UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL

EFICIENCIA DEL LÁTEX SECO DE PAPAÍNA Y DE LA SEMILLA DE *Carica papaya* L. EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, BELLAVISTA-JAÉN

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

Autores: Bach. Xilef Jhosep Yelsen Quiliche Lozano

Bach. Luz Mabel Rojas Bravo

Asesor: Dr. Cirilo Mario Caira Mamani

Coasesor: Dr. Persi Vera Zelada

Gestión de Calidad Ambiental - **LI_IFA_03:** Tecnología para la Gestión Sostenible del Territorio y los Recursos Naturales.

JAÉN – PERÚ

2026

Quiliche Lozano Xilef J. Y Rojas Bravo Luz M.

EFICIENCIA DEL LÁTEX SECO DE PAPAÍNA Y DE LA SEMILLA DE Carica papaya L. EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AG...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3659180777

Fecha de entrega
24 sep 2026, 3:21 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
24 sep 2026, 3:25 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
ICHE_LOZANO_JHOSEP_YELSEN-_INFORME_1_-_LUZ_MABEL_ROJAS_BRAVO.pdf

Tamaño del archivo
3.1 MB

76 páginas

13.008 palabras

71.940 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación

turnitin Página 1 de 81 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::1:3659180777

Scanned with CamScanner

9% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

7%	Fuentes de Internet
3%	Publicaciones
8%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

Scanned with CamScanner

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El día 21 de setiembre del año 2026, siendo las 10:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado evaluador de manera presencial, en la sala de docentes de la escuela de Ingeniería Forestal y Ambiental.

Presidenta: Dra. María Marleni Torres Cruz
Secretario: Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo
Vocal : Dr. Lupo Leonidas Varas Ponce

(X) Informe final de tesis
( ) Proyecto de tesis
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:
"EFICIENCIA DEL LÁTEX SECO DE PAPAÍNA Y SEMILLA DE Carica papaya L. EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, BELLAVISTA - JAÉN", presentado por los **bachilleres: Xilef Jhosep Yelsen Quiliche Lozano y Luz Mabel Rojas Bravo** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19, 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	( )
c)	Bueno	14, 15	(15)
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ò menos	( )

Siendo las 10:40 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 21 de setiembre del 2026

Dra. María Marleni Torres Cruz
Presidenta

Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo
Secretario

Dr. Lupo Leonidas Varas Ponce
Vocal

Scanned with CamScanner

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Luz Mabel Rojas Bravo, bachiller de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la facultad de Ingeniería de Universidad Nacional de Jaén, identificado con DNI 73991506.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

   "EFICIENCIA DEL LÁTEX SECO DE PAPAÍNA Y DE LA SEMILLA DE *Carica papaya* L. EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, BELLAVISTA-JAÉN"
   Asesorado por Dr. Cirilo Mario Caira Mamani y Coasesor Dr. Persi Vera Zelada
   El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Jaén, 21 de octubre del 2026

Luz Mabel Rojas Bravo

Scanned with CamScanner

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Xilef Jhosep Yelsen Quiliche Lozano, bachiller de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la facultad de Ingeniería de Universidad Nacional de Jaén, identificado con DNI 73894524.

Declaro bajo juramento que:

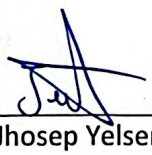
7. Soy Autor del trabajo titulado:

   "EFICIENCIA DEL LÁTEX SECO DE PAPAÍNA Y DE LA SEMILLA DE *Carica papaya* L. EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, BELLAVISTA-JAÉN"
   Asesorado por Dr. Cirilo Mario Caira Mamani y Coasesor Dr. Persi Vera Zelada
   El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

8. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
9. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
10. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
11. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
12. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Jaén, 21 de octubre del 2026



Xilef Jhosep Yelsen Quiliche Lozano

Scanned with CamScanner

ÍNDICE

Pág.

I. INTRODUCCIÓN 9

II. MATERIALES Y MÉTODOS 12

2.1. Ubicación del área del estudio 12

2.2. Población, muestra, muestreo 14

2.3. Metodología 14

2.3.1. Recolección del agua residual doméstica 16

2.3.2. Obtención y preparación del látex seco de papaína de *Carica papaya* L. 16

2.3.3. Obtención y preparación de polvo de semilla de *Carica papaya* L. 17

2.3.4. Caracterización inicial y final del agua residual doméstica 18

2.3.5. Evaluación de la eficiencia de distintas dosis de látex seco de papaína y semilla de *Carica papaya* L. 19

2.3.6. Determinación de la dosis más eficaz de cada coagulante 22

2.3.7. Análisis de datos 22

III. RESULTADOS 23

3.1. Caracterización inicial y final de los parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica 23

3.1.1. Variación de la turbidez inicial y final según dosis de coagulante 24

3.2. Evaluación de la eficiencia de distintas dosis del látex seco de papaína y la semilla de *Carica papaya* L. en la remoción de turbidez del agua residual doméstica 25

3.3. Dosis más eficiente de cada coagulante para la reducción de la turbidez 26

IV. DISCUSIÓN 33

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 35

5.1. Conclusiones 35

5.2. Recomendaciones 36

VI. REFERENCIAS 37

VII. ANEXOS.....44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Caracterización inicial y final de los parámetros fisicoquímicos.....24
Tabla 2 Variación de la turbidez inicial y final según dosis de coagulante.....24
Tabla 3 Eficiencia del látex seco de papaína y semilla de *Carica papaya* L. en la remoción de turbidez del agua residual doméstica 25
Tabla 4 Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la variable turbidez con semilla de *Carica papaya* L. 26
Tabla 5 Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene (α = 0,05) para la turbidez final con semilla de *Carica papaya* L. 27
Tabla 6 ANOVA para la turbidez final obtenida con las dosis de semilla de *Carica papaya* L. 27
Tabla 7 Comparación de las medias de turbidez final con semilla de *Carica papaya* L. mediante la prueba de Tukey 28
Tabla 8 Subconjuntos homogéneos de las dosis de semilla de *Carica papaya* L. 28
Tabla 9 Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (α = 0,05) para la turbidez final del agua residual doméstica con látex seco de papaína de *Carica papaya* L.....29
Tabla 10 Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene (α = 0,05) para la turbidez final obtenida con las dosis de látex seco de papaína de *Carica papaya* L. 30
Tabla 11 ANOVA para la turbidez final obtenida con las dosis de látex seco de papaína de *Carica papaya* L. 30
Tabla 12 Comparación de las medias de turbidez final con látex seco de papaína mediante la prueba de Tukey (HSD, α = 0,05).....30
Tabla 13 Subconjuntos homogéneos de las dosis de látex seco de papaína de *Carica papaya* L. 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de la PTAR del Centro Poblado Santa Cruz – Bellavista. ...13
Figura 2 Diagrama de Preparación de polvo de látex seco de papaína de *Carica papaya* L. 17
Figura 3 Diagrama de Preparación de polvo de semilla de *Carica papaya* L. 18
Figura 4 Remoción de turbidez obtenido con el látex seco de papaína y la semilla de *Carica papaya* L. 26
Figura 5 Media de la turbidez final obtenida con las dosis de semilla de *Carica papaya* L. 29
Figura 6 Media de la turbidez final obtenida con las dosis de látex seco de papaína de *Carica papaya* L. 32
Figura 7 La muestra de látex seco de papaína fue colocada al horno a 50 °C durante 24 horas 72
Figura 8 Extracción de látex de papaína de *Carica papaya* L. 72
Figura 9 Trituración del látex seco de papaína de *Carica papaya* L. mediante mortero...72
Figura 10 Se colocó en un envase de vidrio el polvo de látex seco de papaína 72
Figura 11 Se añadió las semillas en una bandeja de aluminio para luego ser llevadas al horno 73
Figura 12 Lavado y extracción de la semilla de *Carica papaya* L. 73
Figura 13 La semilla fue colocada en un mortero para su trituración y posterior tamizado; el polvo obtenido fue almacenado en un envase de vidrio 73
Figura 14 Recolección del agua residual doméstica de la PTAR del Centro Poblado de Santa Cruz - Bellavista 74
Figura 15 La muestra de agua residual doméstica fue colocada en cuatro vasos precipitados de 1000 mL para la medición de los parámetros iniciales y finales, aplicando los coagulantes de *Carica papaya* L. 74
Figura 16 Medición de la turbidez mediante un turbidímetro 75
Figura 17 Medición de la conductividad eléctrica, sólidos disueltos y temperatura mediante un multiparámetro 75
Figura 18 Medición del pH 75
Figura 19 Se pesó las dosis correspondientes a cada coagulante: látex seco de papaína y semilla de *Carica papaya* L. 76
Figura 20 Se colocaron los vasos precipitados en el equipo de prueba de jarras 76

Figura 21 Se configuró el equipo de test de jarras luego se agregó la dosis de coagulante correspondiente 76

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la reducción de la turbidez del agua residual doméstica mediante la aplicación de látex seco de papaína y semilla de *Carica papaya* L., procedente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Centro Poblado Santa Cruz, distrito de Bellavista, provincia de Jaén. El estudio se desarrolló bajo un diseño experimental completamente al azar**,** evaluando de manera independiente cada coagulante mediante tres dosis de aplicación (100, 250 y 500 mg/L), con tres repeticiones por dosis y un tratamiento control sin adición de coagulante. Los ensayos se realizaron mediante la prueba de jarras (Jar Test), simulando los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. La turbidez inicial del agua residual fue de 121,56 NTU**.** Los datos obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva y pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, homogeneidad de varianzas de Levene, análisis de varianza (ANOVA) y comparación múltiple de medias de Tukey, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las dosis evaluadas para cada coagulante ($p < 0,001$). Descriptivamente, el porcentaje de remoción aumentó conforme se incrementó la dosis, alcanzando su mayor valor a 500 mg/L. La semilla de *Carica papaya* L. alcanzó una eficiencia de remoción de 75,95 % y una turbidez final promedio de 29,23 NTU, mientras que el látex seco de papaína, alcanzó una eficiencia de 70,38 % y una turbidez final promedio de 36,00 NTU.

Se concluye que ambos coagulantes naturales fueron eficientes para reducir la turbidez del agua residual doméstica bajo condiciones de laboratorio. La semilla de *Carica papaya* L. presentó los menores valores de turbidez final y el mayor porcentaje de remoción entre las dosis evaluadas, evidenciando un mejor desempeño experimental en la reducción de la turbidez.

Palabras clave: Turbidez, agua residual doméstica, coagulantes, papaína, *Carica papaya* L.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the reduction of turbidity in domestic wastewater through the application of dry papain latex and *Carica papaya* L. seeds, sourced from the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of the Santa Cruz community, Bellavista district, Jaén province. The study was conducted using a completely randomized experimental design, evaluating each coagulant independently at three application doses (100, 250, and 500 mg/L), with three replicates per dose and a control treatment without added coagulant. The tests were carried out using the jar test, simulating the processes of coagulation, flocculation, and sedimentation. The initial turbidity of the wastewater was 121.56 NTU. The data obtained were analyzed using descriptive statistics and Shapiro-Wilk normality tests, Levene's test for homogeneity of variances, analysis of variance (ANOVA), and Tukey's multiple comparisons test, with a significance level of $\alpha = 0.05$.

The results showed statistically significant differences between the doses tested for each coagulant ($p < 0.001$). Generally, the removal percentage increased as the dose went up, reaching its highest value at 500 mg/L. *Carica papaya* L. seed achieved a removal efficiency of 75.95% and an average final turbidity of 29.23 NTU, while the dry papain latex of *Carica papaya* L. achieved an efficiency of 70.38% and an average final turbidity of 36.00 NTU.

It is concluded that both natural coagulants were effective in reducing the turbidity of domestic wastewater under laboratory conditions. The seed of *Carica papaya* L. showed the lowest final turbidity values and the highest percentage of removal among the doses evaluated, demonstrating a better experimental performance in turbidity reduction.

Keywords: Turbidity, domestic wastewater, coagulants, papain, *Carica papaya* L.

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domésticas constituyen una de las principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos a nivel mundial (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017). Debido a la elevada concentración de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y microorganismos patógenos que contienen (Metcalf & Eddy et al., 2014). La descarga de estos efluentes sin un tratamiento adecuado presenta altas concentraciones de partículas suspendidas y materia orgánica (Díaz et al., 2012), lo que genera impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos, alterando las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, además de representar riesgos significativos para la salud pública y el ambiente (FAO, 2017).

A nivel mundial, el crecimiento poblacional, la expansión urbana y el desarrollo industrial han incrementado la generación de aguas residuales, superando, en muchos casos, la capacidad de tratamiento de la infraestructura existente (Tchobanoglous et al., 2003). La (WWAP, 2017) señala que más del 80 % de estas aguas son vertidas al ambiente sin un tratamiento adecuado, ocasionando contaminación de ríos, lagos y acuíferos. En América Latina, esta situación se agrava por limitaciones técnicas, económicas y operativas de muchas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), lo que reduce la capacidad en la remoción de contaminantes.

En el Perú, el tratamiento de las aguas residuales continúa siendo un desafío ambiental, debido a que una parte importante de estos efluentes es descargada con tratamientos insuficientes o sin tratamiento previo, afectando la calidad de los recursos hídricos y los ecosistemas asociados (OEFA, 2014; SUNASS, 2022). Esta realidad también se evidencia en la región Cajamarca y, particularmente, en la provincia de Jaén, donde diversas PTAR presentan limitaciones para alcanzar una adecuada calidad del efluente tratado.

Uno de los principales indicadores de la calidad del agua residual es la turbidez, ya que está asociada a la presencia de partículas suspendidas y materia orgánica que disminuyen la eficiencia de los procesos de tratamiento (American Public Health Association, 2017). Para su reducción, la coagulación-floculación constituye una de las operaciones más utilizadas; sin embargo, los coagulantes químicos tradicionales, como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, presentan desventajas relacionadas con la generación de lodos y posibles impactos ambientales (Yin, 2010). Por ello, diversos estudios han evaluado el uso de

coagulantes naturales como alternativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas (Alcántara y Silva, 2023).

