a cada dosificación del almidón de maíz en sus tres variedades.	
<b>Figura 4</b> .....	25
Promedios de turbidez para las diferentes variedades de maíz utilizadas en el estudio.	
<b>Figura 5</b> .....	26
Valores promedios de turbidez observados en los diferentes niveles de aluminio utilizados.	
<b>Figura 6</b> .....	27
Valores promedios de eficiencia para las diferentes variedades de maíz utilizadas en el estudio.	
<b>Figura 7</b> .....	27
Valores promedios de eficiencia de remoción para las diferentes variedades de maíz utilizadas en el estudio.	

## RESUMEN

El sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  es el producto químico comúnmente utilizado en el proceso de remoción de turbiedad en el tratamiento de agua destinada para consumo humano. No obstante, de acuerdo a estudios realizados, este producto químico puede generar severos efectos negativos sobre la salud humana, tales como las enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer, entre otras, además de su costo elevado. Por otro lado, existen diversos estudios que han demostrado la eficiencia del uso del almidón de distintas especies como la yuca, plátano, papa, semillas y granos, en el proceso de coagulación para la remoción de turbiedad del agua para consumo humano. En este sentido el objetivo principal del presente estudio fue determinar la eficiencia del almidón de tres variedades de maíz en la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica, las variedades de maíz trabajadas son (amiláceo-cusqueado, amiláceo-astilla y amiláceo-carhuay). El muestreo se hizo siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. En total se realizaron 12 pruebas, con 1,5 l c/u, con tres repeticiones, adicionalmente pruebas testigo para la comparación de valores. La obtención del almidón de maíz se realizó de acuerdo al método propuesto por Maza-Martínez et al. (2021). La evaluación de la eficiencia del almidón se realizó mediante el Test de jarras, siguiendo el procedimiento establecido en la literatura. Como resultados se obtuvieron 76.94%, 86.33%, 74.21%, 60.98% de porcentaje de eficiencia de remoción para el almidón de maíz de la variedad amiláceo-cusqueado en combinación con el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , demostrando que es la variedad con mayor porcentaje obtenido y el mayor valor de tendencia de disminución de grado de turbidez, siendo la dosis de 40 ml el mejor valor representativo con un promedio de turbiedad final de 1.35 NTU, asimismo la variedad amiláceo-astilla obtuvo 59.87%, 66.94%, 62.56%, 52.53% y la variedad carhuay obtuvo 65.49%, 76.13%, 64.44%, 51.72% de porcentaje de eficiencia demostrando que estas variedades también son eficientes en la remoción de turbidez y los valores obtenidos de turbidez final están por debajo de los límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica de agua para consumo humano que exige la normatividad peruana. Por lo tanto, el presente estudio concluye que las tres variedades de maíz son eficientes para la remoción de la turbidez durante el proceso de coagulación del agua en el sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica.

**Palabras clave:** *Turbidez, almidón, coagulación, sulfato de aluminio.*

## ABSTRAC

Aluminum sulfate  $Al_2(SO_4)_3$  is the chemical commonly used in the process of removing turbidity in the treatment of water intended for human consumption. However, according to studies, this chemical can cause severe negative effects on human health, such as neurodegenerative diseases such as Alzheimer's, among others, in addition to its high cost. On the other hand, there are various studies that have demonstrated the efficiency of using starch from different species such as cassava, banana, potato, seeds and grains, in the coagulation process for removing turbidity from water for human consumption. In this sense, the main objective of this study was to determine the efficiency of starch from three varieties of corn in removing turbidity in the water treatment process for human consumption in the drinking water system of Pampas, Tayacaja, Huancavelica, the varieties of corn worked are (starchy-cusqueado, starchy-splinter and starchy-carhuay). Sampling was carried out following the National Protocol for Monitoring the Quality of Surface Water Resources. A total of 12 tests were carried out, with 1.5 l each, with three repetitions, additionally control tests for the comparison of values. Corn starch was obtained according to the method proposed by Maza-Martínez et al. (2021). The evaluation of starch efficiency was carried out using the Jar Test, following the procedure established in the literature. As results, 76.94%, 86.33%, 74.21%, 60.98% of removal efficiency percentage were obtained for the corn starch of the starchy-cusqueado variety in combination with aluminum sulfate  $Al_2(SO_4)_3$ , demonstrating that it is the variety with the highest percentage obtained and the highest value of tendency to decrease the degree of turbidity, being the dose of 40 ml the best representative value with an average final turbidity of 1.35 NTU, also the starchy-splinter variety obtained 59.87%, 66.94%, 62.56%, 52.53% and the carhuay variety obtained 65.49%, 76.13%, 64.44%, 51.72% of efficiency percentage demonstrating that these varieties are also efficient in the removal of turbidity and the values obtained of final turbidity are below the maximum permissible limits of organoleptic quality parameters of water for human consumption required by Peruvian regulations. Therefore, the present study concludes that the three varieties of corn are efficient for removing turbidity during the water coagulation process in the drinking water system of Pampas, Tayacaja, Huancavelica.

**Keywords:** *Turbidity, starch, coagulation, aluminum sulfate.*

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de agua para consumo humano, en su mayoría, captan agua superficial para satisfacer las necesidades básicas del recurso para una población específica, proporcionando el valor de uso por el ser humano de este recurso; no obstante, el recurso hídrico que se capta no puede ser aprovechada de manera directa para uso humano (Sánchez, et al., 2021). Para utilizar el agua de manera segura en forma directa para el consumo humano, requiere unos valores mínimos de calidad, para lo cual se establecen límites máximos permisibles, además de otros parámetros de microorganismos biológicos, de parásitos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos establecidos en la normatividad peruana (Gonzales, et al., 2023).

Actualmente existe fuentes de agua que no cumplen con los parámetros dispuestos por la normatividad en países en desarrollo, tales como el Perú, lo que conlleva a que las poblaciones se vean en la obligación de consumir agua de mala calidad (Shah et al., 2023), acarreando importantes daños sobre la salud y requiriendo el uso de tratamientos de vanguardia para su descontaminación (Narcis, 2019). La turbiedad del agua es uno de los factores más importantes a considerar al evaluar la calidad del agua, entendida como una medida óptica que indica la presencia de materiales coloidales, orgánicos o minerales en el agua y sirve como señal de agua contaminada (Martínez, et al., 2020). Para la remoción de la turbiedad se realiza una desestabilización de las partículas suspendidas y coloidales eléctricas, el cual se le conoce como coagulación (Martínez et al., 2020). Este proceso de coagulación se puede lograr agregando una sal trivalente y mezclando rápidamente, siendo el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  el compuesto más común y ampliamente utilizado para este propósito (Narcis, 2019).

El sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  es la sustancia química más usada en el proceso de coagulación, debido a la eficiencia en el proceso de coagulación; sin embargo, tiene desventajas, entre ellas su alto costo, la producción de desechos como lodos y la alteración del pH del agua tratada (Karnena & Saritha, 2022). Adicionalmente, los resultados obtenidos en algunos trabajos realizados en los últimos años, también le atribuyen al sulfato de aluminio la capacidad de originar enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer en las personas, debido al aluminio residual que se presenta al consumir el agua tratada (Martínez et al., 2020). Por lo tanto, la Organización Mundial de la Salud sugiere minimizar

las concentraciones de esta sal ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) entre 0,1 y 0,2 mg/l para tratar las aguas potables, ya sea en instalaciones grandes o pequeñas según sea necesario (Rahman et al., 2023).

En la actualidad se proponen diversos estudios que sean viables en la utilización de coagulantes naturales para complementar y reducir el uso de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (Ortega, et al., 2021), los cuales pueden ser productos vegetales extraídos de diferentes partes de las plantas, tales como las semillas, frutos, hojas, ramas, corteza (Sierra et al., 2019). Un ejemplo de esto lo reflejan los estudios realizados por Padilla, et al., (2020) y Azabache, et al., (2022), los cuales utilizaron el almidón de la yuca para evaluar el poder de coagulación de las preparaciones de sulfato de aluminio y el almidón natural logrando obtener un porcentaje alto en la remoción de turbidez.

Por su parte Tejada et al., (2020) y Sierra, et al., (2019) realizaron la evaluación de concentraciones de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  con almidón extraído de plátano concluyendo la recomendación del uso de este coagulante natural utilizado para tratar agua para consumo humano al tener un mejor desempeño que el coagulante químico. Del mismo modo se han realizado estudios de evaluación de eficacia del almidón por Mery et al., (2020) donde se determinó que, a una dosis óptima y el efecto de las variedades de papa, demostrando que el sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  funciona bien con el coagulante natural de papa. Asimismo, existen estudios donde se han utilizado los residuos o cascara de papa, dándole un valor agregado a este recurso para el tratamiento de la turbiedad del agua utilizada para el consumo humano (Camacho, et al., 2020).

Por otra parte, existen estudios que han reportado el uso de coagulantes provenientes de semillas de vegetales como el frijol común, logrando evaluar las dosis óptimas requeridas para la eliminación de turbidez en aguas residuales domésticas (Rivera, et al., 2022). En este sentido, la investigación actual tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia del almidón obtenido de tres variedades diferentes de maíz amiláceo (cusqueado, astilla y carhuay) como coagulante natural en la remoción de turbiedad para la reducción de concentraciones del sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , en el tratamiento del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica.

## 1.2 Planteamiento del problema

La composición del agua para consumo humano es un tema muy importante y que requiere especial atención, no sólo por ser un recurso necesario y valioso, sino por el hecho de estar directamente vinculado a la salud humana, al requerir valores permisibles de calidad para evitar que se pueda causar alguna afectación. El sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja requiere ser tratada para eliminar la turbidez, para mejorar su calidad y hacerla apta para el consumo humano. En este sistema de agua se utiliza el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  tipo B para el proceso de coagulación, debido a la eficiencia en el proceso de coagulación; sin embargo, como se expuso previamente, además del alto costo que representa el uso de esta sustancia química, la producción de desechos como lodos y la alteración del pH del agua tratada, también se considera que esta sustancia es capaz de originar enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer en las personas, debido al aluminio residual que se presenta al consumir el agua tratada con esta sustancia química (Martínez et al., 2020 & Russ et al, 2020; Kamena & Saritha, 2022). Debido a esto, desde hace algún tiempo se investigan tecnologías que permitan obtener productos de los mismos recursos naturales para el tratamiento del agua, ya que actualmente se utiliza agentes químicos que tienen algunos efectos adversos si no son bien administrados. Por ello se propone el uso de coagulantes naturales como base para tratar la turbidez del agua, a partir de investigar el potencial coagulante de plantas y vegetales.

En el caso de Pampas, Tayacaja, Huancavelica es necesario investigar la capacidad coagulante del almidón de maíz de tres variedades, para lo cual se seleccionaron tres variedades de maíz amiláceo: (cusqueado, astilla y carhuay) para eliminar la turbidez en el tratamiento del agua del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica, considerando que el maíz es un producto natural con mayor densidad, representatividad y de fácil acceso generalmente en estas tres variedades que está disponible en todo el Perú y especialmente dentro de nuestra región y provincia.