Entre estos recursos destaca *Carica papaya* L., cuyas semillas y látex contienen compuestos con potencial coagulante capaces de favorecer la remoción de partículas suspendidas (Monti et al., 2000; Yin, 2010). En particular, estudios recientes han evaluado la semilla seca de *Carica papaya* L. como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales, evidenciando su potencial para la reducción de contaminantes presentes en estos efluentes (Adrin et al., 2024). Investigaciones recientes respaldan su eficacia en la reducción de la turbidez; por ejemplo, (López y Perca, 2024) reportaron eficiencias superiores al 80 % utilizando semillas de papaya. Asimismo, (Dollah et al., 2021) y (Hosseini, 2023) han estudiado el potencial de las semillas de *Carica papaya* L. como coagulante natural. Mientras que (Díaz Aliaga, 2019) obtuvo resultados favorables empleando papaína como coagulante natural. No obstante, existe escasa evidencia sobre su aplicación en aguas residuales domésticas reales bajo condiciones experimentales locales.

Este estudio se desarrolló utilizando agua residual doméstica procedente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Centro Poblado Santa Cruz, ubicada en el distrito de Bellavista, provincia de Jaén. Considerando que este tipo de agua residual contiene partículas suspendidas y materia orgánica que contribuyen al incremento de la turbidez, resulta pertinente evaluar alternativas de tratamiento orientadas a mejorar su remoción mediante el empleo de coagulantes naturales. Asimismo, en la región Cajamarca son escasas las investigaciones que evalúan la aplicación de látex seco de papaína y de semilla de *Carica papaya* L. como coagulantes naturales en aguas residuales domésticas. En este contexto, el presente estudio busca generar evidencia científica sobre la eficiencia de ambos coagulantes en la reducción de la turbidez bajo condiciones experimentales.

La presente investigación se justifica por su aporte científico y técnico, debido a que evalúa la eficiencia de dos coagulantes naturales en la reducción de la turbidez del agua residual doméstica bajo condiciones experimentales controladas.

En atención a la problemática descrita, la investigación busca responder la siguiente pregunta: ¿Cuál es la eficiencia del látex seco de papaína y de la semilla de *Carica papaya* L. en la reducción de la turbidez del agua residual doméstica procedente de la PTAR del Centro Poblado Santa Cruz? Para ello, se planteó como objetivo general evaluar la eficiencia del látex seco de papaína y de la semilla de *Carica papaya* L. en la remoción de la turbidez

del agua residual doméstica de la PTAR del Centro Poblado Santa Cruz. Como objetivos específicos se estableció caracterizar el agua residual doméstica inicial y final considerando la variación de los niveles de turbidez; evaluar la eficiencia de distintas dosis del látex seco de papaína y de la semilla de *Carica papaya* L. en la remoción de turbidez; y determinar la dosis más eficiente de cada coagulante para reducir la turbidez.

Los resultados obtenidos contribuirán a ampliar el conocimiento sobre el empleo de recursos naturales como alternativas para la remoción de turbidez, proporcionando información que podrá servir de base para futuras investigaciones relacionadas con el tratamiento de aguas residuales.

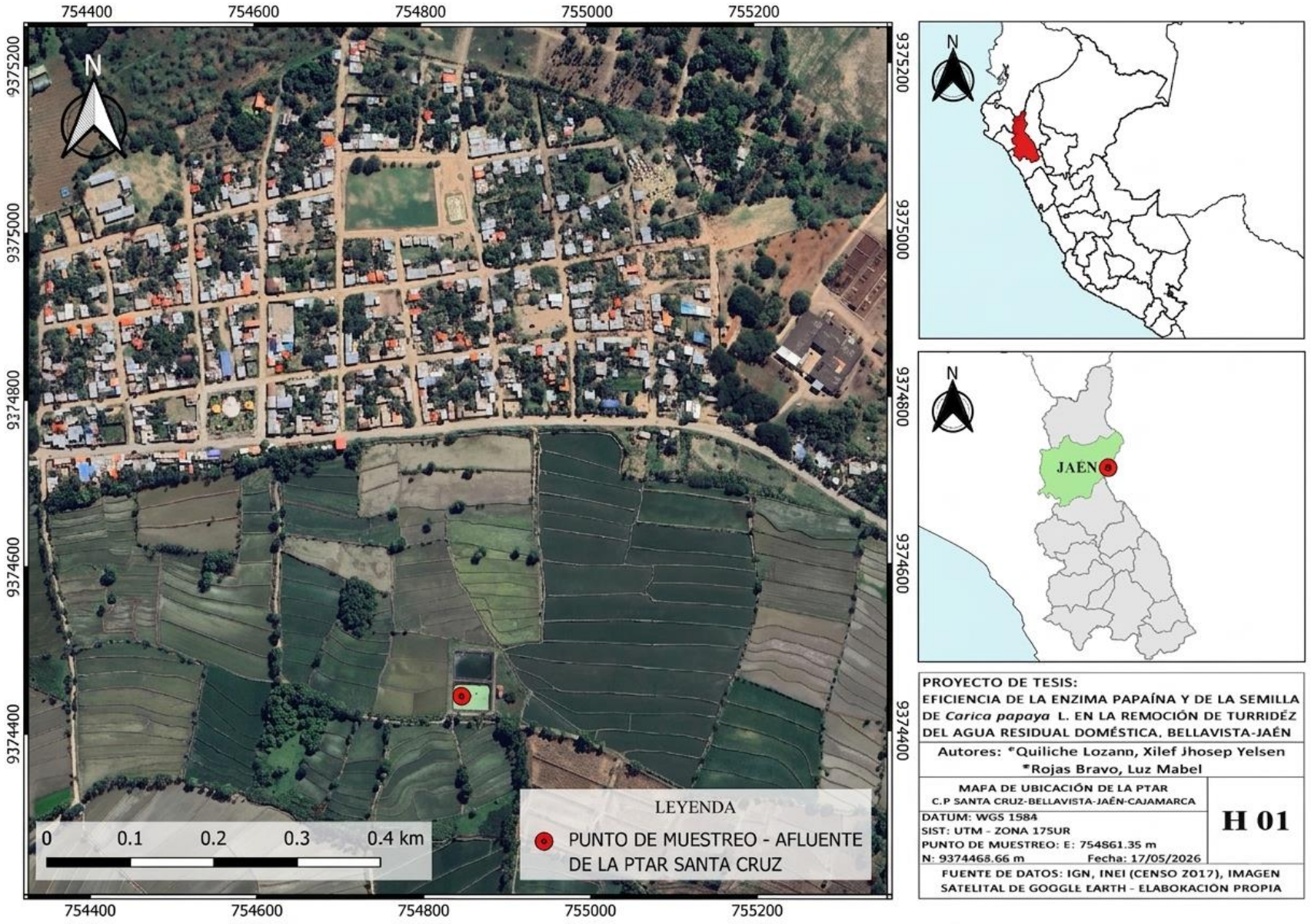
II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del área del estudio

La investigación se realizó en el Centro Poblado de Santa Cruz distrito de Bellavista ubicado a una distancia de 15 km al norte de la provincia de Jaén – Cajamarca, presentando temperaturas que oscilan entre 22 y 35 °C, con coordenadas UTM de 754861.35 E 9374464.66 N, Zona 17 Sur con ubigeo 060802 y una altitud de 421 m s. n. m.

Figura 1

Mapa de ubicación de la PTAR del Centro Poblado Santa Cruz – Bellavista.



2.2. Población, muestra, muestreo

La población de estudio estuvo conformada por el afluente doméstico generado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Centro Poblado Santa Cruz, ubicada en el distrito de Bellavista, provincia de Jaén.

La muestra estuvo constituida por 24 L de agua residual doméstica, recolectada directamente del ingreso del agua residual de la PTAR y trasladada al laboratorio para su procesamiento experimental. El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia, debido a que la muestra fue obtenida en un punto accesible afluente, considerando las condiciones adecuadas de recolección, preservación y transporte para mantener sus características fisicoquímicas.

Para el desarrollo de los ensayos experimentales mediante la prueba de jarras (Jar Test), se utilizaron unidades experimentales de 1 L**.** Del volumen total recolectado, 18 L fueron destinados a la evaluación de los tratamientos con coagulantes naturales, correspondientes al látex seco de papaína y la semilla de *Carica papaya* L., aplicados en tres dosis (100, 250 y 500 mg/L) con tres repeticiones por tratamiento. Los 6 L restantes se emplearon como unidades control (T0) durante las seis corridas experimentales, sin adición de coagulante, permitiendo registrar el comportamiento del agua residual y determinar los parámetros fisicoquímicos antes y después del procedimiento experimental, utilizándose como referencia para la comparación con los tratamientos evaluados.

La recolección, preservación y transporte de las muestras se realizaron conforme a los lineamientos establecidos en la Resolución Ministerial Nº273-2013-VIVIENDA y la Resolución Jefatural Nº010-2016-ANA.

2.3. Metodología

El estudio se desarrolló bajo un diseño experimental completamente al azar. Se evaluó el efecto de tres dosis de aplicación (100, 250 y 500 mg/L) sobre la reducción de la turbidez del agua residual doméstica utilizando dos coagulantes naturales (látex seco de papaína y semilla de *Carica papaya* L.). Cada coagulante fue evaluado de forma independiente mediante tres tratamientos correspondientes a las dosis estudiadas con tres repeticiones por tratamiento.

Asimismo, en cada ensayo mediante la prueba de jarras (Jar Test) se incluyó una unidad control (T0) sin adición de coagulante, sometida a las mismas condiciones

experimentales que las unidades tratadas. El tratamiento control se utilizó como referencia para la evaluación de la turbidez y de los parámetros fisicoquímicos del agua residual.

Los niveles de concentración fueron establecidos tomando como referencias antecedentes experimentales reportados en investigaciones relacionadas con el uso de coagulantes naturales en tratamientos de aguas residuales, donde se evidencian resultados favorables en la remoción de turbidez utilizando rangos similares de dosificación (López y Perca, 2024).

El tratamiento experimental se realizó mediante la técnica de prueba de jarras (Jar Test), simulando a escala de laboratorio los procesos de coagulación, floculación y sedimentación utilizados en el tratamiento de aguas residuales (Bratby, 2016). Para ello, cada unidad experimental fue sometida a condiciones controladas de agitación rápida, agitación lenta y sedimentación, con el propósito de favorecer la formación y precipitación de flóculos

El uso de coagulantes naturales se fundamenta en mecanismos fisicoquímicos como neutralización de cargas, adsorción y formación de puentes interparticulares, favoreciendo la agregación y sedimentación de partículas suspendidas presentes en el agua residual (Castellanos, 2017; Ndabigengesere y Narasiah, 1998).

Diversas investigaciones han demostrado la eficacia de los coagulantes naturales en la remoción de turbidez. Estudios recientes reportan que las semillas de *Carica papaya* L. presentan altos porcentajes de remoción, consolidándose como una alternativa eficiente frente a coagulantes químicos convencionales (López y Perca, 2024). De esta manera, investigaciones desarrolladas en diferentes contextos han evidenciado el potencial de la semilla de *Carica papaya* L. como biocoagulante para el tratamiento de aguas residuales. En el Perú, (Romero, 2024) reportó una reducción significativa de la turbidez del agua bajo condiciones controladas, mientras que (Vezar et al., 2024) evaluaron el uso de semillas de *Carica papaya* L. como biocoagulantes en aguas residuales de lavandería.

Durante el desarrollo experimental se controlaron variables como volumen de muestra, pH inicial, temperatura y condiciones de agitación, para garantizar la reproducibilidad y validez de los resultados obtenidos, siguiendo los lineamientos establecidos por (APHA, 2017).

2.3.1. Recolección del agua residual doméstica

El agua residual doméstica fue recolectada de la PTAR del centro poblado Santa Cruz, con una cantidad de 24 L de agua no tratada.

La recolección se realizó utilizando recipientes previamente esterilizados, evitando la contaminación externa y la alteración de las características fisicoquímicas de la muestra. Asimismo, el transporte al laboratorio se efectuó bajo condiciones adecuadas para preservar su integridad, siguiendo los lineamientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes (R.M. Nº273-2013-VIVIENDA).

2.3.2. Obtención y preparación del látex seco de papaína de *Carica papaya* L.

Para efectos de la presente investigación, se denominó látex seco de papaína al material obtenido a partir del látex de frutos verdes de Carica papaya L., el cual fue sometido a un proceso de secado, trituración y tamizado antes de su aplicación en los ensayos experimentales. Para su obtención, se utilizaron frutos verdes de Carica papaya L., recolectados en horas de la mañana, periodo en el cual se favorece una mayor exudación de látex debido a la actividad fisiológica de la planta (Monti et al., 2000; Baeza et al., 1990).

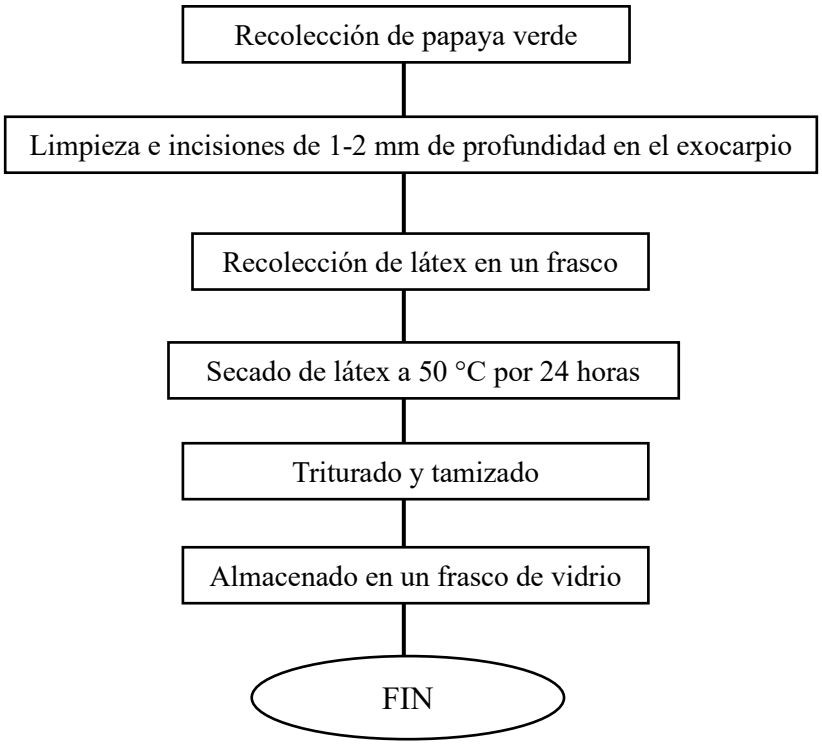
Previo a la extracción, la superficie de los frutos fue limpiada mediante fricción suave utilizando un paño húmedo limpio, con la finalidad de remover impurezas superficiales sin alterar la integridad del exocarpio. Durante este procedimiento se emplearon guantes de protección para evitar la contaminación de la muestra.

Posteriormente, se realizaron dos a tres incisiones verticales superficiales de 1 a 2 mm de profundidad en el exocarpio, utilizando un cuchillo de acero inoxidable, lo que permitió la liberación del látex lechoso. El látex fue recolectado directamente en frascos de vidrio limpios, evitando su contaminación.

El material recolectado fue trasladado al laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén, donde se realizó el secado en horno a 50 °C durante 24 horas. Posteriormente, el látex seco de papaína fue triturado empleando un mortero con pistilo y tamizado hasta obtener un polvo fino homogéneo. Finalmente, el producto fue almacenado en recipientes herméticos a temperatura ambiente, protegido de la humedad y la luz hasta su utilización en los ensayos experimentales.

Figura 2

Diagrama de Preparación de polvo de látex seco de papaína de Carica papaya L.



2.3.3. Obtención y preparación de polvo de semilla de *Carica papaya* L.

Para la obtención del coagulante a partir de semillas, se recolectaron frutos maduros de *Carica papaya* L. del mercado local, en un promedio de cinco unidades. Los frutos fueron trasladados al laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén para su procesamiento.

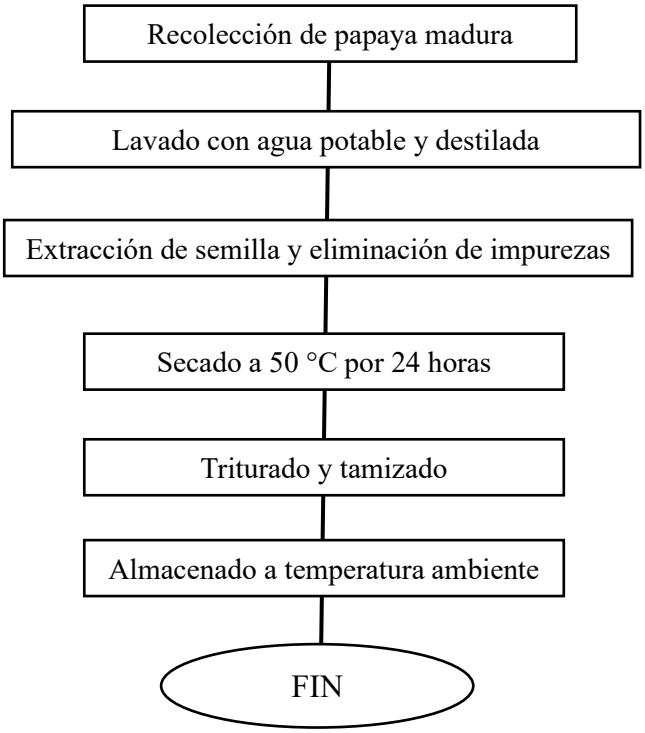
Inicialmente, los frutos fueron lavados con agua potable y posteriormente enjuagados con agua destilada para eliminar impurezas superficiales. Durante el procedimiento se utilizaron guantes de protección y un cuchillo de acero inoxidable para evitar la contaminación de la muestra.

Las semillas fueron extraídas manualmente, separadas de la pulpa y lavadas para eliminar los residuos adheridos. Posteriormente, se colocaron en una bandeja de aluminio y se sometieron a secado en una estufa a 50 °C durante 24 horas.

Una vez secas, las semillas fueron trituradas utilizando un mortero con pistilo y tamizadas mediante un tamiz metálico de laboratorio, con el propósito de obtener un polvo de granulometría homogénea. Finalmente, el polvo obtenido fue almacenado en un frasco de vidrio hermético, a temperatura ambiente, protegido de la humedad hasta su utilización en los ensayos experimentales.

Figura 3

Diagrama de Preparación de polvo de semilla de Carica papaya L.



2.3.4. Caracterización inicial y final del agua residual doméstica

La caracterización fisicoquímica del agua residual se realizó tomando como referencia los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo (R.M. Nº273-2013-VIVIENDA).

Se realizó la caracterización fisicoquímica del agua residual doméstica recolectada en la PTAR del Centro Poblado Santa Cruz, distrito de Bellavista.

Se evaluaron los parámetros pH, conductividad eléctrica, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales (SDT) los cuales permiten establecer el estado inicial del afluente y valores finales de dichos parámetros posteriores a la aplicación del tratamiento, con el fin de evaluar las variaciones generadas.

Procedimiento

- La muestra de agua residual doméstica fue recolectada directamente del ingreso de la PTAR utilizando un recipiente previamente esterilizado, con la finalidad de evitar contaminación externa y alteración de los parámetros fisicoquímicos.
- Durante la recolección, el recipiente fue llenado cuidadosamente, evitando la formación de burbujas y el contacto con superficies externas, y cerrado herméticamente.
- La muestra fue trasladada al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, manteniendo condiciones adecuadas para preservar sus características.
- Se utilizó un equipo multiparámetro portátil marca WTW, previamente calibrado, para la medición de la conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, y temperatura.
- El sensor del equipo multiparámetro fue introducido directamente sobre un vaso precipitado de un litro de agua residual, evitando la formación de burbujas de aire, y se esperó la estabilización de las lecturas antes de registrar los valores correspondientes.
- Se utilizó un pH-metro previamente calibrado. El electrodo fue introducido directamente en la muestra de agua residual y se esperó la estabilización de la lectura antes de registrar el valor obtenido.
- Para la medición de la turbidez, se utilizó un turbidímetro portátil marca WTW, modelo TurB 430T, previamente calibrado con estándares de turbidez. Para cada medición se utilizaron 20 mL de muestra en una cubeta limpia y seca, verificando la ausencia de burbujas e impurezas externas antes de efectuar la lectura.
- Las mediciones iniciales se realizaron sobre la muestra de agua residual sin tratamiento. Las mediciones finales se efectuaron sobre el sobrenadante obtenido después de los ensayos de coagulación-floculación y sedimentación, siguiendo el mismo procedimiento de medición descrito para cada parámetro.

2.3.5. Evaluación de la eficiencia de distintas dosis de látex seco de papaína y semilla de *Carica papaya* L.

La evaluación de la eficiencia de los coagulantes naturales se realizó mediante ensayos de coagulación-floculación empleando la técnica de prueba de jarras (Jar Test) con la

finalidad de determinar la eficiencia de remoción de turbidez del agua residual doméstica.

Se trabajó con dos materiales coagulantes: látex seco de papaína de *Carica papaya* L. y polvo de semilla de *Carica papaya* L. aplicados en dosis de 100, 250 y 500 mg/L, incluyendo un tratamiento control sin adición de coagulante. Cada tratamiento fue evaluado por triplicado, utilizando unidades experimentales de 1 L de muestra previamente homogenizada.

Aplicación de los coagulantes naturales

Para la dosificación de los coagulantes, las cantidades correspondientes de coagulante de semilla y de papaína de *Carica papaya* L. fueron pesadas en una balanza analítica, considerando las concentraciones experimentales de 100, 250 y 500 mg/L. Posteriormente, cada dosis fue agregada directamente a los vasos precipitados que contenían el agua residual doméstica, asegurando su adecuada dispersión mediante el proceso de agitación realizado durante el ensayo de jarras.

Prueba de jarras (Jar Test)

La prueba de jarras se realizó utilizando un equipo de agitación múltiple, con el objetivo de simular a escala de laboratorio el proceso de coagulación–floculación en el tratamiento de agua residual doméstica (Diaz Aliaga, 2019). Para cada ensayo se emplearon cuatro vasos precipitados de 1000 mL de capacidad.

El equipo fue programado estableciendo condiciones controladas de velocidad y tiempo para cada etapa del proceso. Una vez adicionadas las dosis correspondientes de los coagulantes, se puso en marcha el equipo, desarrollándose el proceso en tres etapas:

- **Coagulación**

  Se aplicó una agitación rápida a 200 rpm durante 1 minuto, con la finalidad de dispersar homogéneamente el coagulante en el agua residual doméstica y promover la desestabilización de las partículas coloidales responsables de la turbidez.

- **Floculación**

  Posteriormente, se redujo la velocidad de agitación a 40 rpm durante 15 minutos, favoreciendo la agregación de partículas desestabilizadas y la formación de flóculos de mayor tamaño y peso.

- **Sedimentación**

  Finalizada la agitación, las muestras se dejaron en reposo durante 30 minutos, permitiendo la sedimentación de los flóculos formados y la obtención de un sobrenadante clarificado.

  Estos mecanismos son ampliamente reconocidos como procesos clave en la remoción de turbidez y sólidos suspendidos en aguas residuales (Bratby, 2016).

Concluido el periodo de sedimentación, se tomó cuidadosamente el sobrenadante de la parte superior de cada vaso, aproximadamente a la altura correspondiente a 800 mL, evitando perturbar el material sedimentado. Posteriormente, se transfirieron 20 mL de sobrenadante a la cubeta del turbidímetro para determinar inmediatamente la turbidez residual. Las cubetas fueron limpiadas y secadas antes de cada lectura.

Los ensayos se realizaron primero con látex seco de papaína, evaluando las dosis de 100, 250 y 500 mg/L, y posteriormente con la semilla de *Carica papaya* L. bajo las mismas condiciones experimentales, con la finalidad de evitar la contaminación cruzada entre ambos materiales.

El sobrenadante obtenido después de la sedimentación también fue utilizado para la determinación de los parámetros fisicoquímicos finales, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado de caracterización fisicoquímica.

Determinación de la eficiencia de remoción

Posterior al proceso de sedimentación, se extrajo una muestra para la medición de la turbidez final mediante un turbidímetro previamente calibrado. Los resultados fueron comparados con la turbidez inicial del agua residual doméstica.

La eficiencia de remoción de turbidez se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{(T_i - T_f)}{T_i} * 100$$

Donde:

R = Eficiencia de Remoción (%)

(Ti) = Turbidez inicial (NTU)

(Tf) = Turbidez final (NTU)

Este indicador es ampliamente utilizado en estudios de tratamiento de agua para cuantificar la capacidad de remoción de contaminantes, permitiendo comparar la eficiencia relativa de diferentes coagulantes y condiciones experimentales (APHA, 2017).

2.3.6. Determinación de la dosis más eficaz de cada coagulante

Se determinó la dosis más eficaz de cada coagulante (látex seco de papaína de *Carica papaya* L. y semilla de *Carica papaya* L.) a partir de los resultados en los ensayos de coagulación-floculación, considerando como criterio principal la mayor eficacia de remoción de turbidez.

Para cada tipo de coagulante, se compararon las eficiencias de remoción correspondientes a las dosis evaluadas (100, 250 y 500 mg/L) tomando como referencia los valores de turbidez inicial del agua residual. En este sentido, la eficacia de cada tratamiento fue determinada en función de la reducción de la turbidez respecto a su valor inicial.

Finalmente, se consideró como dosis más eficaz de las evaluadas, aquella que presentó la mayor capacidad de remoción de turbidez y consistencia en los resultados experimentales.

2.3.7. Análisis de datos

Los datos obtenidos durante la fase experimental fueron registrados en Microsoft Excel y posteriormente procesados mediante el software IBM SPSS Statistics versión 29.0. Se calcularon medidas descriptivas para cada dosis y coagulante.

Posteriormente, se verificó el cumplimiento de los supuestos estadísticos mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Una vez comprobados dichos supuestos, se aplicó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) por separado para cada coagulante natural, con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre las dosis evaluadas.

Finalmente, cuando el ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (HSD), con la finalidad de identificar las diferencias entre las medias de las dosis evaluadas y determinar la concentración más eficiente en la reducción de la turbidez del agua residual doméstica.

III. RESULTADOS

3.1. Caracterización inicial y final de los parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica

La Tabla 1 presenta la caracterización inicial y final de los parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica correspondiente al tratamiento control (T0) conformado por seis unidades experimentales, el cual no recibió adición de coagulante y fue sometido a las mismas condiciones experimentales de agitación y sedimentación. Inicialmente, el agua residual presentó un pH de 6,87, una conductividad eléctrica de 798,16 µS/cm, una temperatura de 25,4 °C, una turbidez de 121,56 NTU y una concentración de sólidos disueltos totales (SDT) de 533,33 mg/L.

Al finalizar el procedimiento experimental, el pH presentó un incremento de 6,87 a 7,16, mientras que la conductividad eléctrica disminuyó ligeramente de 798,16 a 793,16 µS/cm. La temperatura también mostró una variación mínima, pasando de 25,4 a 25,1 °C, lo que evidencia una relativa estabilidad de este parámetro durante el ensayo.

La turbidez presentó la mayor variación entre los parámetros evaluados, disminuyendo de 121,56 a 79,05 NTU después del periodo de sedimentación. Debido a que esta reducción se produjo en ausencia de coagulante, puede relacionarse con la separación gravitacional de parte de las partículas suspendidas durante el tiempo de reposo. Por ello, el comportamiento observado en el control constituye una referencia importante para interpretar posteriormente la reducción de turbidez registrada en los tratamientos con látex seco de papaína y semilla de *Carica papaya* L.

En cuanto a los SDT, se registró una ligera disminución de 533,33 a 531,66 mg/L, equivalente a una variación de 1,64 mg/L. En conjunto, los resultados muestran que el procedimiento experimental produjo variaciones en los parámetros evaluados aun sin la incorporación de coagulantes, siendo la turbidez el parámetro que presentó el cambio más marcado. Estos valores se consideran como referencia de las condiciones iniciales y finales del agua residual para el análisis de los tratamientos posteriores.