## **1.3 Formulación del problema**

### **1.3.1 Problema general**

¿Será posible utilizar de manera eficiente el almidón de tres variedades de maíz (*Zea mays L. Ssp amiláceo. Zea mays amylosaccharata*) como coagulante natural en la remoción de turbidez del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica?

### **1.3.2 Problemas específicos**

¿Cuál será la dosis óptima de almidón de las tres variedades de maíz (*Zea mays L. Ssp amiláceo. Zea mays amylosaccharata*) como coagulante natural en la remoción de turbidez del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica?

¿Cuál de las tres variedades de maíz amiláceo utilizada resulta más eficiente como coagulante natural en la remoción de turbidez del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica?

¿De qué manera se prepara el coagulante natural de almidón, elaborado a partir de tres variedades de maíz?

## **1.4 Justificación e importancia**

De acuerdo a la normatividad peruana vigente para garantizar la calidad del agua y su idoneidad para el consumo humano, se establecen límites máximos permisibles para los parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y radiactivos (Gonzales, et al., 2023).

La turbidez o turbiedad es uno de los principales indicadores de calidad del agua y es un buen indicador de la presencia de materiales coloidales, minerales u orgánicos que pueden indicar contaminación. Como resultado, el tratamiento de la turbidez del agua es fundamental para la salud humana (Martínez, et al., 2020).

El sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  se utiliza como coagulante para limpiar el agua y eliminar la turbidez, pero debido a los riesgos para la salud que conlleva su almacenamiento a largo plazo en el cuerpo humano, su uso ha sido objeto de un serio debate en diversas partes del

mundo (Martínez, et al., 2020). Por ello, se están haciendo esfuerzos para reducir su uso, se piensa combinar este aporte con un coagulante natural como el almidón extraído del maíz. Esto se debe a que, como se mencionó en las líneas anteriores, los estudios han demostrado que el uso de almidones naturales en combinación con concentraciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  da como resultado una eficacia significativamente mayor en la eliminación de la turbidez que cuando se usa solo sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  como un agente coagulante (Ortega, et al., 2021).

La investigación actual es importante porque de acuerdo a los resultados emitidos por la Red de Salud Tayacaja - Salud Ambiental (2023), entidad que realiza la vigilancia y control de la calidad de agua para consumo humano, reportan que el sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica No cumple con los Límites máximos permisibles para parámetros de Turbiedad ( $\leq 5$  UNT DS N° 031-2010SA) de acuerdo al informe N° 035 – 2023/GOB.REG-HVCA/DIRESA/RST/USA-FED - Resultados de monitoreo de parámetros de campo convenio Fed periodo enero 2023.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Determinar la eficiencia del almidón de tres variedades de maíz como coagulante natural en la remoción de turbidez del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

Establecer la concentración y la dosis óptima en el proceso de coagulación del almidón de tres variedades de maíz y el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  en la remoción de turbidez del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica.

Determinar cuál de las tres variedades resulta más eficiente en la remoción de la turbidez del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica, Perú.

Obtener el coagulante natural de almidón, elaborado a partir de tres variedades de maíz.



## **1.6 Formulación de hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis general**

El coagulante natural de almidón de tres variedades de maíz (*Zea mays L. Ssp amiláceo. Zea mays amylosaccharata*) es eficiente y remueve la turbidez del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica.

### **1.6.2 Hipótesis específicas**

La utilización de dosis óptimas de almidón de tres variedades de maíz remueve la turbidez presente en las muestras de agua recolectada del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica.

A partir de la preparación de almidón de tres variedades de se puede obtener coagulante natural.

### **1.6.3 Hipótesis nula**

El coagulante natural de almidón de tres variedades de maíz (*Zea mays L. Ssp amiláceo. Zea mays amylosaccharata*) no es eficiente y no remueve la turbidez del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Si bien es cierto que el Sulfato de Aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) es la sustancia utilizada normalmente para el tratamiento de las aguas potables en el mundo, también es cierto que dados los comprobados efectos adversos que produce esta sustancia química cuando se acumula en el organismo, se han hecho muchos esfuerzos para disminuir las cantidades utilizadas en el proceso de potabilización, mezclándolo con diferentes tipos de almidones. De esta manera, Padilla, et al., (2020) realizaron un estudio para evaluar la capacidad de coagulación de una mezcla de Almidón de yuca y sal química de aluminio en el proceso de tratamiento de una fuente de agua de Ciénaga Grande, en el Departamento del Atlántico-Colombia. Se realizó una demostración sencilla del agua para registrar las primeras características, posteriormente se utilizó la prueba de jarra para simular el proceso de clarificación, demostrando cómo el uso de un coagulante químico y un coagulante natural a partir del almidón de yuca reducían la turbidez, concluyendo que existe un mayor porcentaje de eliminación de turbidez si se realiza una mezcla de almidón de yuca y sulfato de aluminio. De la misma manera, Azabache, et al., (2022) también utilizaron el almidón de yuca para reducir la turbidez y el color en la quebrada de Juninguillo en Moyobamba, Perú, logrando determinar que el almidón de yuca tiene potencial clarificante al remover el color del agua tratada, además de remover niveles de turbidez.

Tejada et al., (2020) realizó la evaluación de eliminar la turbiedad y el color en una muestra de agua sintética utilizando almidón de plátano como coagulante natural mediante pruebas de jarra, logrando concluir que se recomienda el uso del almidón de plátano como un coagulante natural para agua para consumo humano por presentar un mejor desempeño sobre el sulfato de aluminio. Otro estudio utilizando el almidón extraído de plátano a partir de su medula es el de Sierra, et al., (2019), quien analizó la eficiencia del mismo para la clarificación de las aguas naturales del río Magdalena en Colombia, comparándolas con el tratamiento convencional con sulfato de aluminio; este estudio determinó que la médula de plátano, un desecho agrícola, es una opción apropiada y sostenible para eliminar parcialmente la turbidez del agua del río Magdalena en Colombia.

Adicionalmente, Mery et al., (2020) plantea la utilización de alternativas diferentes para el proceso de floculación y coagulación que permita eliminar partículas suspendidas en el agua que generen la turbidez de la misma; para ello evaluaron la eficacia del almidón de tres variedades de papa como auxiliares de coagulación del sulfato de aluminio, y encontraron que todas las variedades son buenas para este proceso, pero la variedad de imilla negra mostró las propiedades de remoción de turbidez más efectivas. Asimismo, Camacho, et al., (2020) realizaron un estudio comparativo sobre el uso de cascarras o residuos de papa comparado con el sulfato de aluminio para el proceso de clarificación de un humedal natural localizado en El Río Malambo en Colombia, donde determinaron que la aplicación de ambas dosis influye en la turbidez del agua, generando una alternativa de solución a este problema con el uso de estos residuos.

El uso de semillas vegetales como coagulantes naturales también fue objeto de estudio, como sucedió con Rivera et al., (2022), que evaluaron el rendimiento de las semillas de frijol común con el objetivo de eliminar la turbiedad presentada en aguas residuales de origen doméstico en el Departamento de San Martín, Perú, utilizando un diseño experimental y aplicando pruebas de jarras, donde los resultados mostraron una correlación positiva de remoción de turbidez, por lo cual recomiendan el uso del coagulante natural de semillas de frijol, porque es una opción económica para reducir la turbidez del agua en las aguas residuales domésticas.

## **2.2 Bases teóricas y conceptuales**

### **2.2.1 Maíz:**

Millones de personas, especialmente en América, África y gran parte de Asia, dependen del maíz como una de las fuentes de alimento principales del mundo. (MADR, 2021).

### **2.2.2 Definición y origen del maíz:**

Planta perteneciente a la familia de las gramíneas (Poaceae), con altura que oscila entre uno y más de tres metros según la variedad o ecotipo, hojas largas, planas y puntiagudas, y flores masculinas en racimos terminales y flores femeninas en espigas axilares protegidas por una vaina. Es una planta nativa de México y Centro América, perteneciente a la tribu Maydae de la familia Poaceae. Posee más de 32 mil genes en 10 cromosomas, con un genoma de tamaño igual a 2.3 gigabase (Narro León & Piña Díaz, 2021).

### **2.2.3 El almidón de maíz:**

El componente principal del maíz es el almidón, que representa alrededor del 80 % del peso del grano y las características físicas y funcionales están estrechamente relacionadas con su estructura. Los dos tipos de moléculas de glucosa que forman el almidón son la amilosa y la amilopectina. Para crear la organización estructural granular, estas moléculas se organizan en cilindros concéntricos. La distribución de la amilosa dentro de los anillos concéntricos varía entre el centro y la periferia del grano porque solo ocupa el espacio que deja la amilopectina después de su sintetización (Fuentes, et al., 2022).

### **2.2.4 Calidad de agua:**

El término "calidad del agua" se refiere a la composición del agua, ya que se ve afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y humanos. Por lo tanto, es un término relativo que no puede clasificarse como bueno o malo sin considerar el uso al que se destina el agua, como fines agrícolas, agropecuarios, de consumo humano e industriales. La hidrología, la física y la biología de la fuente de agua que se analiza determinan la calidad del agua. Las características hidrológicas son significativas porque revelan información sobre el origen, cantidad y duración del agua, entre otras cosas. Estas condiciones son importantes ya que dependen de los tipos de sustratos. Los parámetros más utilizados para determinar la calidad del agua son los siguientes: pH, sólidos en suspensión, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo, nitratos, nitritos, amonio, amoniac, compuestos fenólicos, hidrocarburos derivados del petróleo, cloro residual, zinc total y cobre soluble (Narcis, 2019).

El Decreto Supremo N° 031-2010-SA es quien rige la normatividad vigente sobre los parámetros de calidad del agua destinada para el consumo humano, indicando en su Art. 3 que el agua para consumo humano es el agua que se considera apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal (MINSA, 2011).

### **2.2.5 Turbidez del agua**

El término "turbidez" se refiere a la presencia de partículas en forma de coloides, que tienen una dimensión de diámetro de aproximadamente entre 1 y 100 nm, que hacen que el agua parezca nebulosa u opaca. Estas partículas se clasifican como "sólidos suspendidos" e incluyen partes hechas de arcillas, sílice, feldspatos y otros materiales inorgánicos, así como restos de materiales orgánicos. Los sólidos suspendidos se pueden separar mediante varios métodos mecánicos, incluida la sedimentación y la filtración. (Martínez, et al., 2020)

### **2.2.6 Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$**

$Al_2(SO_4)_3$  es la fórmula de la sal de aluminio inorgánica conocida como sulfato de aluminio, que a menudo aparece como una sustancia cristalina blanca sólida. La cantidad de ceniza y otras impurezas en el compuesto afectarán su color. Hay dos tipos principales de sulfato de aluminio: tipo A y tipo B, el tipo A se usa como coagulante removedor de turbidez y color en el tratamiento de agua potable, piscinas y fabricación de detergentes por contener ácido sulfúrico y una concentración rica en aluminio, mientras que el tipo B se produce mediante la reacción del ácido sulfúrico con una concentración rica en aluminio como la bauxita el cual coagula eliminando agentes contaminantes como la turbidez y el color de las aguas para consumo humano y residuales (Pastrana-Pacho et al., 2023).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo de investigación

Investigación de tipo aplicada.