Tabla 1

Caracterización inicial y final de los parámetros fisicoquímicos

Parámetros	Unidad	Inicial	Final
pH		6,87	7,16
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	798,16	793,16
Temperatura	°C	25,40	25,10
Turbidez	NTU	121,56	79,05
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/L	533,33	531,66

Nota

Los valores corresponden a las mediciones iniciales y finales del agua residual doméstica. SDT: sólidos disueltos totales; NTU: unidades nefelométricas de turbidez; µS/cm: microsiemens por centímetro; °C: grados Celsius.

3.1.1. Variación de la turbidez inicial y final según dosis de coagulante

La Tabla 2 presenta los valores de turbidez inicial y final promedios obtenidos después de la aplicación de las diferentes dosis de látex seco de papaína y semilla de *Carica papaya* L. El valor promedio inicial de turbidez fue de 121,56 NTU. Con látex seco de papaína, la turbidez final promedio fue de 53,00 NTU a 100 mg/L, 42,10 NTU a 250 mg/L y 36,00 NTU a 500 mg/L. En el tratamiento con semilla de *Carica papaya* L., se registraron valores finales promedio de 46,57, 32,90 y 29,23 NTU para las dosis de 100, 250 y 500 mg/L, respectivamente.

Asimismo, en ambos tratamientos se encontró una disminución progresiva de la turbidez final conforme aumentó la dosis aplicada. Respecto al valor inicial de 121,56 NTU, los valores finales obtenidos muestran una reducción del parámetro en las tres dosis evaluadas para cada coagulante. Estos resultados describen la variación de la turbidez bajo las condiciones experimentales establecidas y constituyen la base para el análisis de los porcentajes de remoción y la evaluación estadística de las dosis.

Tabla 2

Variación de la turbidez inicial y final según dosis de coagulante

Coagulante	Dosis (mg/L)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final promedio (NTU)
Papaína	100	121,56	53,00
	250	121,56	42,10
	500	121,56	36,00
Semilla	100	121,56	46,57
	250	121,56	32,90
	500	121,56	29,23

Nota:

La turbidez inicial corresponde al valor registrado antes de la aplicación de los coagulantes. Los valores finales corresponden a las medias de las tres repeticiones realizadas para cada dosis. NTU: unidades nefelométricas de turbidez.

3.2. Evaluación de la eficiencia de distintas dosis del látex seco de papaína y la semilla de *Carica papaya* L. en la remoción de turbidez del agua residual doméstica

Con el objetivo de evaluar la eficiencia del látex seco de papaína y de la semilla de *Carica papaya* L. en la remoción de turbidez del agua residual doméstica, se aplicaron tres dosis experimentales (100, 250 y 500 mg/L) para cada muestra. La eficiencia de remoción fue determinada a partir de la turbidez final obtenida y turbidez inicial del agua residual, cuyo valor fue de 121,56 NTU. Los resultados para cada tratamiento se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Eficiencia del látex seco de papaína y semilla de Carica papaya L. *en la remoción de turbidez del agua residual doméstica*

Dosis (mg/L)	Papaína (%)	Semilla (%)
100	56,40	61,69
250	65,37	72,94
500	70,38	75,95

La Tabla 3 muestra que ambos coagulantes naturales contribuyeron a la disminución de la turbidez del agua residual doméstica, alcanzando porcentajes de remoción superiores al 50 % en todos los tratamientos evaluados.

En el látex seco de papaína, la remoción de turbidez varió entre 56,40 % y 70,38 %, mientras que la semilla de *Carica papaya* L. registró valores entre 61,69 % y 75,95 %, en ambos tratamientos se registró una tendencia creciente del porcentaje de remoción conforme aumentó la dosis aplicada**.**

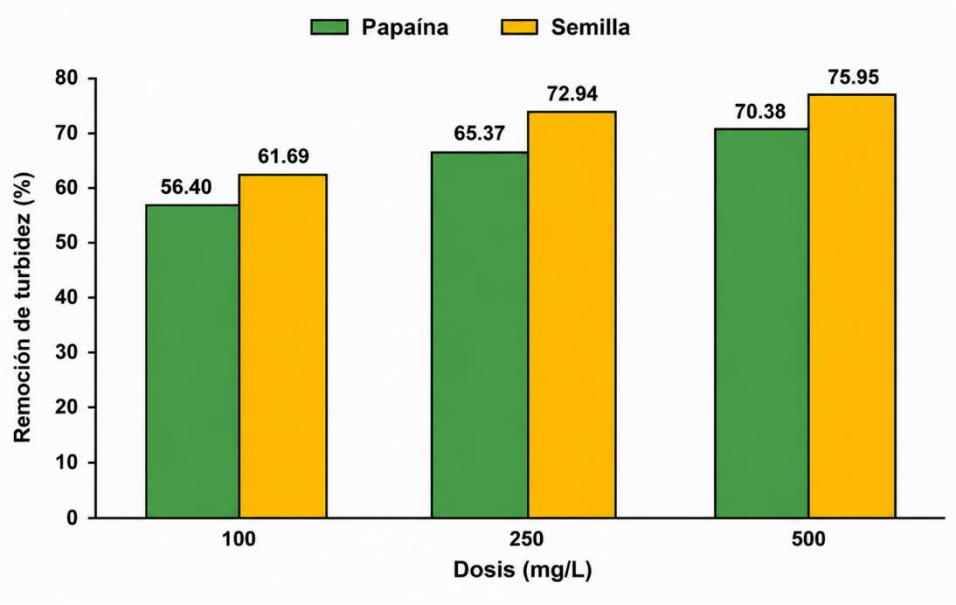
La semilla de *Carica papaya* L. presentó mayores porcentajes de remoción que el látex seco de papaína en todas las dosis evaluadas, alcanzando su mayor valor (75,95 %) a 500 mg/L. El menor porcentaje de remoción correspondió al látex seco de papaína a 100 mg/L (56,40 %).

En conjunto, los resultados muestran una variación de la turbidez asociada con las dosis aplicadas**,** observándose mayores porcentajes de remoción a medida que

aumentó la concentración de cada tratamiento. La determinación de diferencias estadísticas entre las dosis se desarrolla posteriormente mediante los análisis correspondientes.

Figura 4

Remoción de turbidez obtenido con el látex seco de papaína y la semilla de Carica papaya L.



Nota:

La eficiencia de remoción de turbidez presentó una tendencia creciente en ambos coagulantes a medida que aumentó la concentración aplicada. Asimismo, la semilla de *Carica papaya* L. alcanzó mayores resultados de remoción respecto al látex seco de papaína en las condiciones evaluadas.

3.3. Dosis más eficiente de cada coagulante para la reducción de la turbidez

Con la finalidad de determinar la dosis más eficaz de cada coagulante en la reducción de la turbidez del agua residual doméstica, se compararon los valores promedio de turbidez final obtenidos con las dosis de 100, 250 y 500 mg/L de látex seco de papaína y semilla de *Carica papaya* L. Los resultados descriptivos permitieron identificar la dosis con menor turbidez final, mientras que las pruebas estadísticas permitieron determinar si las diferencias entre las dosis fueron significativas mediante Shapiro-Wilk, Levene, análisis de varianza (ANOVA) y comparación múltiple de medias de Tukey (HSD). Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 4

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la variable turbidez con semilla de Carica papaya L.

	Dosis	Estadístico W	p-valor
Turbidez (NTU)	100	0,999	0,948
	250	0,942	0,537
	500	0,949	0,567

Nota:

Las dosis de 100, 250 y 500 mg/L presentaron distribución normal (p > 0,05) por lo que los datos fueron aptos para la aplicación de pruebas estadísticas paramétricas.

La Tabla 4 presenta los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a los datos de turbidez correspondientes a las dosis de 100, 250 y 500 mg/L de semilla de *Carica papaya* L. Los estadísticos W obtenidos fueron 0,999; 0,942 y 0,949, respectivamente, con valores de p de 0,948; 0,537 y 0,567. Estos resultados muestran un comportamiento consistente de los datos entre las tres dosis evaluadas, cumpliéndose el supuesto de normalidad para el análisis estadístico posterior.

Tabla 5

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene (α = 0,05) para la turbidez final con semilla de Carica papaya L.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
0,514	2	6	0,622

Nota:

Los valores de p > 0,05 indican que no se rechaza la hipótesis de igualdad de varianzas.

La Tabla 5 presenta los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene aplicada a los valores de turbidez correspondientes a las dosis de 100, 250 y 500 mg/L de semilla de *Carica papaya* L. Se obtuvo un estadístico de Levene de 0,514, con 2 grados de libertad y 6 grados de libertad para el error, y un valor de p de 0,622.

Tabla 6

ANOVA para la turbidez final obtenida con las dosis de semilla de Carica papaya L.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	500,66	2	250,33	398,057	<0,001
Dentro de grupos	3,77	6	0,629		
Total	504,44	8			

Nota:

F crítico (2, 6; α = 0,05) = 5,14. Como F calculado (398,057) > F crítico (5,14), se rechaza la hipótesis nula. Existen diferencias significativas entre las dosis de semilla de *Carica papaya* L. (p < 0,001).

La Tabla 6 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a los valores de turbidez final obtenidos con las dosis de 100, 250 y 500 mg/L de semilla de *Carica papaya* L. Se obtuvo una suma de cuadrados entre grupos de 500,667 y dentro de grupos de 3,773, con 2 y 6 grados de libertad, respectivamente. El estadístico F fue de 398,057, con un valor de p < 0,001.

Tabla 7

Comparación de las medias de turbidez final con semilla de Carica papaya L. *mediante la prueba de Tukey*

Dosis (mg/L) (I)	Dosis (mg/L) (J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	P-valor
100	250	13,66	0,647	<0,001
100	500	17,33	0,647	<0,001
250	500	3,67	0,647	0,003

Nota:

La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

En la tabla 7 se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre todas las dosis evaluadas de semilla de *Carica papaya* L. ($p < 0,05$). La mayor diferencia de medias se registró entre las dosis de 100 y 500 mg/L (17,33 NTU) mientras que la menor diferencia se identificó entre 250 y 500 mg/L (3,67 NTU). Estos resultados indican que el incremento de la dosis produjo una reducción significativa de la turbidez final del agua residual doméstica.

Tabla 8

Subconjuntos homogéneos de las dosis de semilla de Carica papaya L.

DOSIS (mg/L)	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2	Subconjunto 3
500	3	29,23		
250	3		32,90	
100	3			46,57

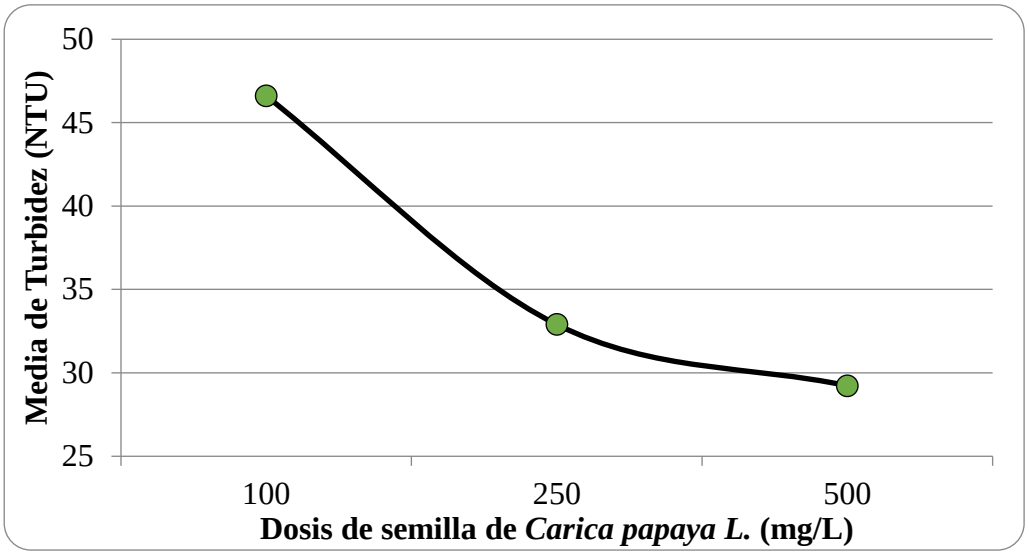
Nota:

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000

En la tabla 8 se observa los subconjuntos homogéneos muestran que cada dosis conformó un grupo independiente. La dosis de 500 mg/L presentó la menor turbidez final promedio (29,23 NTU) seguida por 250 mg/L (32,90 NTU) y 100 mg/L (46,57 NTU). Por ello, la dosis de 500 mg/L fue la más eficiente para la reducción de la turbidez del agua residual doméstica.

Figura 5

Media de la turbidez final obtenida con las dosis de semilla de Carica papaya L.



La Figura 5 evidencia una relación inversa entre la dosis de semilla de *Carica papaya* L. y la turbidez final del agua residual doméstica. Conforme aumentó la concentración del coagulante natural de 100 a 500 mg/L, la turbidez residual disminuyó de 46,57 a 29,23 NTU. Este comportamiento muestra una disminución progresiva de la turbidez final conforme aumentó la dosis aplicada. En las condiciones experimentales evaluadas, la dosis de 500 mg/L presentó el menor valor de turbidez final, evidenciando el mayor porcentaje de remoción.

Tabla 9

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (α = 0,05) para la turbidez final del agua residual doméstica con látex seco de papaína de Carica papaya L.

	Dosis	Estadístico W	p-valor
Turbidez (NTU)	100	0,915	0,433
	250	0,842	0,220
	500	0,964	0,637

Nota:

Valores de p > 0,05 indican que no se rechaza la hipótesis de normalidad.

En la tabla 9 se observan los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk mostraron valores de p superiores a 0,05 para las dosis de 100, 250 y 500 mg/L de látex seco de papaína (p = 0,433; p = 0,220 y p = 0,637, respectivamente) por lo tanto, no se rechazó la hipótesis de normalidad, indicando que los datos de turbidez correspondientes a las dosis evaluadas presentaron una distribución compatible con la normalidad.

Tabla 10

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene (α = 0,05) para la turbidez final obtenida con las dosis de látex seco de papaína de Carica papaya L.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
2,655	2	6	0,149

Nota:

Los valores de p > 0,05 indican que no se rechaza la hipótesis de igualdad de varianzas.