#### 3.2 Nivel de investigación

Nivel experimental y explicativo, debido a que se utiliza un modelo estadístico donde se manipula la variable independiente para determinar los efectos sobre las variables dependientes, lo cual se observa en los resultados obtenidos, utilizando experimentos y principios del método científico.

#### 3.3 Método de investigación

Método cualitativo y cuantitativo, confiando en la objetividad y los números mientras se utiliza la estadística y las matemáticas para procesar los datos y proporcionar resultados.

#### 3.4 Diseño de investigación

Se utilizó la estadística inferencial conocido como Análisis de Varianza (ANOVA). El diseño de la presente investigación es un diseño completamente aleatorizado, con un arreglo factorial de los tratamientos con dos factores, cada uno con cuatro niveles (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Combinación de los factores a y b para determinar los tratamientos.*

		<b>Factor “b”</b>			
		Almidón de maíz (mg)			
		<b>b0</b>	<b>b1</b>	<b>b2</b>	<b>b3</b>
			(cuzqueado)	(astilla)	(carhuay)
<b>Factor “a”</b> Sulfato de aluminio Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (mg)	<b>N1</b>	a1b0	a1b1	a1b2	a1b3
	<b>N2</b>	a2b0	a2b1	a2b2	a2b3
	<b>N3</b>	a3b0	a3b1	a3b2	a3b3
	<b>N4</b>	a4b0	a4b1	a4b2	a4b3

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

El modelo matemático utilizado es como sigue:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + N_j + GN_{ij} + \varepsilon_{ij},$$

Donde  $Y_{ij}$  representa a la observación  $ij$  obtenida con el  $i$ -ésimo nivel del factor variedades (genotipos) utilizados y en el  $j$ -ésimo nivel del factor Sulfato de aluminio utilizado;  $G_i$  es el efecto fijo del primer factor, representando a la  $i$ -ésima variedad de maíz amiláceo, con  $i$  variando de 1 a 4;  $N_j$  es el efecto fijo del  $j$ -ésimo nivel de aluminio utilizado, con  $j$  variando de 1 a 4;  $GN_{ij}$  representa al efecto de interacción entre la  $i$ -ésima variedad de maíz amiláceo con el  $j$ -ésimo nivel de aluminio, y  $\varepsilon_{ij}$  es el error experimental asociado a la  $Y_{ij}$  observación.

En la derivación de los cuadrados medios esperados y para la realización de los análisis, todos los factores fueron considerados de efectos fijos. Previo a la realización de los análisis de varianza (ANOVAS), se realizó la comprobación de los supuestos básicos para el análisis, conforme a Steel y Torrie (1988).

En la tabla 2 se presenta el esquema del ANOVA según el modelo matemático propuesto.

**Tabla 2**

*Esquema de ANOVA según el modelo matemático propuesto.*

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F
Genotipos (G)	G-1	SC1	CM1/GL G	CM1/CME
Aluminio (Al)	AL-1	SC2	CM2/GL AL	CM2/CME
G*Al	G-1*Al-1	SC3	CM3/GL G*AL	CM3/CME
Error	32	SCE		
Total	((G*Al)*R)-1			

**Nota.** Fuente: Elaboración propia. GL = grados de libertad

### **3.5 Población, muestra y muestreo**

#### **3.5.1 Población**

Recurso hídrico del sistema de agua del río Viñas del sistema de agua Pampas, Tayacaja, Huancavelica.

#### **3.5.2 Muestra**

Para esta investigación la selección de la muestra consistió en un volumen total de 50 litros de agua cruda tomada en el punto de captación del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica, el cual se distribuyó en 12 pruebas de 1 litro y adicionalmente 4 pruebas de 1 litro como testigo, cada uno con tres repeticiones.

#### **3.5.3 Muestreo**

Para el muestreo se recolectó una muestra simple en concordancia a la metodología de recolección de muestra referido en la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, que es el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, así mismo de acuerdo al Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, DS N° 031-2010-SA.

### **3.6 Ubicación**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en dos fases: la primera fase estuvo determinada por la recolección de datos en campo y la segunda, por las pruebas experimentales en laboratorio.

La fase de recolección de datos en campo se realizó con la recolección de la muestra de agua cruda realizado en la captación del sistema de agua de Pampas, Tayacaja, Huancavelica, ubicado en la parte del curso bajo dentro de la cuenca baja del río Viñas del Centro poblado de Viñas, cuyas coordenadas UTM son: Latitud 9187790 y Longitud 75036629, provincia de Tayacaja, región de Huancavelica (Ver anexo 01).

La fase de pruebas experimentales en laboratorio se desarrolló en el laboratorio de análisis de agua de la Municipalidad Provincial de Tayacaja donde se experimentó con el test de jarras.



Finalmente, el laboratorio Hidrolab S.A.C. fue responsable de realizar el análisis de las muestras de agua potable para parámetros de pH y Turbiedad del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica (Ver anexo 02).

### **3.7 Procedimiento de obtención de almidón de tres variedades de maíz**

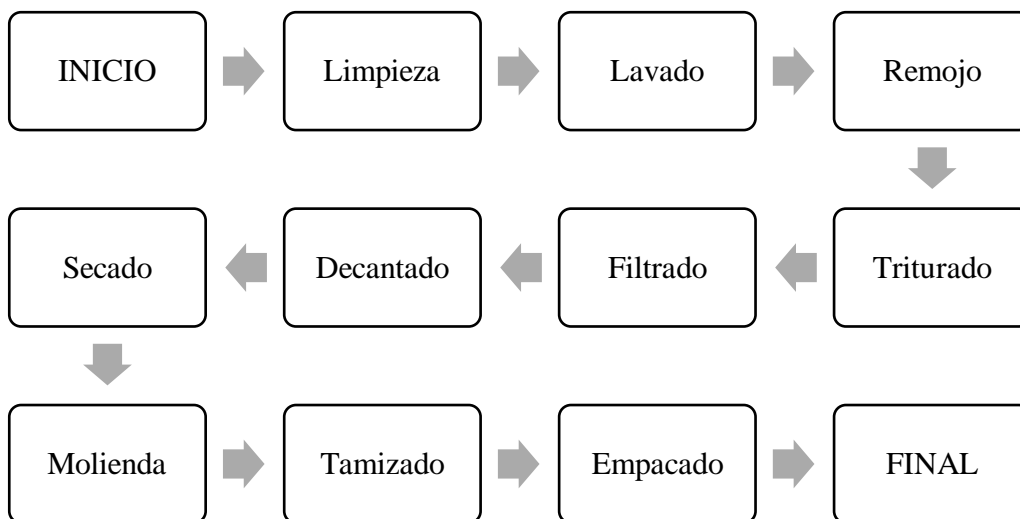
Para la obtención del almidón de maíz se seleccionó tres variedades: amiláceo-cusqueado, amiláceo-astilla y amiláceo-carhuay), luego se realizó la obtención de acuerdo al método usado por Maza-Martínez et al., 2021 con la secuencia descrita a continuación y conforme se muestra en el flujograma de proceso presentado en la Figura 1 :

- El procedimiento inicia con 5 kilogramos de maíz para sus tres variedades cada una por separado, a las cuales se les retiró todas las impurezas de la materia prima como el afrecho y restos de cosecha que los granos pudiesen poseer.
- Se realizó un lavado profundo, con abundante agua, para eliminar impurezas, la tierra y otras sustancias que no se pueden identificar a simple vista.
- Posterior a ello la materia prima pasó a un proceso de remojo en agua durante 24 horas, utilizando 3 litros de agua por cada kg de materia prima, para que el grano sea suave y el endospermo este blando y de esta forma se facilita el posterior proceso de molienda.
- Una vez pasado el proceso de remojo se realizó el triturado de la materia prima mediante el uso de molino. En la presente investigación se utilizó una licuadora, donde se empleó 200 g de materia prima con 500 ml de agua con dos velocidades baja y alta y dos tiempos de procesamiento de entre 45 y 60 s.
- Posteriormente se realizó el filtrado de la masa acuosa de almidón, mediante el uso de un cernidor de tela, tomando como referencia el proceso de filtrado artesanal de cuajo del queso, evitando así el paso del afrecho triturado, obteniendo como producto resultante solo agua y almidón.
- El resultado del anterior proceso se dejó reposando durante 24 horas, que es el tiempo necesario para que el almidón se sedimente. logrando una separación entre el agua y el almidón, proceso que se le conoce como decantado o decantación.

- La materia ya separada del agua se extendió sobre una superficie plana, en este caso se usó una bandeja de aluminio y se procedió a secar de forma natural por un espacio de 48 horas, por tener un ambiente frío y seco en la región de la sierra.
- La materia prima obtenida anteriormente ya seca se le pasó a realizar una molienda, ya que al secarse este presenta una estructura compacta, siendo necesario reducir su tamaño a fin de evitar grumos o bolas.
- Finalmente, ya el almidón molido pasó por un proceso importante de tamizado mediante un tamiz fino N°100, pues es fundamental obtener el menor tamaño de granulo de almidón del maíz porque de ello depende su calidad para el proceso de coagulación.
- Nuestro almidón de maíz se almacenó en bolsas Ziploc, con la finalidad de mantenerlos sellados herméticamente hasta su uso correspondiente.

**Figura 1**

*Esquema Proceso de obtención de almidón de maíz de tres variedades.*



**Nota. Fuente:** Maza-Martínez et al., 2021.

### 3.8 Proceso de preparación de soluciones para los tratamientos

Para evaluar la eficiencia del almidón de tres variedades de maíz en la remoción de turbidez mediante el proceso de coagulación, se llevó a cabo la combinación entre una sal metálica sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y los polímeros orgánicos de almidón de maíz obtenidos de las variedades de maíz amiláceo cusqueado, astilla y carhuay.

Se realizaron preparaciones a una concentración al 2 % p/v para la obtención de las soluciones de la siguiente manera:

- Para obtener la primera solución se pesó en una balanza analítica 2 g de almidón de maíz variedad amiláceo-cusqueado como soluto, el cual fue diluido en 100 ml de agua como solvente, seguido de un proceso de agitación mecánica durante 20 minutos aproximadamente, mediante un agitador hasta obtener una solución homogénea, todo ello empleando un vaso de precipitación de 250 ml.
- Para obtener la segunda solución se pesó en una balanza analítica 2 g de almidón de maíz variedad amiláceo-astilla como soluto y fue diluido en 100 ml de agua como solvente, seguido mediante un agitador se agitó la solución durante 20 minutos aproximadamente hasta obtener una solución homogénea, todo ello empleando un vaso de precipitación de 250 ml.
- Para obtener la tercera solución se pesó en una balanza analítica 2 g de almidón de maíz variedad amiláceo-carhuay como soluto y fue diluido en 100 ml de agua como solvente, seguido mediante un agitador se agitó la solución durante 20 minutos aproximadamente hasta obtener una solución homogénea, todo ello empleando un vaso de precipitación de 250 ml.
- Finalmente, para obtener la última solución se pesó en una balanza analítica 2 g del coagulante sintético o químico, para este caso se utilizó el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  como soluto y fue diluido en 100 ml de agua como solvente, seguido mediante un agitador se agitó la solución durante 20 minutos aproximadamente hasta obtener una solución homogénea, todo ello empleando un vaso de precipitación de 250 ml.

### 3.9 Dosis para la combinación de los tratamientos

Para iniciar los tratamientos en la etapa de experimentación en laboratorio se determinó las dosis a usar en las combinaciones para la remoción de turbidez, esto usando las soluciones de almidón de las tres variedades de maíz, asimismo se incluye la solución de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . A continuación, se muestran las dosificaciones a utilizar (Tabla 3).

**Tabla 2**

*Dosificación de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  – almidón de maíz.*

Factor “a” $Al_2(SO_4)_3$ (ml)	Factor “b”		
	A. Maíz amiláceo cusqueado (ml)	A. Maíz amiláceo astilla (ml)	A. Maíz amiláceo carhuay (ml)
50	20	20	20
40	40	40	40
30	60	60	60
20	80	80	80

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

### 3.10 Procedimiento de test de jarras

Previo a la evaluación de remoción de la turbidez en laboratorio se caracterizó el agua potable del sistema de agua de Pampas, Tayacaja, Huancavelica, el cual fue recolectada como muestra para su análisis respectivo en los parámetros de pH y turbidez por el laboratorio Hidrolab S.A.C. de la ciudad de Lima.

La evaluación de la eficiencia del almidón de maíz de tres variedades como coagulante natural en la remoción de turbidez del sistema de agua de Pampas, Tayacaja, Huancavelica se realizó mediante el Test de jarras (prueba de jarras) siguiendo el procedimiento (Ingeniería, 2020):

- Se realizó la verificación del equipo de jarras en correcto funcionamiento y con óptimas condiciones para la ejecución de las pruebas de tratamiento de remoción de turbidez.

- Seguidamente se colocó cuatro jarras de 1000 ml con la muestra de agua recolectada de la captación del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica.
- Para iniciar en la primera prueba de tratamiento de remoción o eliminación de turbidez se incorporó la solución de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  con las concentraciones determinadas (50, 40, 30 y 20) ml, ello para cada una de las jarras del equipo, luego se programó el equipo con la velocidad de giro o mezcla rápida de (200) rpm por un tiempo de (1) minuto. Seguidamente al ya haber sido añadido el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  se incorporó la dosificación de almidón de maíz variedad amiláceo-cusqueado con las concentraciones determinadas (20, 40, 60 y 80) ml, ello para cada una de las jarras del equipo esto programado con una velocidad de giro o mezcla lenta de (25) rpm por un espacio de (15) minutos. Finalmente se procedió a dejar sedimentarse cada una de las jarras por un tiempo de 15 minutos.
- Luego de haber transcurrido la sedimentación de las jarras, el agua ya tratada y sedimentada se dispone en vasos de precipitación con la finalidad de determinar la caracterización del parámetro de turbidez final mediante un equipo turbidímetro.
- El procedimiento detallado líneas arriba se aplica para las demás pruebas de tratamiento con la adición de los coagulantes de almidón de maíz variedad amiláceo-astilla y amiláceo-carhuay, asimismo con la misma dosificación del sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , esto mismo con 3 repeticiones por prueba. El total de pruebas analizadas corresponde a 36 muestras con diferentes dosis para cada tratamiento utilizando el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y el almidón de maíz de la variedad cusqueado, astilla y carhuay.
- Adicionalmente se realizó el procedimiento de pruebas de testigo, con la adición solo de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  con concentraciones de (20, 40, 60 y 80) ml, en cuatro jarras de 1 litro de muestra de agua, con una programación de 200 rpm por (1) minuto y luego dejándose sedimentar por un tiempo de 15 min y finalmente determinar la caracterización del parámetro de turbidez final mediante un equipo turbidímetro.

### 3.11 Procedimiento de obtención del porcentaje de Eficiencia de Remoción

Una vez ya obtenidos los resultados con valores distintos de acuerdo a las mediciones de turbidez final en las pruebas de tratamiento de turbidez, se obtiene la Eficiencia de Remoción de turbidez expresado en porcentaje utilizando la fórmula matemática de remoción de cargas (ecuación 1) aplicado por (Humanante Cabrera et al., 2022) e investigaciones referenciadas en este trabajo de investigación, el cual es:

$$\text{Eficiencia de Remoción \%} = \left[ \frac{(\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final})}{\text{Turbidez inicial}} \right] * 100 \dots (1)$$

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Resultados del proceso de obtención de almidón de tres variedades de maíz amiláceo (cusqueado, astilla y carhuay)

En la Tabla 4 se muestra las cantidades obtenidas de almidón de maíz por cada variedad desde su compra como semilla hasta su rendimiento como almidón ya procesado. Se puede observar que la variedad cusqueado fue la que presentó la mayor eficiencia en producción de almidón, con 39 %, seguida de la variedad carhuay, mientras que la variedad astilla resultó la menos eficiente en el proceso de producción de almidón.

**Tabla 3**

*Resultados – Proceso obtención de almidón a partir de variedades de maíz amiláceo.*

<b>Tipo de variedad</b>	<b>kg inicial</b>	<b>kg final</b>	<b>Eficiencia de conversión (%)</b>
Variedad cusqueado	5	1.950	39.00
Variedad astilla	5	1.040	20.80
Variedad carhuay	5	1.420	28.40

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

### 4.2 Resultados del análisis de parámetros de pH y turbidez de agua para consumo humano

En la Tabla 5 se muestra los resultados obtenidos en el análisis de parámetros de pH y turbidez de la muestra de agua para consumo humano de la captación del sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica reportada por el laboratorio Hidrolab S.A.C. Se puede observar un nivel de pH ligeramente alcalino y un valor de turbidez por encima del valor máximo permitido.

**Tabla 4**

*Resultados de análisis de agua potable para parámetros pH y Turbidez*

<b>Muestra</b>	<b>pH</b> (unidades de pH)	<b>Turbidez</b> (NTU)
N.º Muestra: 33588-1/2024.0 – Id: 885669	7.64	9.9

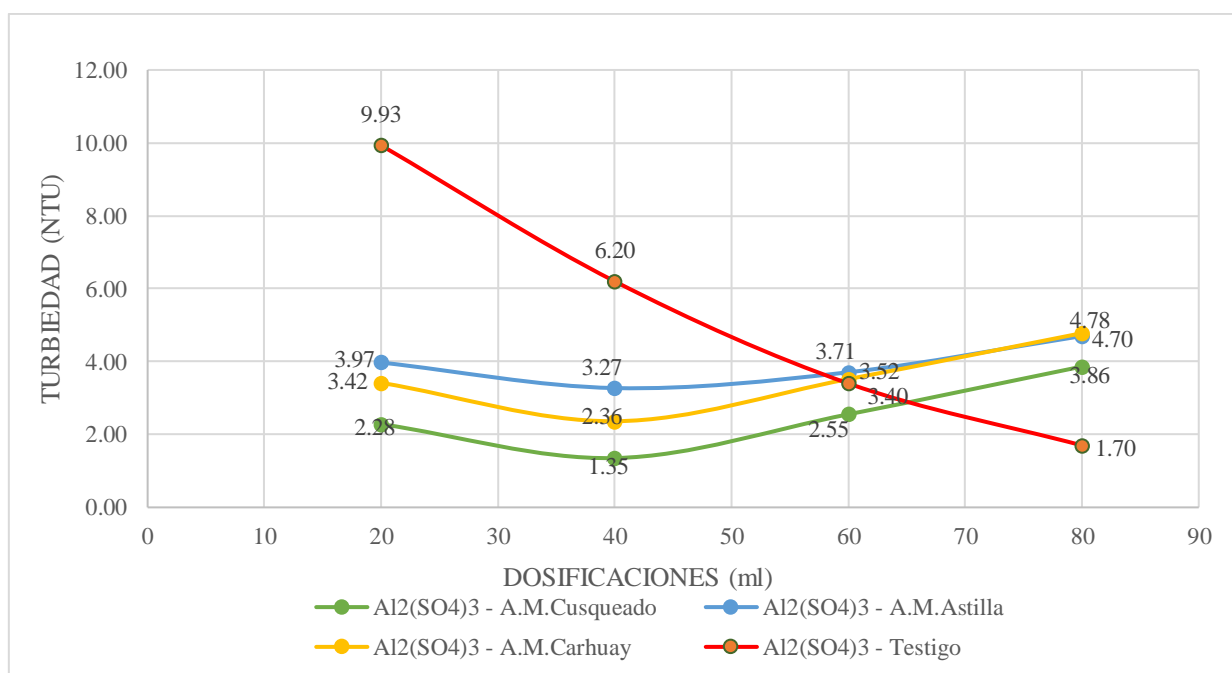
**Nota.** Fuente: Laboratorio Hidrolab S.A.C – Ver anexo 02.

### 4.3 Comparación de resultados obtenidos de turbidez final

En la figura 2 se puede apreciar la influencia así como el grado de turbidez obtenida mediante las dosificaciones de las tres variedades de almidón de maíz, se puede apreciar que en la combinación del almidón de maíz variedad amiláceo-cusqueado con el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  se obtiene un mayor valor de tendencia a disminuir el grado de turbiedad, siendo el valor más representativo la dosis de 40 ml con un promedio de turbiedad final de 1.35 NTU, de la misma manera con la misma dosificación se obtuvo rangos de turbidez bajos para el resto de combinaciones de esta variedad.

**Figura 2**

*Comparación de dosificaciones del almidón de maíz amiláceo sus tres variedades.*





#### 4.4 Estimación del porcentaje de remoción

Para la estimación del porcentaje de Eficiencia de Remoción de turbidez se emplea un cálculo mediante la fórmula matemática (ecuación 1), el cual ha sido descrito líneas arriba en el apartado 3-3.11.

Para ello los valores a considerar son:

Turbidez inicial: el resultado del análisis de muestra puntual de agua potable para parámetros de pH y turbidez del sistema de agua potable Pampas, Tayacaja, Huancavelica – laboratorio Hidrolab S.A.C (turbidez = 9,9 NTU).

Turbidez final: los valores reportados por cada prueba y sus repeticiones para cada una. (Anexo 09).