La tabla 10 presenta los resultados de la prueba de Levene, cuyo valor de p = 0,149, superior al nivel de significancia establecido de 0,05. Por tanto, no se rechazó la hipótesis de igualdad de varianzas, indicando que no se evidenciaron diferencias significativas entre las varianzas de los grupos correspondientes a las dosis de látex seco de papaína evaluadas.

Tabla 11

ANOVA para la turbidez final obtenida con las dosis de látex seco de papaína de Carica papaya L.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	445,020	2	222,510	246,321	<0,001
Dentro de grupos	5,420	6	0,903		
Total	450,440	8			

Nota:

F crítico (2, 6; α = 0,05) = 5,14. Valores de p < 0,05 indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dosis evaluadas.

En la tabla 11, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre las medias de turbidez correspondientes a las dosis de 100, 250 y 500 mg/L de látex seco de papaína (F = 246,321; p < 0,001). Por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias, evidenciándose que al menos una de las dosis presentó un comportamiento diferente respecto a las demás. Posteriormente, se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar entre qué dosis se presentaron diferencias significativas; los resultados se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

Comparación de las medias de turbidez final con látex seco de papaína mediante la prueba de Tukey (HSD, α = 0,05)

Dosis (mg/L) (I)	Dosis (mg/L) (J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	P-valor
100	250	10,9000	0,7760	<0,001
100	500	17,000	0,7760	<0,001
250	500	6,1000	0,7760	<0,001

Nota:

Valores de p < 0,05 indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias comparadas

En la tabla 12, se evidenciaron diferencias significativas entre todas las dosis evaluadas de látex seco de papaína (p < 0,05). La mayor diferencia de medias se registró entre las dosis de 100 y 500 mg/L (17.00 NTU), mientras que la menor diferencia se observó entre 250 y 500 mg/L (6,10 NTU). Estos resultados indican que el incremento de la dosis produjo una reducción significativa de la turbidez final del agua residual doméstica.

Tabla 13

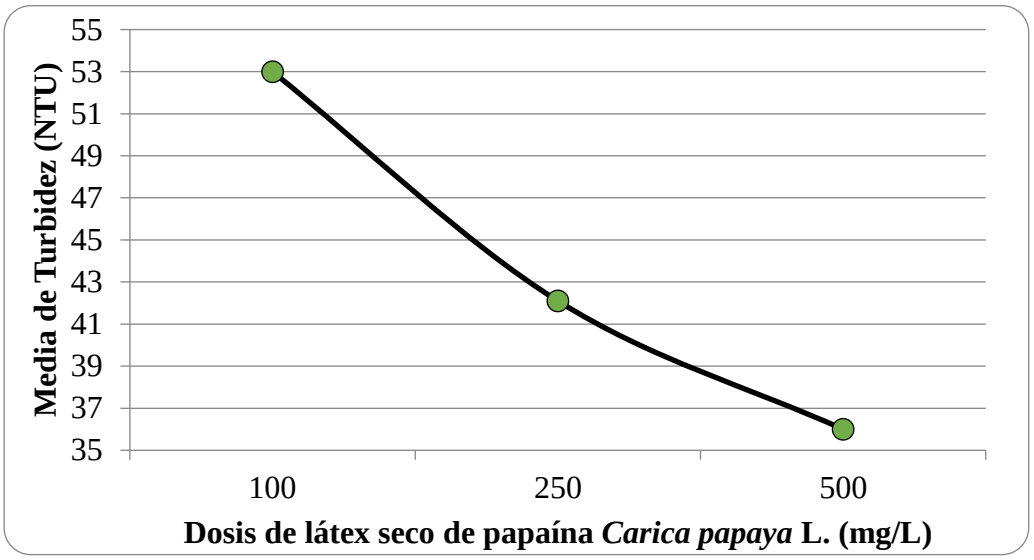
Subconjuntos homogéneos de las dosis de látex seco de papaína de Carica papaya L.

DOSIS (mg/L)	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2	Subconjunto 3
500	3	36,00		
250	3		42,10	
100	3			53,00

En la Tabla 13 se observa que las dosis de 100, 250 y 500 mg/L se ubicaron en subconjuntos diferentes, lo que coincide con las diferencias identificadas mediante la prueba de Tukey. La dosis de 500 mg/L presentó la menor turbidez promedio (36,00 NTU), seguida de 250 mg/L (42,10 NTU) y 100 mg/L (53,00 NTU).

Figura 6

Media de la turbidez final obtenida con las dosis de látex seco de papaína de Carica papaya L.



La Figura 6 presenta una relación inversa entre la dosis de látex seco de papaína y la turbidez final del agua residual doméstica. Conforme aumentó la concentración del coagulante natural de 100 a 500 mg/L, la turbidez residual disminuyó de 53,00 a 36,00 NTU. Este comportamiento muestra una disminución progresiva de la turbidez final conforme aumentó la dosis aplicada. En las condiciones experimentales evaluadas, la dosis de 500 mg/L presentó el menor valor de turbidez final, evidenciando el mayor porcentaje de remoción.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las dosis evaluadas para cada tratamiento ($p < 0,001$), de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. En ambos casos se observó un incremento del porcentaje de remoción conforme aumentó la dosis de 100 a 500 mg/L, lo que evidencia una respuesta asociada con la concentración aplicada dentro del intervalo estudiado. Según (Bratby, 2016), la dosificación constituye un factor importante en la coagulación, debido a su influencia sobre la desestabilización y agregación de las partículas presentes en el agua.

Para la semilla de *Carica papaya* L. los porcentajes de remoción fueron de 61,69 %, 72,94 % y 75,95 % para las dosis de 100, 250 y 500 mg/L, respectivamente. Estos resultados guardan relación con lo reportado por (Zelada Goicochea, 2025), quien obtuvo porcentajes de remoción de 57 % a 74 % al incrementar la dosis de 0,2 a 0,5 g/L en agua de manantial. Sin embargo, dicho autor registró una ligera disminución al utilizar 0,6 g/L, lo que indica que un incremento de la dosis no necesariamente produce una respuesta creciente de manera indefinida. Las diferencias entre ambos estudios pueden asociarse con las características del agua y las condiciones experimentales empleadas.

El comportamiento de la semilla puede relacionarse con la presencia de proteínas y otros componentes del material vegetal. (Yin, 2010), señala que los biocoagulantes de origen vegetal pueden intervenir mediante adsorción, neutralización de cargas y formación de puentes interparticulares. Estos mecanismos constituyen una posible explicación del comportamiento observado en la presente investigación, aunque no fueron determinados directamente mediante análisis específicos.

En el tratamiento con látex seco de papaína, los porcentajes de remoción fueron de 56,40 %, 65,37 % y 70,38 % para las dosis de 100, 250 y 500 mg/L, respectivamente. (Solares, 2023) también reportó una reducción de turbidez al evaluar papaína obtenida de *Carica papaya* L. en aguas residuales. Las diferencias entre ambos estudios pueden estar relacionadas con las características del agua, la preparación del material y las condiciones de operación empleadas en la prueba de jarras. Asimismo, (Tovar Colmenárez et al., 2018) reportaron actividad enzimática y estabilidad de la papaína después de su purificación; sin embargo, debido a que dicho estudio no evaluó directamente la remoción de turbidez, esta información constituye únicamente un antecedente para interpretar el comportamiento observado.

De manera descriptiva, la semilla de *Carica papaya* L. registró porcentajes de remoción superiores a los obtenidos con látex seco de papaína en las tres dosis evaluadas. A 500 mg/L se obtuvieron valores de 75,95 % y 70,38 %, respectivamente. Esta diferencia corresponde a los valores registrados experimentalmente y no debe interpretarse como una superioridad estadística entre ambos materiales, debido a que los análisis inferenciales fueron realizados de manera independiente para cada tratamiento.

El tratamiento control (T0), sin adición de coagulante, fue sometido a las mismas condiciones de agitación, floculación y sedimentación. Su inclusión permitió disponer de una referencia del comportamiento del agua residual durante el ensayo y considerar la posible contribución de la sedimentación natural. Los resultados del control se utilizaron como referencia comparativa y no fueron incluidos en el análisis estadístico inferencial de las dosis evaluadas.

La utilización de concentraciones superiores a 500 mg/L también debe interpretarse con cautela. Un incremento de la dosis no garantiza necesariamente una mayor reducción de turbidez, ya que una dosificación excesiva puede modificar las condiciones del proceso de coagulación-floculación. Entre los posibles efectos se encuentran el incremento de sólidos disueltos, la incorporación de materia orgánica residual proveniente del material vegetal, cambios en la coloración del agua, una mayor generación de lodos y, bajo determinadas condiciones, la posible reestabilización de las partículas coloidales. Por ello, la evaluación de dosis superiores a 500 mg/L podría considerarse en futuras investigaciones, pero debería acompañarse de la determinación de parámetros adicionales que permitan identificar tanto los cambios en la turbidez como posibles efectos asociados a una mayor dosificación.

Finalmente, la principal limitación del estudio fue la evaluación de la turbidez como variable principal bajo condiciones controladas de laboratorio. No se determinaron parámetros como DBO, DQO, SST, color, coliformes ni la calidad del lodo generado. En consecuencia, los resultados permiten valorar el comportamiento de los tratamientos respecto a la reducción de turbidez, pero no establecer una mejora integral del agua residual. Futuras investigaciones podrían ampliar el rango de dosis, incorporar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos adicionales y realizar ensayos a escala piloto para evaluar su posible aplicación como tratamiento complementario.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La caracterización del agua residual doméstica evidenció una turbidez inicial de 121,56 NTU, con valores de pH de 6,87, conductividad eléctrica de 798,16 µS/cm, temperatura de 25,4 °C y sólidos disueltos totales de 533,33 mg/L. Después del periodo de sedimentación, el tratamiento control presentó una turbidez de 79,05 NTU, evidenciando una reducción del parámetro aun en ausencia de coagulantes.
- La aplicación de las dosis de 100, 250 y 500 mg/L permitió evaluar la eficiencia de ambos materiales en la remoción de turbidez. El látex seco de papaína de *Carica papaya* L. alcanzó porcentajes de remoción de 56,40 %, 65,37 % y 70,38 %, respectivamente; mientras que la semilla de *Carica papaya* L. registró 61,69 %, 72,94 % y 75,95 %, respectivamente. En ambos coagulantes evaluados se observó un incremento de la remoción conforme aumentó la dosis aplicada, bajo las condiciones experimentales evaluadas.
- La dosis de 500 mg/L fue la más eficaz para cada material evaluado, al presentar la menor turbidez final promedio, con 36,00 NTU para el látex seco de papaína de *Carica papaya* L. y 29,23 NTU para la semilla de *Carica papaya* L. Las diferencias entre las dosis fueron estadísticamente significativas para ambos materiales ($p < 0,001$), confirmando que la dosis aplicada influyó significativamente en la turbidez final.

5.2. Recomendaciones

- A los futuros investigadores, se recomienda ampliar el estudio mediante diseños experimentales que permitan evaluar de manera conjunta el efecto del tipo de material coagulante y la dosis aplicada, incorporando diferentes condiciones de pH y un rango más amplio de concentraciones. Asimismo, se recomienda incluir parámetros complementarios como DBO, DQO, SST, color y coliformes, además de caracterizar el lodo generado, con la finalidad de obtener una evaluación más integral del tratamiento.
- A la Universidad Nacional de Jaén, se recomienda fortalecer e implementar los laboratorios destinados al análisis y tratamiento de aguas residuales, mediante la disponibilidad de equipos e instrumentos que permitan determinar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así como desarrollar ensayos de coagulación-floculación a escala de laboratorio y piloto.
- A la EPS Marañón S.A., y futuros investigadores, como entidad responsable de la gestión y operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales**,** se recomienda considerar la realización de pruebas piloto con el látex seco de papaína y la semilla de *Carica papaya* L. como alternativas complementarias para la reducción de la turbidez, previa evaluación de su desempeño bajo condiciones reales de operación. Asimismo, se recomienda evaluar los costos de preparación y aplicación de estos materiales, así como la cantidad y características del lodo generado, antes de considerar su incorporación al proceso de tratamiento.

VI. REFERENCIAS

Adrin, M. H. A. R., Ngadiman, N., Abdullah, N. H., Hamsani, N. N. M., Nasharuddin, N., & Omar, N. N. (2024). Effectiveness of *Carica papaya* L. dry seed as natural coagulants in wastewater treatment process. Journal of Advanced Research in Applied Mechanics, 116(1), 88–102. https://doi.org/10.37934/aram.116.1.88102

Alcántara, A. C., & Silva, D. (2023). Efficacy of natural coagulants in the treatment of domestic wastewater: A systematic review. LACCEI, 1(8), Article 8. https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.205

American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). APHA Press.

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA: Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*.

Baeza, G., Correa, D., & Salas, C. (1990). Proteolytic enzymes in *Carica candamarcensis*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 51(1), 1-9. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740510102

Bratby, J. (2016). Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment (3rd ed.). IWA Publishing. https://iwaponline.com/ebooks/book/286/Coagulation-and-Flocculation-in-Water-and

Castellanos, J. (2017). Coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales [Trabajo académico, Universidad Militar Nueva Granada].

https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/8356bb29-1467-4c39-9417-bd8ff43f4f2f/content

Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM. (2010, 17 de marzo). *Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*. Ministerio del Ambiente. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf

Díaz, E., Alvarado, A. R., & Camacho, C. K. E. (2012). Tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible. Quivera, 14(1). http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/39120

Díaz Aliaga, J. K. (2019). *Aplicación de la enzima papaína obtenida a partir de las semillas Carica papaya* L. *como coagulante natural para la remoción de turbidez en la PTAR-V.E.S.* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio Institucional UNTELS.

http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/174

Dollah, Z., Masbol, N. H., Musir, A. A., Karim, N. A., Hasan, D., & Tammy, N. J. (2021). Utilization of citrus microcarpa peels and papaya seeds as a natural coagulant. IOP Conference Series, 920(1), 012001. https://doi.org/10.1088/1755-1315/920/1/012001

FAO. (2017). Wastewater management and reuse in agriculture. https://www.fao.org/3/i1629e/i1629e.pdf

Hosseini, M. (2023). Utilización de semillas de *Carica papaya* L. como coagulantes naturales. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3176214/v1

López, K. A. CH., & Perca, K. M. B. (2024). Remoción de turbidez mediante aplicación de coagulantes naturales de papaya y pitahaya en aguas residuales. Sciencevolution, 4(12), 133-142. https://doi.org/10.61325/ser.v4i12.138

Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. L. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education. https://www.accessengineeringlibrary.com/

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). *Resolución Ministerial N.º 273-2013-VIVIENDA: Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.* https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/23087/RM-273-2013-VIVIENDA.pdf

Monti, R., Basilio, C. A., Trevisan, H. C., & Contiero, J. (2000). Purification of papain from fresh latex of *Carica papaya* L. *Brazilian Archives of Biology and Technology, 43*(5), 501–507. https://doi.org/10.1590/S1516-89132000000500009

Ndabigengesere, A., & Narasiah, K. S. (1998). Quality of water treated using *Moringa oleifera* seeds. Water Research, 32(3), 781–791. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00295-9

OEFA. (2014). Problemática ambiental por déficit de tratamiento de aguas residuales. https://www.gob.pe/institucion/oefa/noticias/20794

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los*

recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso desaprovechado. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/

Romero, J. M. (2024). Eficiencia del coagulante de la semilla de papaya en la disminución de turbidez en el tratamiento de agua para consumo humano [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú. http://hdl.handle.net/20.500.12894/10867

Solares, A. N. (2023). Evaluación de la enzima papaína extraída de la cáscara de papaya (*Carica papaya* L.) como coagulante natural a nivel laboratorio, en el tratamiento de aguas residuales de una industria embotelladora de agua carbonatada [Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional de la Universidad de San Carlos de Guatemala. http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/18282

SUNASS. (2022). Tratamiento de aguas residuales en el Perú. https://www.gob.pe/sunass

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.

Tovar Colmenárez, Y., Ávila de Hernández, R., Pire Sierra, M. C., & González Ortíz, M. T. (2018). Purificación de la papaína del látex de la lechosa y cuantificación de la actividad enzimática. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente,* *2*(11), 43–59. https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/1800

Vezar, S. A. N., Belinda, Z. T., Rendana, M., Agustina, T. E., Nasir, S., Hanum, L., & Andarini, D. (2024). The use of *Carica papaya* L. seeds as bio coagulant for

laundry wastewater treatment. *Journal of Engineering and Applied Science, 71*, 99. https://doi.org/10.1186/s44147-024-00438-2

Yin, C. Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water treatment. Process Biochemistry, 45(9), 1437–1444. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030.

Zelada Goicochea, C. R. (2025). *Eficiencia de la semilla de papaya (Carica papaya* L.*) como coagulante en la remoción de turbidez y coliformes termotolerantes del agua del manantial "La Ciénega" del centro poblado de Queruaysana, Celendín-2024* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. http://hdl.handle.net/20.500.14074/8369

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia para alcanzar esta meta.

A mis padres y hermana, por su amor, apoyo incondicional y por ser mi mayor motivación para seguir adelante. Este logro también es de ustedes.

Y a mí misma, por no rendirme ante las dificultades, por cada esfuerzo y por haber creído en mí hasta lograr culminar esta importante etapa de mí vida.

Luz Mabel Rojas Bravo

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza, perseverancia y confianza para no rendirme y seguir adelante cada día.

A mi padre, que desde el cielo siempre me acompaña; a mi madre, por nunca dudar de mí y estar a mi lado durante estos cinco años; y a mi hermano, por quien deseo que nunca desista en el camino hacia sus propias metas.

Y a mí mismo, por cada esfuerzo, por superar las dificultades y, sobre todo, por haber creído en mí hasta culminar esta importante etapa de mi vida.

Xilef Jhosep Yelsen Quiliche Lozano

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Jaén, por haber sido parte fundamental de mi formación académica y profesional.

A mis asesores, Dr. Cirilo Mamani Caira y el Dr. Persi Vera Zelada, por su acompañamiento, orientación y recomendaciones, que fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Asimismo, agradezco al Laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental y al Centro de análisis en Suelos y Agua CEASA, por el apoyo y las facilidades brindadas durante la realización de la etapa experimental.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que estuvieron presentes durante este proceso y que, con su apoyo y colaboración, contribuyeron de alguna manera a la culminación de este trabajo.

VII. ANEXOS

Anexo 1

Datos iniciales de los parámetros fisicoquímicos y sus promedios

Turbidez (NTU)	SDT (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	T (°C)
132	534	798	6,95	25,4
120,56	535	801	6,90	25,3
122,60	534	798	6,78	25,5
119	533	799	6,86	25,3
116,5	534	798	6,85	25,5
118,7	530	795	6,88	25,4
121,56	533,33	798,16	6,87	25,4

Nota:

Los valores corresponden a las mediciones iniciales del agua residual doméstica. SDT: sólidos disueltos totales; NTU: unidades nefelométricas de turbidez; µS/cm: microsiemens por centímetro; °C: grados Celsius.

Anexo 2

Datos finales de los parámetros fisicoquímicos y sus promedios

Turbidez (NTU)	SDT (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	T (°C)
95.7	530	797	6.88	25.1
82	534	795	6.97	25.2
76.4	531	793	6.93	25.1
67	530	796	6.98	25.3
73.2	534	793	7.8	25.4
80	531	785	7.4	24.5
79.05	531.66	793.16	7.16	25.1

Nota:

Los valores corresponden a las mediciones finales del agua residual doméstica. SDT: sólidos disueltos totales; NTU: unidades nefelométricas de turbidez; µS/cm: microsiemens por centímetro; °C: grados Celsius

Anexo 3

Datos de turbidez final (NTU) obtenidos de látex seco de papaína de Carica papaya L.

Dosis (mg/L)	T1	T2	T3	Promedio (NTU)
100	53.3	52	53.7	53
250	41.5	41.2	43.6	42.1
500	36.5	35.6	35.9	36

Anexo 4

Datos de turbidez final (NTU) obtenidos de semilla de Carica papaya L.

Dosis (mg/L)	T1	T2	T3	Promedio (NTU)
100	46.6	45.5	47.6	46.57
250	32.3	33.7	32.7	32.9
500	29.8	28.8	29.1	29.23

Anexo 5

Solicitud de autorización a la EPS Marañón S.A.

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

EPS. MARANÓN S.A.
RECEPCIÓN
07 MAY. 2026
REG. N°. 46751 HORA: 2:34
FOLIOS: 01 FIRMA:

Jaén, 07 de mayo de 2026

Señor:

Max Recalde Salas
Gerente General de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Marañón S.A. (EPS Marañón)

Asunto: Solicitud de autorización para la ejecución de estudio de investigación

De mi consideración:

Por medio de la presente me dirijo a usted para saludarlo cordialmente y, a la vez, solicitar la autorización para realizar el desarrollo del estudio de investigación en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del centro poblado Santa Cruz, Distrito de Bellavista, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, administrada por la EPS Marañón S.A.

El presente estudio forma parte del desarrollo de mi tesis titulada **"Eficieneia de la enzima papaina y de la semilla de *Carica papaya* L. en la remoción de turbidez del agua residual doméstica, Bellavista-Jaén"**, con la cual optaré el título profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental en la Universidad Nacional de Jaén.

El objetivo de la investigación es evaluar la eficiencia de la enzima papaina y de la semilla de *Carica papaya* L. como coagulantes naturales en la remoción de la turbidez del agua residual doméstica. Para ello, será necesario realizar la toma de muestras de agua residual en la PTAR de Santa Cruz y efectuar los análisis correspondientes en laboratorio, de acuerdo con la metodología establecida para la investigación.

Las actividades se desarrollarán respetando las normas de seguridad, los procedimientos internos y las disposiciones establecidas por la EPS Marañón S.A., procurando en todo momento no inferferir con el funcionamiento normal de la planta. Asimismo, la información obtenida será utilizada exclusivamente con fines académicos y de investigación.

Por lo expuesto, agradeccré se me autorice el ingreso a las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del centro poblado Santa Cruz para realizar la recolección de muestras y las actividades de investigación correspondientes, brindándome las facilidades necesarias para el desarrollo del estudio.

Sin otro particular, agradezco de antemano la atención prestada a la presente y quedo a su disposición para brindar cualquier información adicional que considere pertinente.

Atentamente,

Xilef Jhosep Yelsen Quiliche Lozano
DNI: 73894524
Cel 946844121

Anexo 6

Solicitud de uso de equipos de laboratorio del centro de análisis en suelos y agua

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia" (D.S. N.°011-2026-PCM)"

ASUNTO: SOLICITUD DE AUTORIZACION PARA ÉJECUCIÓN DE TESIS

SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA USO DEL EQUIPO (Tubimetro)

Señor:
Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres
Vicepresidenta de Investigación de la UNJ
Universidad Nacional de Jaén

Atención:
Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Director de los centros de producción de Bienes y Servicios
Universidad Nacional de Jaén

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
SSCRETARDA GERERAL
UNIDAR TRAMITX TIOUUBEKTAINO
RECIBIDO
JAÉN, 01 JUN 2026
1294604 01
Reg. N° ..... Folios: .....
Hora 15:31 PM Firma: .....

ASUNTO: SOLICITO USO DEL LABORATORIO DEL CENTRO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

Yo, **Xilef Jhosep Yelsen Quiliche Lozano**, identificada con DNI N.° **73894524**, en calidad de tesista de la Universidad Nacional de Jaén, de la Escuela profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, con el proyecto **"EFICACIA DE ENZIMA PAPAÍNA Y SEMILLA DE *Carica papaya* L. SOBRE LA TURBIDEZ DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA BELLAVISTA-JAÉN"** aprobado mediante Resolución N°1023-2025-UNJ y con el apoyo del asesor Dr. Cirilo Mario Caira Mamani, me presento ante usted con el debido respeto para solicitar autorización para el uso del Centro de Análisis en Suelos y Aguas o Centro de Análisis Espectrofotométrico y sus equipos(s): Turbimetro, el cual será utilizado en el marco de la presente tesis en la fecha 01 y 02 de junio del 2026.

Declaro bajo juramento que el uso del laboratorio y sus equipos será exclusivamente con fines académicos, para el desarrollo de prácticas, tesis o investigaciones autorizadas por la Universidad Nacional de Jaén. Me comprometo a no emplear los resoltados obtenidos con fines comerciales, ni emitir informes o resultados de ensayo a titulo personal.

Adjunto a la presente la copia de la resolución aprobatoria de la tesis según corresponda. Por lo expuesto, solicito se autorice el uso del laboratorio CEASA o equipo(s) del CEASA garantizando que serán empleades únicamente con fines académicos.

Atentamente,

Jaén 01 de junio del 2026

XILEF J. YELSEN QUILICHE LOZANO
946844121

CIRILO CAIRA MAMANI

Anexo 7

Cadena de custodia de muestra de agua residual doméstica

CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

1. DATOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

Título de la investigación	Eficiencia de la enzima papaína y de la semilla de Carica Papaya L. en la remoción de...
Lugar de muestreo	PTAR del Centro Poblado Santa Cruz, Bellavista - Jaén.
Tipo de muestra	Agua residual doméstica.
Volumen recolectado	24 L.
Punto de muestreo	Afluente de la PTAR.
Responsable del muestreo	Mabel Rojas Bravo - Yelsen Quiliche Lozano.

2. IDENTIFICACIÓN Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

Código de muestra	Fecha y hora de muestreo	Fecha y hora de recepción	Condiciones de transporte
M-01.	02/06/26 - 08:15 am	02/06/26 - 13:30 am	Motocicleta

3. PARÁMETROS Y DESTINO DE LA MUESTRA

Parámetro	Resultados	Tipo de análisis	Observaciones
Turbidez (NTU)	—	Medición experimental	En laboratorio
pH	—	Medición experimental	En laboratorio
Oxígeno disuelto (ppm)	—	Medición experimental	En laboratorio
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	—	Medición experimental	En laboratorio
Conductividad eléctrica (µS/cm)	—	Medición experimental	En laboratorio.
Temperatura °C	—	Medición experimental	En laboratorio.

4. REGISTRO DE TRANSFERENCIA Y CUSTODIA

Etapa	Fecha y hora	Responsable	Firma / conformidad
Recolección de la muestra	02/06/26 - 8:15 am	Yelsen Quiliche	
Entrega / transporte	02/06/26 - 8:35 am	Yelsen Quiliche/Mabel R.	
Recepción de la muestra	02/06/26 - 8:50 am	Ludvin	
Inicio del análisis	02/06/26 - 11:30 am	Ludvin	

5. OBSERVACIONES

La muestra fue destinada a la evaluación experimental mediante prueba de jarras para determinar la remoción de Turbidez con papaina y semilla de Carica papaya L.