A continuación se muestra la estimación del porcentaje de Eficiencia de Remoción de turbidez para el tratamiento 1 (T<sub>1</sub>R<sub>1</sub>) de los resultados de turbidez final usando sulfato de aluminio Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> y almidón de maíz variedad amiláceo-cusqueado. Todos los valores obtenidos se muestran en el Anexo 09.

$$\text{Eficiencia de Remoción \%} = \left[ \frac{(\text{Turbiedad inicial} - \text{Turbiedad final})}{\text{Turbiedad inicial}} \right] * 100$$

$$\text{Eficiencia de Remoción \%} = \left[ \frac{(9.9 - 2.23)}{9.9} \right] * 100$$

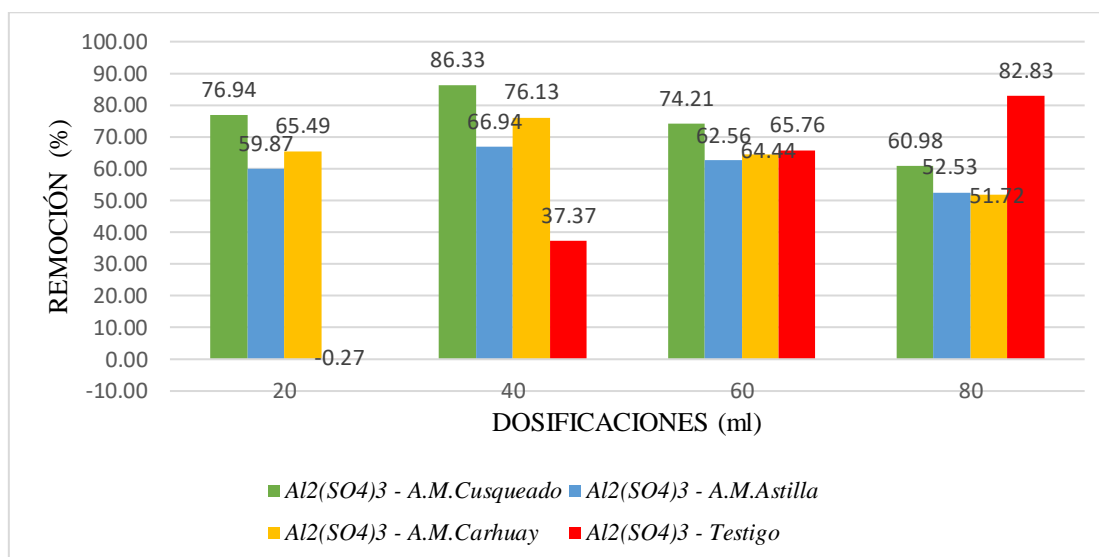
$$\text{Eficiencia de Remoción \%} = 77.7$$

#### 4.5 Comparación de resultados obtenidos de porcentajes de eficiencia de remoción

En la Figura 3 se aprecia la comparación del porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez utilizando el sulfato de aluminio Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> y el coagulante natural de almidón de maíz, donde el porcentaje más alto se obtuvo con la variedad cusqueado a una dosificación de 40 ml, pero es importante destacar que el resto de dosificaciones en sus distintas variedades y tratamientos así como es sus repeticiones tienen casi el mismo porcentaje de eficiencia de remoción.

**Figura 3**

*Comparación de porcentajes de remoción de turbidez de acuerdo a cada dosificación del almidón de maíz en sus tres variedades.*



#### 4.6 Resultados de los análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) demostraron efectos altamente significativos en las dos variables analizadas (turbiedad y eficiencia) y para todos los efectos probados en el modelo (Tablas 14 y 15). Estos resultados sugieren que no todas las variedades de maíz amiláceo probadas tuvieron la misma respuesta frente a los niveles de sulfato de aluminio utilizados. Dos aspectos importantes de resaltar en estos análisis de varianza son los bajos coeficientes de variación obtenidos en ambas variables, lo cual demuestra una adecuada evaluación de ambas variables en el laboratorio. El otro aspecto importante de resaltar son los elevados coeficientes de determinación observados para ambas variables, que indican la idoneidad del modelo estadístico utilizado para la evaluación de los genotipos y los niveles de sulfato de aluminio. En el caso de la variable turbidez, el  $R^2$  sugiere que alrededor de un 97 % de la variación observada en esta variable fue explicada por el modelo matemático utilizado, mientras que para la variable turbidez, el modelo pudo explicar alrededor de un 98 % de la variabilidad observada en esta variable.

**Tabla 5***Resultados de análisis de varianza para la variable Turbidez del agua.*

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Pr > F
Genotipos (G)	3	48.25	16.08	947.76	<0.0001
Aluminio (Al)	3	20.66	6.89	405.87	<0.0001
G*Al	9	117.58	13.06	769.81	<0.0001
Error	32	0.54	0.02		
Total	47				
		CV (%)	3.42		
		R <sup>2</sup>	0.97		
		Media	3.81		

**Tabla 6***Resultados de análisis de varianza para la variable eficiencia.*

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Pr > F
Genotipos (G)	3	4614.89	1538.30	718.21	<0.0001
Aluminio (Al)	3	2186.10	728.70	340.22	<0.0001
G*Al	9	12294.10	1366.01	637.78	<0.0001
Error	32	68.54	2.14		
Total	47				
		CV (%)	2.37		
		R <sup>2</sup>	0.98		
		Media	61.69		

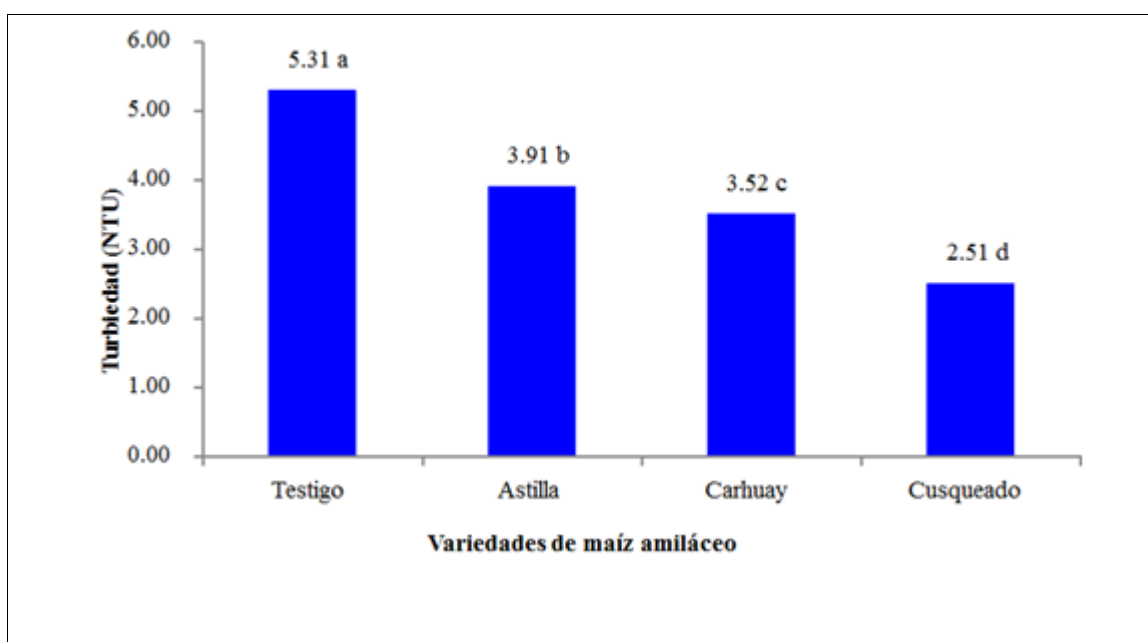
#### 4.7 Resultado final de pruebas de turbidez y eficiencia

En la Figura 4 se evidencia los valores de turbidez final expresados en (NTU), considerando el efecto individual de las diferentes variedades de maíz utilizadas en el estudio. Como se observa en la Figura 4, el testigo obtuvo los mayores valores promedios de turbiedad, lo cual sugiere que todas las variedades utilizadas fueron efectivas en disminuir los niveles de turbidez en el agua. La variedad amiláceo-cusqueado resultó con la mejor respuesta para esta variable, superando estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) al resto de las variedades utilizadas en el estudio. Le siguieron en orden creciente, la variedad amiláceo-carhuay y por último la variedad amiláceo-astilla.

Cuando se analizó la variable turbidez considerando el efecto principal de los niveles de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) utilizados (Figura 5), se puede apreciar que tal como era de esperarse, el nivel 1 (N1), donde se utilizó la menor cantidad del producto químico, fue el que generó el mayor promedio de turbidez, el cual superó estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) a los niveles restantes utilizados. Le siguieron en orden decreciente los niveles N4, N2 y N3, observándose diferencias no significativas ( $p > 0.05$ ) entre los dos últimos niveles (Figura 5). Estos resultados sugieren que niveles de aluminio por debajo del 2 %, que es la concentración comúnmente utilizada en los sistemas de agua potable, parecieran suficientes para lograr obtener adecuados niveles de turbidez en el agua potable.

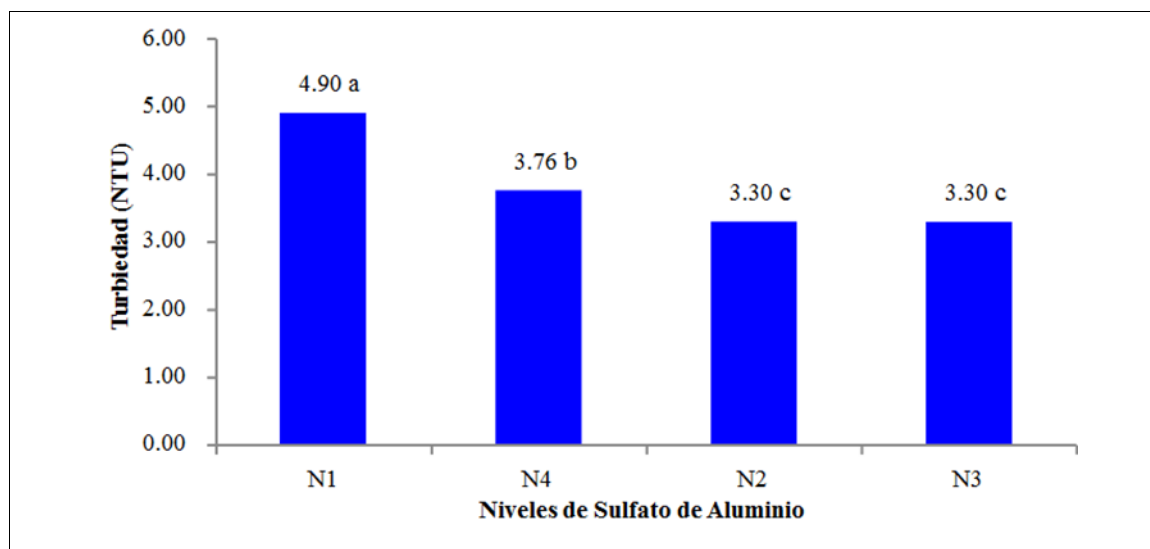
**Figura 4**

*Promedios de turbidez para las diferentes variedades de maíz utilizadas en el estudio.*



**Figura 5**

*Valores promedios de turbidez observados en los diferentes niveles de aluminio utilizados.*



En lo que respecta a la eficiencia, analizada considerando por separado los efectos principales de genotipos y de aluminio utilizados, en las Figuras 6 y 7 se puede apreciar que la variedad amiláceo-cusqueado superó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) al resto de las variedades utilizadas y por supuesto al testigo (sin uso de variedad de maíz). La variedad amiláceo-carhuay obtuvo el segundo valor más alto de eficiencia, quien también superó ( $p \leq 0.05$ ) a la variedad amiláceo-astilla. No obstante, la variedad amiláceo-astilla también superó ( $p \leq 0.05$ ) al testigo, lo cual demuestra la importancia del almidón del maíz, como elemento efectivo en el proceso de coagulación, que permite eliminar partículas suspendidas en el agua que generen la turbidez de la misma.