Anexo 8

Resultados del centro de analisis en suelos y agua

Centro de Análisis en Suelos
y Aguas - CEASA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

INFORME DE ENSAYO

CEASA N°000260605-EL-08

Emitido en Jaén, el 05 de Junio del 2026

Nombre del solicitante	:	Xilef J. Quiliche Lozano
Muestreado por	:	Solicitante
Número de muestras / Cantidad	:	24 muestras / 1 L
Producto declarado	:	Agua
Servicio solicitado	:	Turbidez
Condiciones de recepción	:	En aparente buen estado
Fecha de recepción	:	02 de junio del 2026
Fecha de Inicio de Ensayo	:	02 de junio del 2026
Fecha de término de Ensayo	:	02 de junio del 2026

Resultados

PARÁMETROS FÍSICOS YE AGREGACIÓN				
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTRA	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
M1	Pa1-100g-1	Método 2130 B; APHA, AWWA, WEF	UNT	95.7
	Pa1-100g-2			53.3
	Pa1-100g-3			52
	Pa1-100g-4			53.7
M2	Pa2-250g-1	Método 2130 B; APHA, AWWA, WEF	UNT	82
	Pa2-250g-2			41.5
	Pa2-250g-3			41.2
	Pa2-250g-4			43.6
M3	Pa3-500g-1	Método 2130 B; APHA, AWWA, WEF	UNT	76.4
	Pa3-500g-2			36.5
	Pa3-500g-3			35.6
	Pa3-500g-4			35.9
M4	S1-100G-1	Método 2130 B; APHA, AWWA, WEF	UNT	67
	S1-100G-2			46.6
	S1-100G-3			45.5
	S1-100G-4			47.6
M5	S2-250G-1	Método 2130 B; APHA, AWWA, WEF	UNT	73.2
	S2-250G-2			32.3
	S2-250G-3			33.7
	S2-250G-4			32.7
M6	S3-500-1	Método 2130 B; APHA, AWWA, WEF	UNT	80
	S3-500-2			29.8
	S3-500-3			28.8
	S3-500-4			29.1

CONTACTO 957100653 / 944840879
EMAIL ceasa@unj.edu.pe
DIRECCIÓN Carretera Jaén - San Ignacio Km 24 Sector Yonátyacu
REDES SOCIALES www.unj.edu.pe

Anexo 9

Resultados del programa IBM SPSS de la semilla

Notas

Salida creada		12-AUG-2026 10:27:08
Comentarios		
Entrada	Conjunto de datos activo	ConjuntoDatos0
	Filtro	<ninguno>
	Ponderación	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	9
Manejo de valores perdidos	Definición de perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario para variables dependientes se tratan como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos se basan en casos sin valores perdidos para ninguna de la variable dependiente o factor utilizado.
Sintaxis		EXAMINE VARIABLES=Turbidez BY Dosis /PLOT BOXPLOT NPPLOT /COMPARE GROUPS /STATISTICS DESCRIPTIVES /CINTERVAL 95 /MISSING LISTWISE /NOTOTAL.
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:03.13
	Tiempo transcurrido	00:00:00.86

[ConjuntoDatos0]

Semilla (mg/L)

Resumen de procesamiento de casos

		Casos	
		Total	
	Dosis de semilla (mg/L)	N	Porcentaje
Turbidez final (NTU)	100	3	100.0 %
	250	3	100.0 %
	500	3	100.0 %

Resumen de procesamiento de casos

		Válido		Perdidos	
	Dosis de semilla (mg/L)	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Turbidez final (NTU)	100	3	100.0%	0	0.0%
	250	3	100.0%	0	0.0%
	500	3	100.0%	0	0.0%

Descriptivos

	Dosis de semilla (mg/L)			Estadístico	Error estándar
Turbidez final (NTU)	100	Media		46.567	.6064
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	43.957	
			Límite superior	49.176	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		46.600	
		Varianza		1.103	
		Desv. estándar		1.0504	
		Mínimo		45.5	
		Máximo		47.6	
		Rango		2.1	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-.143	1.225
		Curtosis		.	.
	250	Media		32.900	.4163
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	31.109	
			Límite superior	34.691	

		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		32.700	
		Varianza		.520	
		Desv. estándar		.7211	
		Mínimo		32.3	
		Máximo		33.7	
		Rango		1.4	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		1.152	1.225
		Curtosis		.	.
	500	Media		29.233	.2963
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	27.959	
			Límite superior	30.508	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		29.100	

Descriptivos

Dosis de semilla (mg/L)		Estadístico	Error estándar
	Varianza	.263	
	Desv. estándar	.5132	
	Mínimo	28.8	
	Máximo	29.8	
	Rango	1.0	
	Rango intercuartil	.	
	Asimetría	1.090	1.225
	Curtosis	.	.

Pruebas de normalidad

	Dosis de semilla (mg/L)	Kolmogorov-Smirnov[a] Estadístico	gl	Sig.	Shapiro-Wilk Estadístico
Turbidez final (NTU)	100	.179	3	.	.999
	250	.276	3	.	.942
	500	.269	3	.	.949

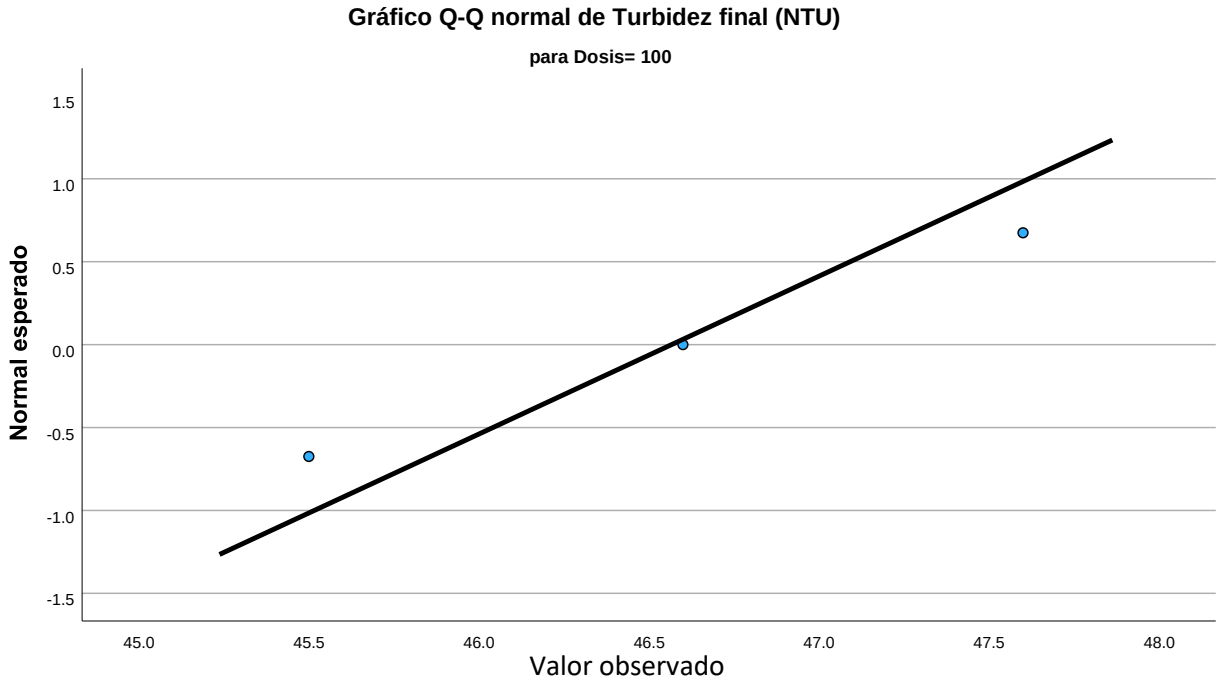
Pruebas de normalidad

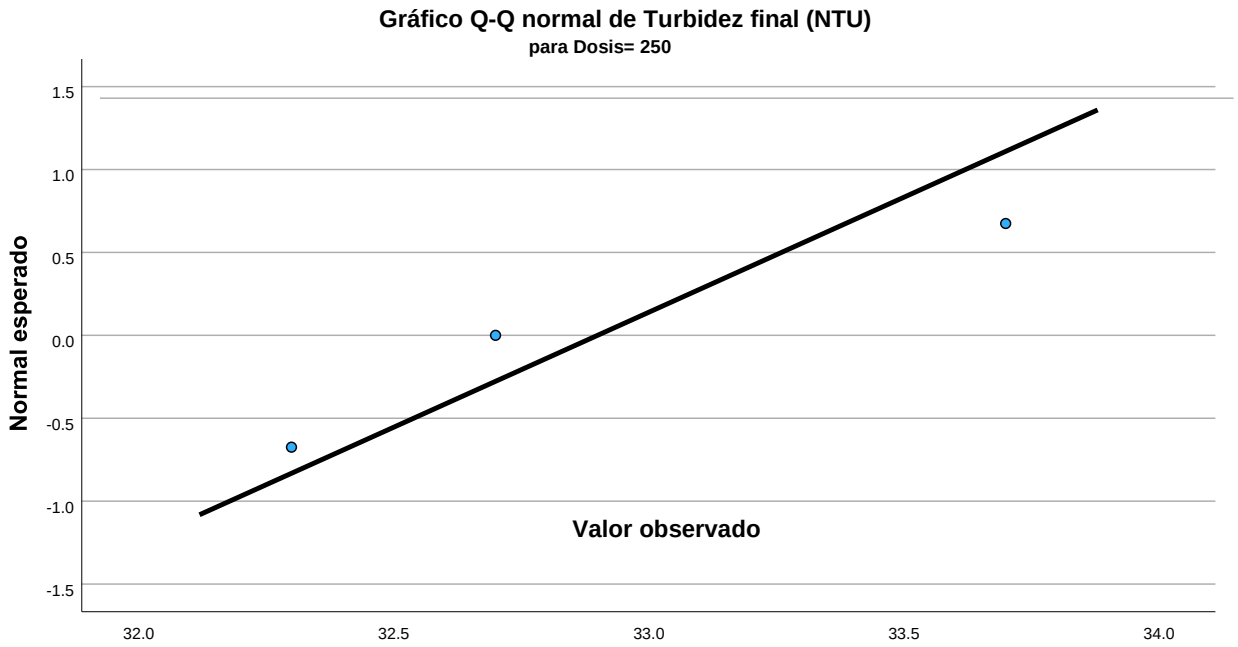
	Dosis de semilla (mg/L)	Shapiro-Wilk gl	Sig.
Turbidez final (NTU)	100	3	.948
	250	3	.537
	500	3	.567

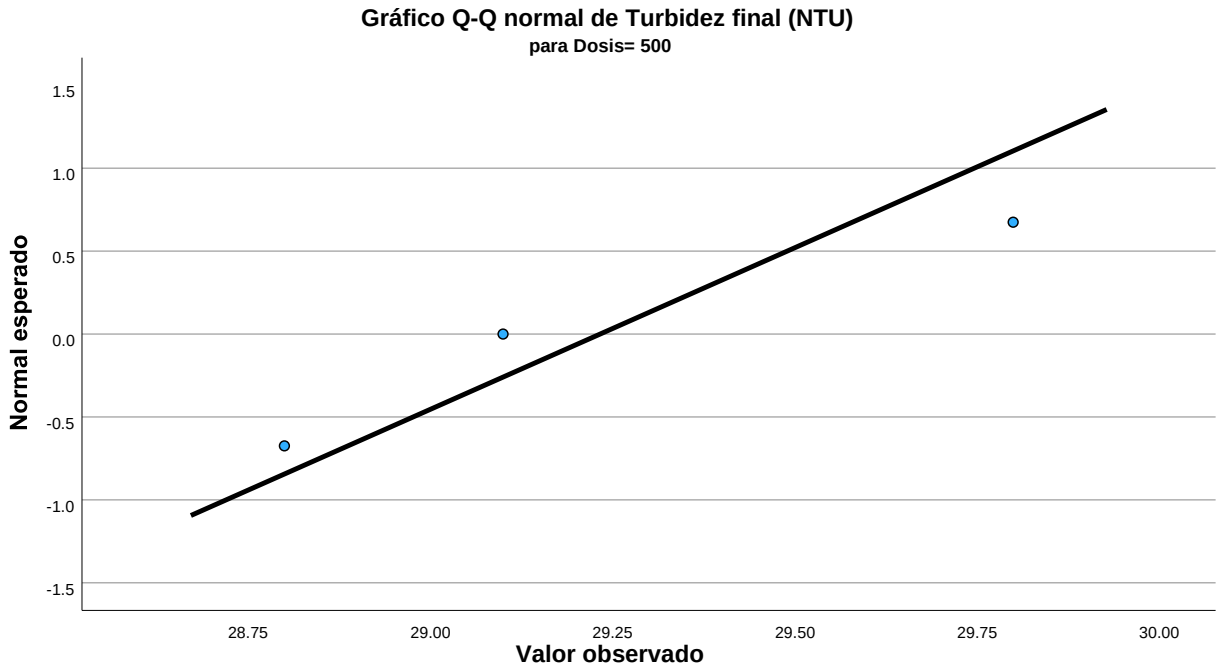
a. Corrección de significación de Lilliefors

Turbidez final (NTU)