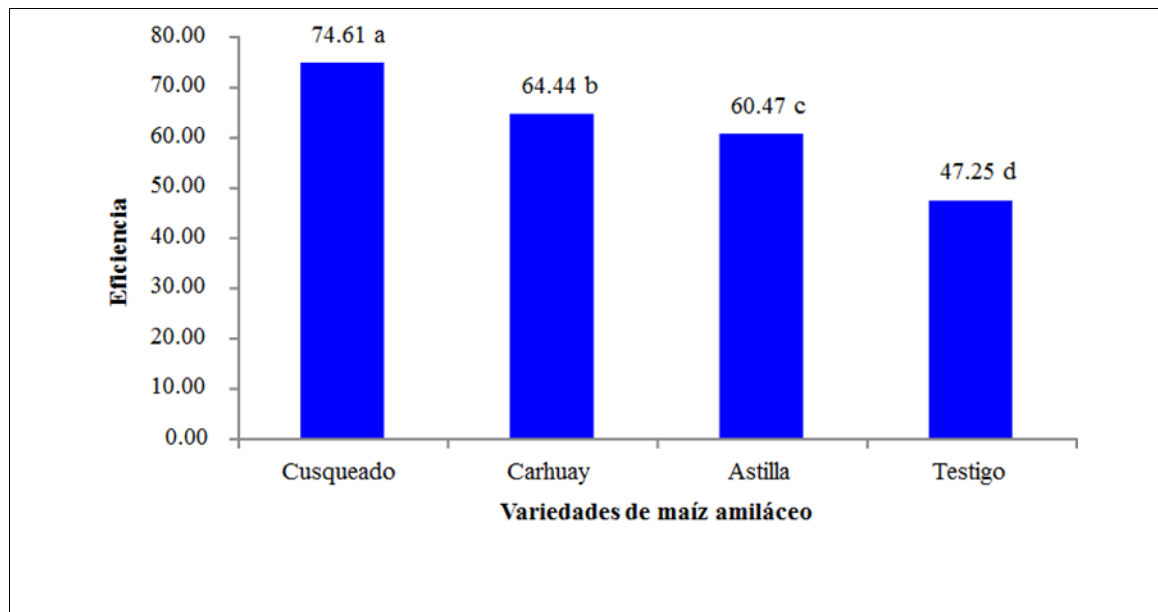
Al analizar los niveles de aluminio, por separado, se puede observar que los niveles N2 y N3 resultaron los más eficientes en eliminar las partículas suspendidas en el agua, no existiendo diferencias significativas entre ambos niveles, pero superaron ( $p \leq 0.05$ ) al resto de los niveles de aluminio utilizados en el estudio. Como era de esperarse, el nivel 1 fue el menos eficiente.

En la Tabla 16 se presenta la respuesta dada por cada una de las variedades utilizadas, bajo los diferentes niveles de aluminio utilizados en el estudio, donde se puede observar que la variedad amiláceo-cusqueado presentó sus menores valores de turbidez con los niveles de aluminio N2 y N1, siendo estos valores estadísticamente inferiores a los observados con las otras dos variedades. Las variedades amiláceo-carhuay y amiláceo-astilla también mostraron

su mejor respuesta con el nivel N2 de aluminio, ubicándose por debajo ( $p \leq 0.05$ ) de los promedios observados con los otros niveles de aluminio utilizados en cada variedad. Estos niveles de turbiedad sólo fueron superados por el testigo con el máximo nivel de aluminio utilizado (N4), lo cual también era de esperarse, dada la efectividad de esta sal para remover las partículas suspendidas en el agua, tal como lo refiere Martínez et al., (2020).

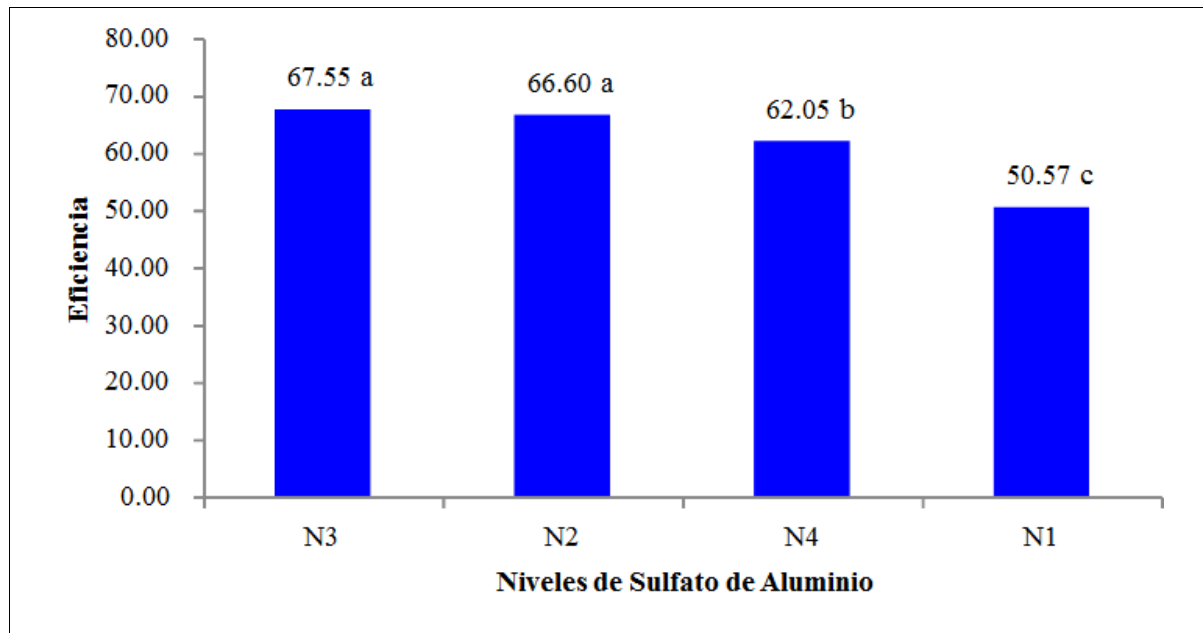
**Figura 6**

*Valores promedios de eficiencia para las diferentes variedades de maíz utilizadas en el estudio.*



**Figura 7**

*Valores promedios de eficiencia de remoción para las diferentes variedades de maíz utilizadas en el estudio.*



En lo que respecta a la eficiencia, la variedad amiláceo-cusqueado obtuvo la mayor eficiencia con el nivel N2 de aluminio, superando estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) al resto de las variedades utilizadas en el estudio. Le siguieron en orden decreciente el testigo con N4 [Sólo  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ] y de nuevo la variedad amiláceo-cusqueado con el nivel N1 de aluminio. Las variedades amiláceo-carhuay y amiláceo-astilla dieron sus valores promedios de eficiencia más altos con el nivel de aluminio N2. Estos resultados sugieren que el uso del maíz con bajos niveles de aluminio pueden ser una alternativa para realizar el proceso de eliminación de las partículas suspendidas del agua para consumo, evitando los efectos dañinos de esta sal.

**Tabla 7**

*Valores promedios para las variables turbidez y eficiencia observados en las diferentes variedades bajo los diferentes niveles de sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) utilizados.*

Variedades	Niveles de Al	Turbiedad	DE	Eficiencia	DE
Astilla	N1	3.97 d	0.15	59.87 j	1.55
Astilla	N2	3.27 h	0.11	66.94 ef	1.08
Astilla	N3	3.71 ef	0.19	62.56 hi	1.94
Astilla	N4	4.70 c	0.16	52.52 k	1.60
Carhuay	N1	3.42 gh	0.16	65.49 fg	1.57
Carhuay	N2	2.36 ij	0.09	76.13 cd	0.88

Carhuay	N3	3.52 fg	0.11	64.44 gh	1.12
Carhuay	N4	4.78 c	0.16	51.72 k	1.63
Cusqueado	N1	2.28 j	0.11	76.94 c	1.11
Cusqueado	N2	1.35 l	0.11	86.33 a	1.07
Cusqueado	N3	2.55 i	0.12	74.21 d	1.25
Cusqueado	N4	3.86 de	0.11	60.98 ij	1.12
Testigo	N1	9.93 a	0.15	0.00 m	0.00
Testigo	N2	6.20 b	0.10	37.00 l	1.00
Testigo	N3	3.40 gh	0.10	69.00 e	2.65
Testigo	N4	1.70 k	0.10	83.00 b	2.00
<b>MDS</b>		<b>0.217</b>		<b>2.434</b>	

**Nota:** Al, DE y MDS significan, respectivamente, aluminio, desviación estándar de la media y mínima diferencia significativa. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, según la prueba de Tukey al 5 %.



## V. DISCUSIÓN

La muestra de agua analizada evidenciada en los resultados de análisis de agua potable para parámetros pH y turbidez (Tabla 2) por el laboratorio Hidrolab muestra que este recurso tiene valores de pH (7.64) el cual está dentro de los parámetros de límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica de agua para consumo humano (MINSA, 2011) , sin embargo para el parámetro de turbidez presenta un valor de (9.9 NTU) , el cual sobrepasa los valores de límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica de agua para consumo humano (MINSA, 2011) , este es un problema que se arrastra año tras año en el sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica evidenciado a través de informes de no cumplimiento por la RED DE SALUD TAYACAJA - SALUD AMBIENTAL (2023). La turbidez de la muestra de agua analizada está causada por la presencia de material disuelto y suspendido.

Para la reducción de la turbidez las tres variedades de maíz mostraron una capacidad significativa para reducir la turbidez del agua. Sin embargo, hubo diferencias en la eficiencia entre las variedades. La variedad amiláceo-cusqueado resultó ser la más eficiente en remover la turbidez del agua, superando a las dos variedades restantes y al testigo. Estos resultados demuestran que el tipo de almidón presente en esta variedad es mucho más eficiente para eliminar las partículas suspendidas en el agua, mejorando significativamente los niveles de turbidez. Como bien refiere Martínez et al. (2020), la turbidez es uno de los principales parámetros utilizados como indicador de la calidad del agua, cuyos valores reflejan la presencia de materiales coloidales, minerales u orgánicos que pueden indicar contaminación del agua.

El almidón de diferentes especies vegetales se ha propuesto como coadyubante en el proceso de floculación de las partículas coloidales del agua (Sierra et al., 2019; Mery et al., 2020; Padilla et al., 2020; Tejada et al., 2020; Azabache et al., 2022). Sin embargo, ninguna de estas propuestas ha incluido al cultivo del maíz. En este caso, se puede considerar como una alternativa viable, económica y técnicamente, por ser un producto de la zona, donde la variedad amiláceo-cusqueado se adapta bastante bien. Un estudio realizado por García et al. (2021) demostró que la variedad amiláceo-cusqueado resultó con un rendimiento promedio similar al rendimiento promedio expresado por el mejor testigo, un genotipo también perteneciente a esta raza cusco. De acuerdo a Salhuana, corresponden a los maíces con los

granos más grandes en el mundo, caracterizados por poseer 8 hileras de granos en la mazorca, mazorcas largas, de grano blanco harinoso (Salhuana, 2004).

El tiempo necesario para la sedimentación también fue un factor clave y de acuerdo a lo planteado en esta investigación, el almidón de maíz de la variedad amiláceo-cusqueado y la amiláceo-astilla mostraron una sedimentación más rápida en comparación con el amiláceo-carhuay dentro del tiempo establecido, ello muestra que el tiempo de sedimentación de esta última variedad requiere otra diferente en comparación a las otras variedades. (García-Mendoza et al., 2021) refiere que las distintas variedades de maíz existentes en la provincia de Tayacaja representan características diferentes de desempeño agronómico por factores de cultivo, condiciones ambientales y mejoramiento genético; lo cual proporciona a los granos de maíz la cantidad y calidad de contenido de almidón que estas contenga.

La dosis óptima de concentración de almidón de maíz realizada en este estudio en comparación con dosis óptimas de solo coagulante químico de sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) se basa en que el coagulante natural de maíz no supera completamente la eficiencia del coagulante químico, el mismo patrón se evidenció en la investigación realizada por Mori (2020) al determinar el poder coagulante del almidón de papa como auxiliar del sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) en el tratamiento de agua para consumo humano.

Dentro de la obtención de coagulante se realizó siguiendo el proceso establecido por Maza-Martínez et al. (2021), el cual es un proceso casero, sin embargo existen metodologías de obtención de almidón de maíz más rentables, eficientes y de mayor producción pero que generan una mayor inversión y costos, tal es el caso de la investigación de Puzko (2023) quien usa métodos de innovación y tecnología para la fabricación de eco-packaging a partir de la obtención de almidón de maíz y otros productos.

## VI. CONCLUSIONES

El almidón del maíz en sus tres variedades: amiláceo-cusqueado, amiláceo-astilla y amiláceo-carhuay pueden ser utilizados como coagulante natural efectivo para la remoción de turbidez del agua potable. Entre las tres variedades, la variedad amiláceo-cusqueado destacó por su mayor eficiencia y menor dosificación requerida.

La concentración y dosis óptima se evidencio en la combinación del almidón de maíz variedad amiláceo-cusqueado con el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  obtuvo un mayor valor de tendencia de disminución en el grado de turbidez, siendo el valor más representativo la dosis de 40 ml con un promedio de turbidez final de 1.35 NTU. De la misma manera se evidencia que los valores obtenidos del resto de tratamientos con las variedades restantes de almidón de maíz son eficientes para la remoción de turbidez por estar dentro de los parámetros de límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica de agua para consumo humano que exige la normatividad peruana.

La obtención del coagulante natural de almidón de maíz en sus tres variedades: amiláceo-cusqueado, amiláceo-astilla y amiláceo-carhuay se logró utilizando operaciones de triturado, filtrado, sedimentado, secado, tamizado, las cuales no presentaron un alto costo al realizarlo a escala piloto y de manera casera, logrando obtener un porcentaje de rendimiento alto de almidón para las tres variedades de maíz propuestas.

Estos resultados promueven el uso de coagulantes naturales en sistemas de tratamiento de agua en regiones rurales y urbanas, tal como el distrito de Pampas, provincia de Tayacaja, región Huancavelica, contribuyendo a la sostenibilidad y a la reducción de los impactos negativos asociados con los coagulantes químicos como es el caso del sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ .

## **VII. RECOMENDACIONES**

Para avanzar más en la comprensión científica del potencial coagulante de estos agentes naturales se recomienda experimentar con diferentes dosis de almidones naturales provenientes de diversas especies en combinación con coagulantes sintéticos que comúnmente se utiliza para el tratamiento de turbidez del agua para consumo humano.

Aprovechar la diversidad biológica encontrada en las variedades del maíz y demás especies existentes a nivel local, nacional y global para la eliminación de la turbidez, debido a que el uso de coagulantes naturales es una práctica ambiental adecuada que además nos permite utilizar menos productos químicos.

Se recomienda asimismo utilizar los residuos provenientes de las diferentes especies existentes que generalmente se desechan, se podría evaluar el nivel de aprovechamiento como coagulante natural de los mismos.

## VIII. REFERENCIAS

- Azabache-Liza, Y. F., Maldonado-Ushiñahua, A., Azabache-Aliaga, R., & Dávila-Cardozo, J. (2022). Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 1(1): e294. <https://doi.org/10.51252/reacae.v1i1.294>
- Camacho-Oviedo, H., Campos-Núñez, D., Mercado Martínez, I., Cubillán-Acosta, N., & Castellar-Ortega, G. (2020). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 8(1): 100-111. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>
- Fuentes-Figueroa, T., Parrales-Quimis, A. D., Morán-Morán, J., García-Cabrera, J., & Gabriel-Ortega, J. (2022). Caracterización Morfológica y Etnobotánica del Maíz Criollo (*Zea mays* L.) en la Comuna Sancán, Ecuador. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 6(2): 101-116. ISSN 2602-8166,. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v6.n2.2022.631>
- García-Mendoza, P. J., Pérez-Almeida, I. B., Prieto-Rosales, G. P., Medina-Castro, D. E., Sánchez, D. M., Marín-Rodríguez, C. A., Ricse-Nestares, J. C., Ortecho-Llanos, R. & Medina-Hoyos, A. E. (2021). Interacción genotipo ambiente y potencial productivo de 25 variedades de maíz amiláceo en la provincia de Tayacaja, Perú. *Bioagro*, 33(2), 67-78.
- Gonzales-Saenz, W., Acharte-Lume, L. M., Poma-Palacios, J. C., Sánchez-Araujo, V. G., Quispe-Coica, F. A., & Meseguer-Pallares, R. (2023). Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 25(1): 23 – 31. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.486>.
- Humanante Cabrera, J. J., Moreno Alcivar, L. C., Grijalva-Endara, A., Tinedo, R. W. S., Tomalá, J. A. S., Humanante Cabrera, J. J., Moreno Alcivar, L. C., Grijalva-Endara, A., Tinedo, R. W. S., & Tomalá, J. A. S. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, 19(2).

- Ingeniería, S. A. e. (2020). Prueba de Jarras – ISA. *Soluciones Ambientales*. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/454406323/PSOLARES-PRUEBA-JARRAS>.
- Karnena, M. K., & Saritha, V. (2022). Contemplations and investigations on green coagulants in treatment of surface water: a critical review. In *Applied Water Science*, 12(7): 01 -22. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01670-y>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2021). Maíz. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales 2021. *Sioc*. 28 p. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/AlimentosBalanceados/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales%20ma%C3%ADz.pdf>
- Martínez-Orjuela, M. R., Mendoza-Coronado, J. Y., Medrano-Solís, B. E., Gómez-Torres, L. M., & Zafra-Mejía, C. A. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1). <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>
- Maza-Martínez, J. E., Flores-Fiallos, L. M., Santiana-Espín, C. G., & Bonilla-Lucero, M. L. (2021). Obtención de almidón de maíz chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*). *Domino de Las Ciencias*, 7(3).
- Mery, R., Surco, T., Eduardo, J., Rivera, V., Adeline, R., & Chura, C. (2020). *STARCH OF THREE VARIETIES OF POTATO (Solanum tuberosum) AS AN AUXILIARY TO ALUMINUM SULFATE IN THE TREATMENT OF WATER FOR HUMAN CONSUMPTION IN HIGH ANDEAN CONDITIONS*. [https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri\\_ctd/index](https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/index)
- Ministerio de Salud (MINSA). (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N ° 031-2010-SA. In *Dirección General de Salud Ambiental - Ministerio de Salud*.
- Narcis Prat. (2019). Calidad de Agua, contaminación y toxicidad: Algunas ideas y conceptos básicos. *Andanzas y Desventuras de Un Ecólogo En Los Juzgados Del Reyno*.
- Narro León, T. P., & Piña Díaz, P. C. (2021). MANUAL DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ AMILÁCEO. Instituto Nacional de Innovación Agraria.
- Ortega Ramírez, A., Cáceres Durán, L., & Castiblanco Molina, L. (2021). INTRODUCCIÓN AL USO DE COAGULANTES NATURALES EN LOS

PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA. *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, 11(2). <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2020.873>

Padilla-García, K., Pimienta-Rodríguez, G., & Mercado-Martínez, I. (2020). Evaluación de la mezcla de un coagulante químico-natural en el proceso de clarificación de una ciénaga. *Revista UIS Ingenierías*, 19(3). <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n3-2020005>

Pastrana-Pacho, A., Solis-Silvan, R., Ávila-Lázaro, I., Laines-Canepa, J. R., & Sánchez-Díaz, B. (2023). Coagulación de aguas residuales mediante una mezcla de polvo de *Crotalaria longirostrata* y sulfato de aluminio. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.6000>

Puzko, S. (2023). Innovations in Eco-Packaging Market and Promotional Tools for New Products with Corn Starch-Based Packaging. *Strategy of Economic Development of Ukraine*, 52. <https://doi.org/10.33111/sedu.2023.52.084.096>

Rahman, M. M., Haque, T., Mahmud, A., Al Amin, M., Hossain, M. S., Hasan, M. Y., Shaibur, M. R., Hossain, S., Hossain, M. A., & Bai, L. (2023). Drinking water quality assessment based on index values incorporating WHO guidelines and Bangladesh standards. *Physics and Chemistry of the Earth*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103353>

Red de Salud Tayacaja - Salud Ambiental. (2023). *Resultados de Monitoreo de Parámetros de Campo Convenio FED Periodo Diciembre 2022 – Enero 2023*. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/645270508/Roble>.

Rivera Cotrina, R., Flores Tauma, S. M., & Muñoz Delgado, V. H. (2022). Uso de semillas del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) para remover turbidez del agua residual doméstica. *INVENTUM*, 17(32). <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.17.32.2022.50-56>.

Salhuana, W., 2004. Diversidad y descripción de las razas de maíz del Perú. Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM): logros y perspectivas. 50º aniversario 204–251

Shah, A., Arjunan, A., Baroutaji, A., & Zakharova, J. (2023). A review of physicochemical and biological contaminants in drinking water and their impacts on human health.

*Water Science and Engineering*, 16(4), 333-344..  
<https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.04.003>

Sierra-Julio, A., Navarro-Silva, A., Mercado-Martínez, I., Flórez-Vergara, A., & urado-Eraso, M. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 131-138.  
<https://doi.org/10.18273/revuin.v18n4-2019012>

Steel, R. y J. Torrie 1988. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. McGraw-Hill /Interamericana, México. 622 p. Disponible en:  
[https://www.academia.edu/35066774/Steel\\_Robert\\_G\\_Bioestadistica\\_Principios\\_Y\\_Procedimientos\\_2ed](https://www.academia.edu/35066774/Steel_Robert_G_Bioestadistica_Principios_Y_Procedimientos_2ed).

Tejada, C. N., Villabona, A., Ortega, R., Millan, M., & Dager, N. L. (2020). Evaluación del uso de almidón de plátano como coagulante natural para la remoción de color y turbidez en agua para consumo humano. *Revista EIA*, 17(33): 33013 pp. 1–8. Disponible en:  
<https://revistapostgrado.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/1359>.

Víctor Guillermo Sánchez Araujo, et al. (2021). Concentración de compuestos clorados en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Acobamba, Huancavelica, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3): 3013-3028.  
[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i3.503](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.503)



## IX. ANEXOS



**Anexo 01:** Ubicación del área de estudio – Sistema de agua potable de Pampas, Tayacaja, Huancavelica.

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 22-01-2024 14:38

Identificación del Cliente	
Cliente: HUAMAN ZEVALLOS NILO EDISON	
Dirección: Pasaje Nueva Esperanza S/N Daniel Hernández - Tayacaja - Huancavelica - Peru	
Contacto: Nilo Huaman Zevallos	Teléfono: 904328486

N° Muestra: 33588-1/2024.0 - Id: 885669 - ANÁLISIS DE AGUA POTABLE	
Matriz: Agua para uso y consumo humano	
Término de muestreo: 16-01-2024 08:00	Fecha de Recepción: 17-01-2024 14:57
Departamento: Huancavelica	Provincia: Tayacaja
Distrito: Pampas	Punto de muestreo: AP - 01
Dirección de muestreo: Captación sistema de agua pampas	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 9.187790 ; N: 75.036629	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: ---

#### Resultados Analíticos

#### Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
pH	7,64 unidad de pH	--- unidad de pH	SM 4500 H B	17-01-2024 15:24

#### Análisis No Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Turbiedad	9,9 UNT	0,5 UNT	SM 2130 B	17-01-2024 15:12

#### Notas

ND: No determinado.  
LD: Límite de Detección.  
SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.  
\*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

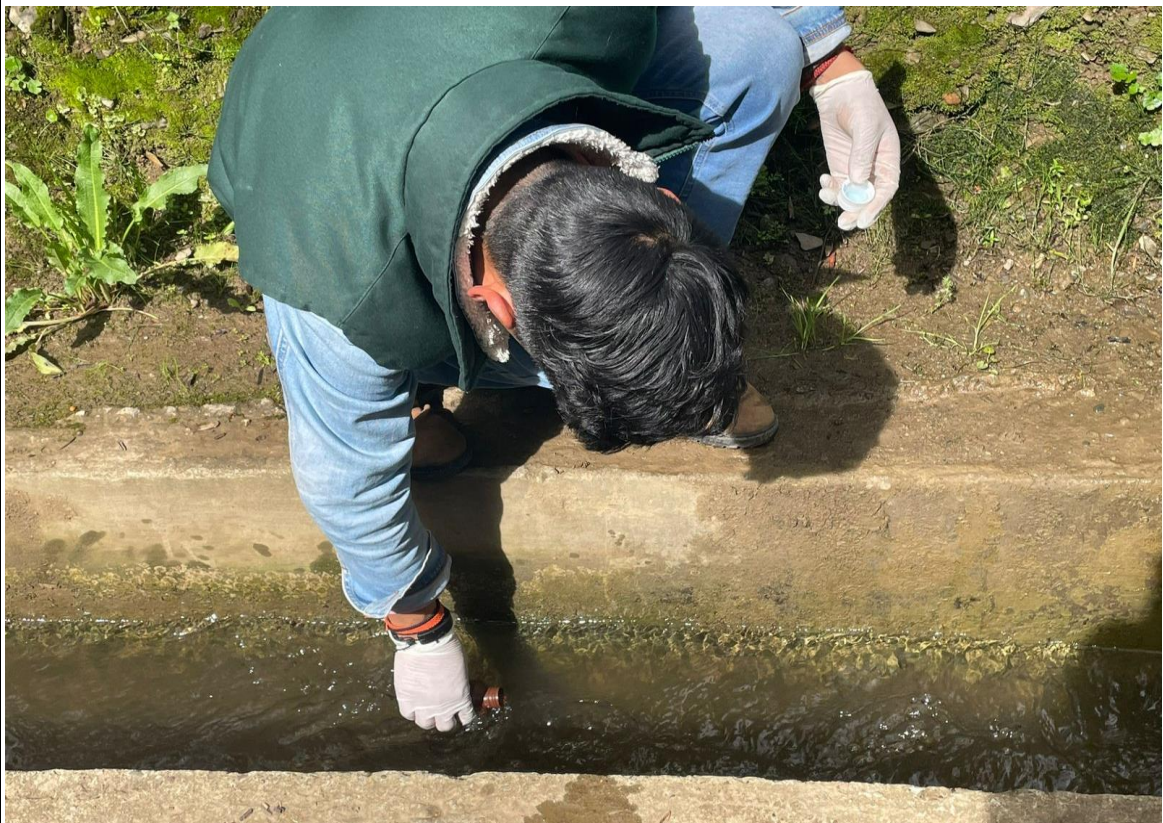
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 209612

Código de Validación: bbc86d74bba04cce9c8eed76368015ba

Calle Las Fabricas 216, Urb. San Remo - Cercado de Lima, Lima, Lima - RUC 20512976795 - [www.hidrolab.com](http://www.hidrolab.com)  
Acreditado por INACAL - Acreditación LE 077



**Anexo 03:** Recolección de muestra de agua.



**Anexo 04:** Muestras de agua para análisis laboratorio - parámetros de pH y Turbidez.



Amilaceo -  
Cusqueado

Amilaceo -  
Astilla

Amilaceo -  
Carhuay

**Anexo 05:** Variedades de maíz.



**Anexo 06:** Equipos usados en laboratorio.



**Anexo 07:** Dosificación de soluciones en jarras.



**Anexo 08:** Procedimiento de mezcla lenta de pruebas de jarras.

**Anexo 09:** Cuadros de resultados de valores de turbidez final obtenidos en la investigación.

*Resultados de turbiedad final usando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y almidón de maíz variedad amiláceo-cusqueado.*

Repetición	Tratamiento			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
R <sub>1</sub>	2.23	1.37	2.45	3.76
R <sub>2</sub>	2.21	1.45	2.69	3.98
R <sub>3</sub>	2.41	1.24	2.52	3.85
<b>Promedio</b>	<b>2.28</b>	<b>1.35</b>	<b>2.55</b>	<b>3.86</b>
<b>D.S</b>	<b>0.11</b>	<b>0.10</b>	<b>0.12</b>	<b>0.11</b>

*Resultados de turbiedad final usando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y almidón de maíz variedad amiláceo-astilla.*

Repetición	Tratamiento			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
R <sub>1</sub>	3.9	3.25	3.5	4.76
R <sub>2</sub>	3.87	3.18	3.74	4.82
R <sub>3</sub>	4.15	3.39	3.88	4.52
<b>Promedio</b>	<b>3.97</b>	<b>3.27</b>	<b>3.71</b>	<b>4.70</b>
<b>SD</b>	<b>0.15</b>	<b>0.11</b>	<b>0.19</b>	<b>0.16</b>

*Resultados de turbiedad final usando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y almidón de maíz variedad amiláceo-carhuay.*

Repetición	Tratamiento			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
R <sub>1</sub>	3.27	2.34	3.5	4.6
R <sub>2</sub>	3.4	2.29	3.64	4.83
R <sub>3</sub>	3.58	2.46	3.42	4.91
<b>Promedio</b>	<b>3.42</b>	<b>2.36</b>	<b>3.52</b>	<b>4.78</b>
<b>SD</b>	<b>0.16</b>	<b>0.09</b>	<b>0.11</b>	<b>0.16</b>

*Resultados de turbiedad final (testigo) usando solo sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ .*

Repetición	Tratamiento			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
R <sub>1</sub>	9.96	6.12	3.3	1.8
R <sub>2</sub>	9.95	6.23	3.88	1.69
R <sub>3</sub>	9.87	6.25	2.99	1.61
<b>Promedio</b>	<b>9.93</b>	<b>6.20</b>	<b>3.40</b>	<b>1.70</b>
<b>SD</b>	<b>0.04</b>	<b>0.07</b>	<b>0.45</b>	<b>0.09</b>

**Anexo 10:** Cuadros de resultados de valores de porcentaje de eficiencia de remoción obtenidos en la investigación.

*Porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez usando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y almidón de maíz variedad amiláceo-cusqueado.*

%	Tratamiento			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
Repetición				
R <sub>1</sub>	77.47	86.16	75.25	62.02
R <sub>2</sub>	77.68	85.35	72.83	59.80
R <sub>3</sub>	75.66	87.47	74.55	61.11
<b>Promedio</b>	<b>76.94</b>	<b>86.33</b>	<b>74.21</b>	<b>60.98</b>
<b>SD</b>	<b>1.11</b>	<b>1.07</b>	<b>1.25</b>	<b>1.12</b>

*Porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez usando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y almidón de maíz variedad amiláceo-astilla.*

%	Tratamiento			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
Repetición				
R <sub>1</sub>	60.61	67.17	64.65	51.92
R <sub>2</sub>	60.91	67.88	62.22	51.31
R <sub>3</sub>	58.08	65.76	60.81	54.34
<b>Promedio</b>	<b>59.87</b>	<b>66.94</b>	<b>62.56</b>	<b>52.53</b>
<b>SD</b>	<b>1.55</b>	<b>1.08</b>	<b>1.94</b>	<b>1.60</b>

*Porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez usando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y almidón de maíz variedad amiláceo-carhuay.*

<b>%</b>	<b>Tratamiento</b>			
	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>T<sub>4</sub></b>
<b>Repetición</b>				
<b>R<sub>1</sub></b>	66.97	76.36	64.65	53.54
<b>R<sub>2</sub></b>	65.66	76.87	63.23	51.21
<b>R<sub>3</sub></b>	63.84	75.15	65.45	50.40
<b>Promedio</b>	<b>65.49</b>	<b>76.13</b>	<b>64.44</b>	<b>51.72</b>
<b>SD</b>	<b>1.57</b>	<b>0.88</b>	<b>1.12</b>	<b>1.63</b>

*Porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez (testigo) usando solo sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ .*

<b>%</b>	<b>Tratamiento</b>			
	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>T<sub>4</sub></b>
<b>Repetición</b>				
<b>R<sub>1</sub></b>	-0.61	38.18	66.67	81.82
<b>R<sub>2</sub></b>	-0.51	37.07	60.81	82.93
<b>R<sub>3</sub></b>	0.30	36.87	69.80	83.74
<b>Promedio</b>	<b>-0.27</b>	<b>37.37</b>	<b>65.76</b>	<b>82.83</b>
<b>SD</b>	<b>0.50</b>	<b>0.71</b>	<b>4.56</b>	<b>0.96</b>