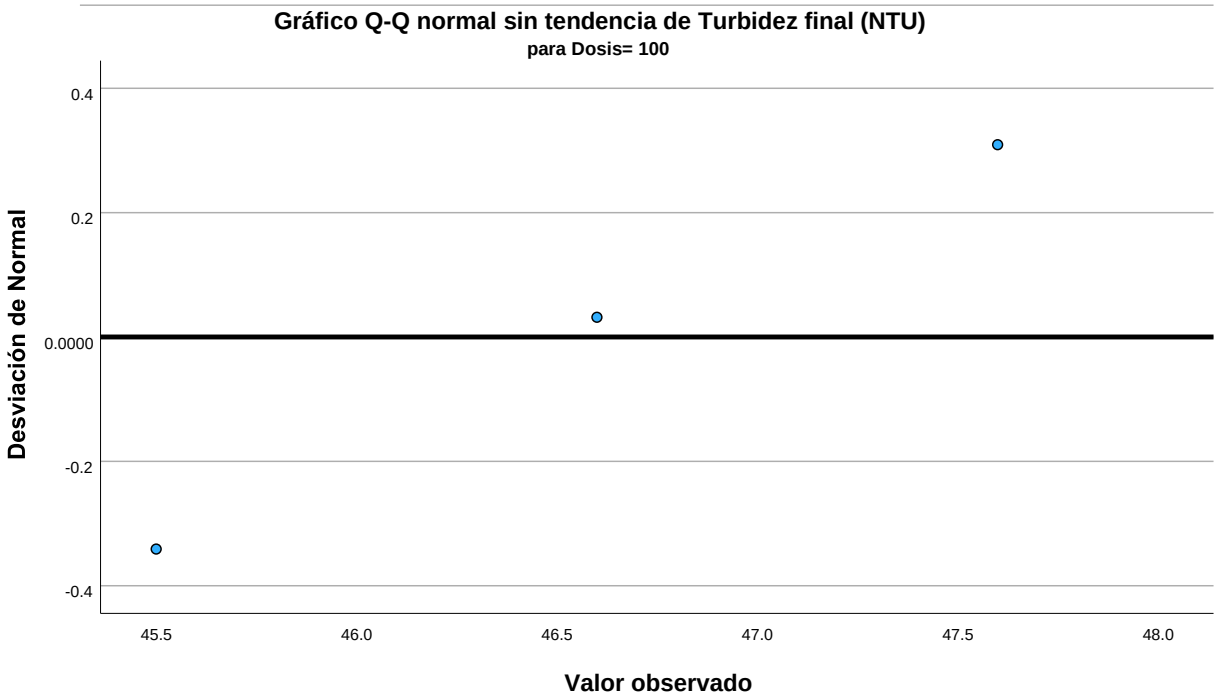
Gráficos Q-Q normales

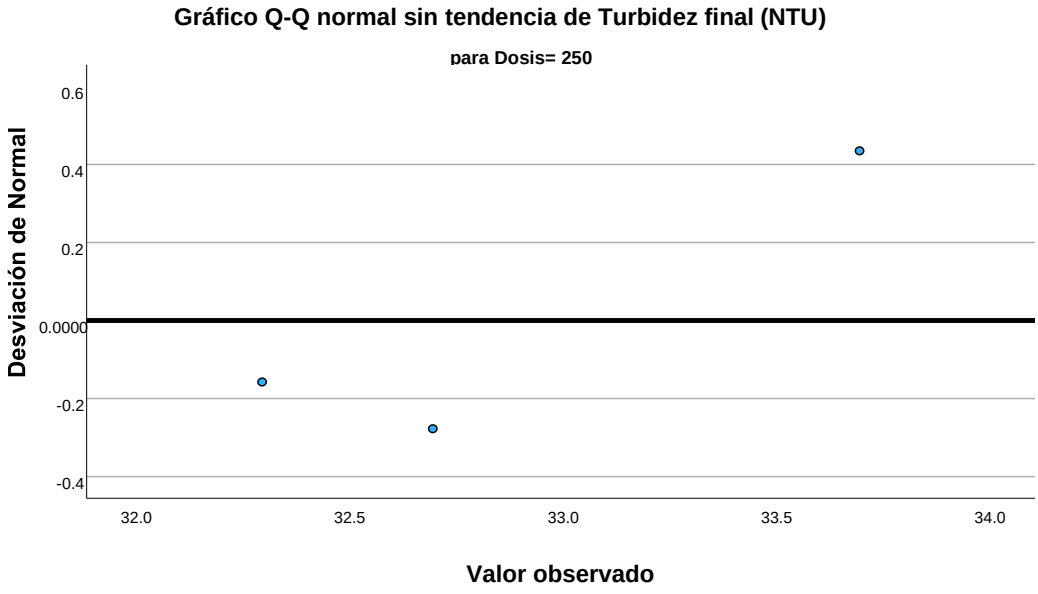


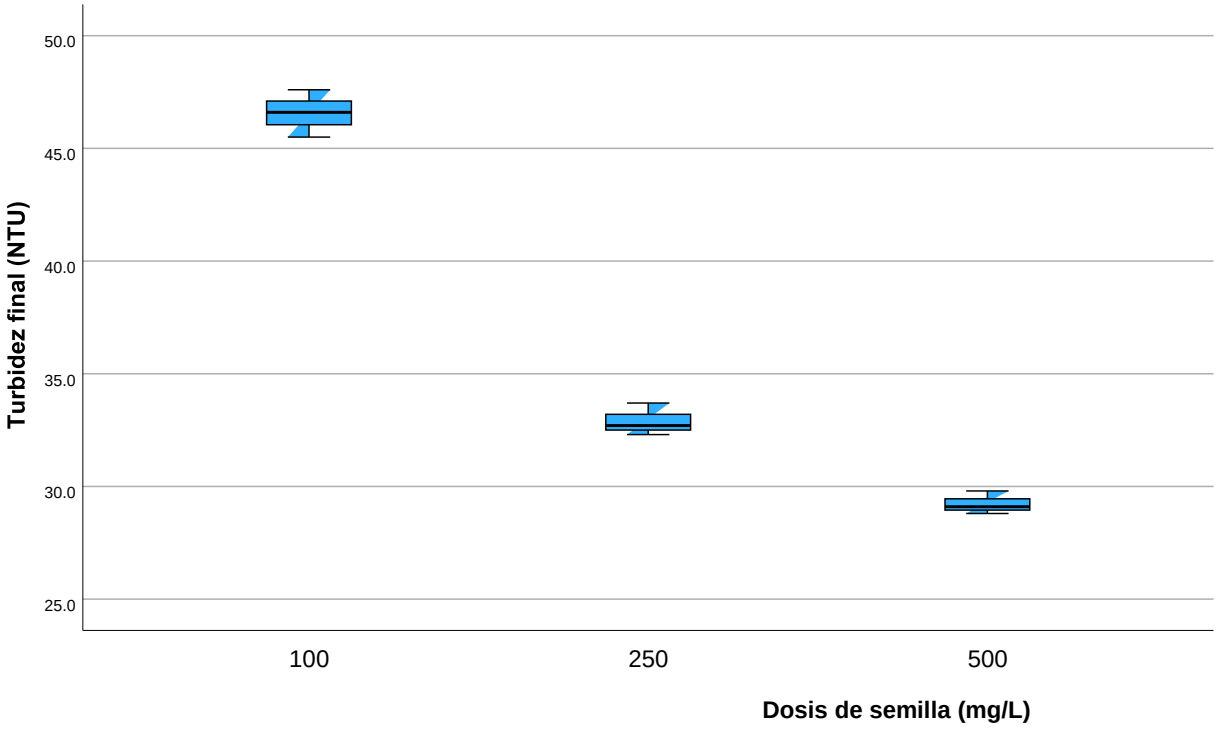

Gráfico Q-Q normal de Turbidez final (NTU)
para Dosis= 250
Normal esperado
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
-1.5
Valor observado
32.0
32.5
33.0
33.5
34.0


Gráfico Q-Q normal de Turbidez final (NTU)
para Dosis= 500
Normal esperado
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
-1.5
Valor observado
28.75
29.00
29.25
29.50
29.75
30.00

Gráficos Q-Q normales sin tendencia







Unidireccional

Notas

Salida creada		12-AUG-2026 10:32:56
Comentarios		
Entrada	Conjunto de datos activo	ConjuntoDatos0
	Filtro	<ninguno>
	Ponderación	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	9
Manejo de valores perdidos	Definición de perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario se tratan como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos para cada análisis se basan en casos sin datos perdidos para cualquier variable del análisis.

Notas

Sintaxis		ONEWAY Turbidez BY Dosis /ES=OVERALL /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY /PLOT MEANS /MISSING ANALYSIS /CRITERIA=CILEVEL (0.95) /POSTHOC=TUKEY ALPHA(0.05).
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:00.14
	Tiempo transcurrido	00:00:00.08

Descriptivos

Turbidez final (NTU)

	N	Media	Desv. estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
100	3	46.567	1.0504	.6064	43.957	49.176
250	3	32.900	.7211	.4163	31.109	34.691
500	3	29.233	.5132	.2963	27.959	30.508
Total	9	36.233	7.9407	2.6469	30.130	42.337

Descriptivos

Turbidez final (NTU)

	Mínimo	Máximo
100	45.5	47.6
250	32.3	33.7
500	28.8	29.8
Total	28.8	47.6

Pruebas de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Turbidez final (NTU)	Se basa en la media	.514	2	6	.622
	Se basa en la mediana	.415	2	6	.678
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	.415	2	5.155	.680
	Se basa en la media recortada	.509	2	6	.625

ANOVA

Turbidez final (NTU)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	500.667	2	250.333	398.057	<.001
Dentro de grupos	3.773	6	.629		
Total	504.440	8			

Tamaños de efecto ANOVA[a]

		Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95% Inferior	Superior
Turbidez final (NTU)	Eta cuadrado	.993	.947	.995
	Epsilon cuadrado	.990	.929	.994
	Omega cuadrado efecto fijo	.989	.921	.993
	Omega cuadrado efecto aleatorio	.978	.853	.986

a. Eta cuadrado y Epsilon cuadrado se estiman basándose en el modelo de efecto fijo.

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Turbidez final (NTU)

HSD Tukey

(I) Dosis de semilla (mg/L)	(J) Dosis de semilla (mg/L)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
100	250	13.6667*	.6475	<.001
	500	17.3333*	.6475	<.001
250	100	-13.6667*	.6475	<.001
	500	3.6667*	.6475	.003
500	100	-17.3333*	.6475	<.001
	250	-3.6667*	.6475	.003

Comparaciones multiples

Variable dependiente: Turbidez final (NTU)

HSD Tukey

(I) Dosis de semilla (mg/L)	(J) Dosis de semilla (mg/L)	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
100	250	11.680	15.653
	500	15.347	19.320
250	100	-15.653	-11.680
	500	1.680	5.653
500	100	-19.320	-15.347
	250	-5.653	-1.680

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Subconjuntos homogéneos

Turbidez final (NTU)

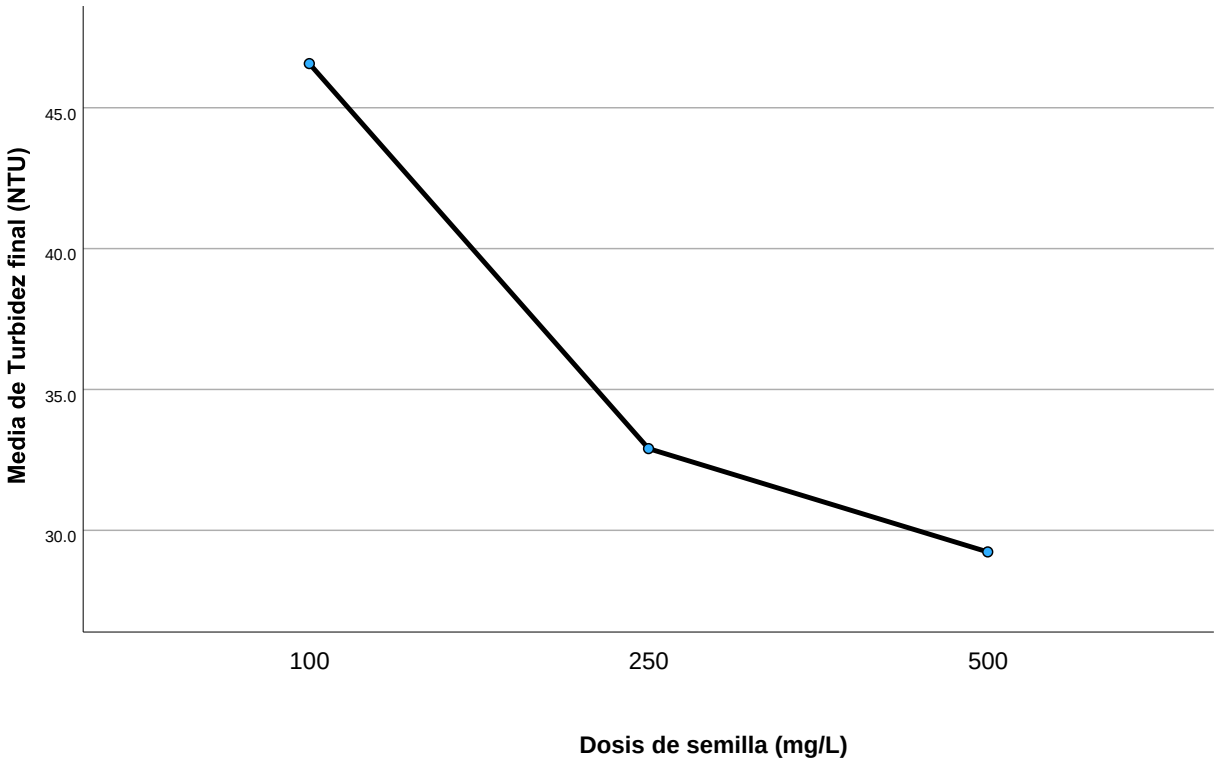
HSD Tukey[a]

Dosis de semilla (mg/L)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
500	3	29.233		
250	3		32.900	
100	3			46.567
Sig.		1.000	1.000	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

Gráficos de medias



ANEXO 10

Resultados del programa IBM SPSS de Papaína

Salida creada		12-AUG-2026 10:48:13
Comentarios		
Entrada	Conjunto de datos activo	ConjuntoDatos0
	Filtro	<ninguno>
	Ponderación	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	9
Manejo de valores perdidos	Definición de perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario para variables dependientes se tratan como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos se basan en casos sin valores perdidos para ninguna de la variable dependiente o factor utilizado.
Sintaxis		EXAMINE VARIABLES=Turbidez BY Dosis /PLOT BOXPLOT NPPLOT /COMPARE GROUPS /STATISTICS DESCRIPTIVES /CINTERVAL 95 /MISSING LISTWISE /NOTOTAL.
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:03.31
	Tiempo transcurrido	00:00:00.89

ConjuntoDatos0]

Dosis de Papaína (mg/L)

Resumen de procesamiento de casos

Casos			Válido		Perdidos	
	Dosis de Papaína (mg/L)	N	Porcentaje		NPorcentaje	
Turbidez Final (NTU)	100	3	100.0%		0	0.0%
	250	3	100.0%		0	0.0%
	500	3	100.0%		0	0.0%

Resumen de procesamiento de casos

		Casos	
		Total	
	Dosis de Papaína (mg/L)	N	Porcentaje
Turbidez Final (NTU)	100	3	100.0%
	250	3	100.0%
	500	3	100.0%

Descriptivos

	Dosis de Papaína (mg/L)			Estadístico	Error estándar
Turbidez Final (NTU)	100	Media		53.000	.5132
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	50.792	
			Límite superior	55.208	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		53.300	
		Varianza		.790	
		Desv. estándar		.8888	
		Mínimo		52.0	
		Máximo		53.7	
		Rango		1.7	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-1.346	1.225
		Curtosis		.	.
	250	Media		42.100	.7550
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	38.852	
			Límite superior	45.348	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		41.500	
		Varianza		1.710	
		Desv. estándar		1.3077	
		Mínimo		41.2	
		Máximo		43.6	
		Rango		2.4	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		1.630	1.225
		Curtosis		.	.
	500	Media		36.000	.2646
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	34.862	
			Límite superior	37.138	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		35.900	

Dosis de Papaína (mg/L)		Estadístico	Error estándar
Varianza		.210	
Desv. estándar		.4583	
Mínimo		35.6	
Máximo		36.5	
Rango		.9	
Rango intercuartil		.	
Asimetría		.935	1.225
Curtosis		.	.

Pruebas de normalidad

		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk	
	Dosis de Papaína (mg/L)	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	
Turbidez Final (NTU)	100	.299	3	-	.915	
	250	.343	3	-	.842	
	500	.253	3	-	.964	

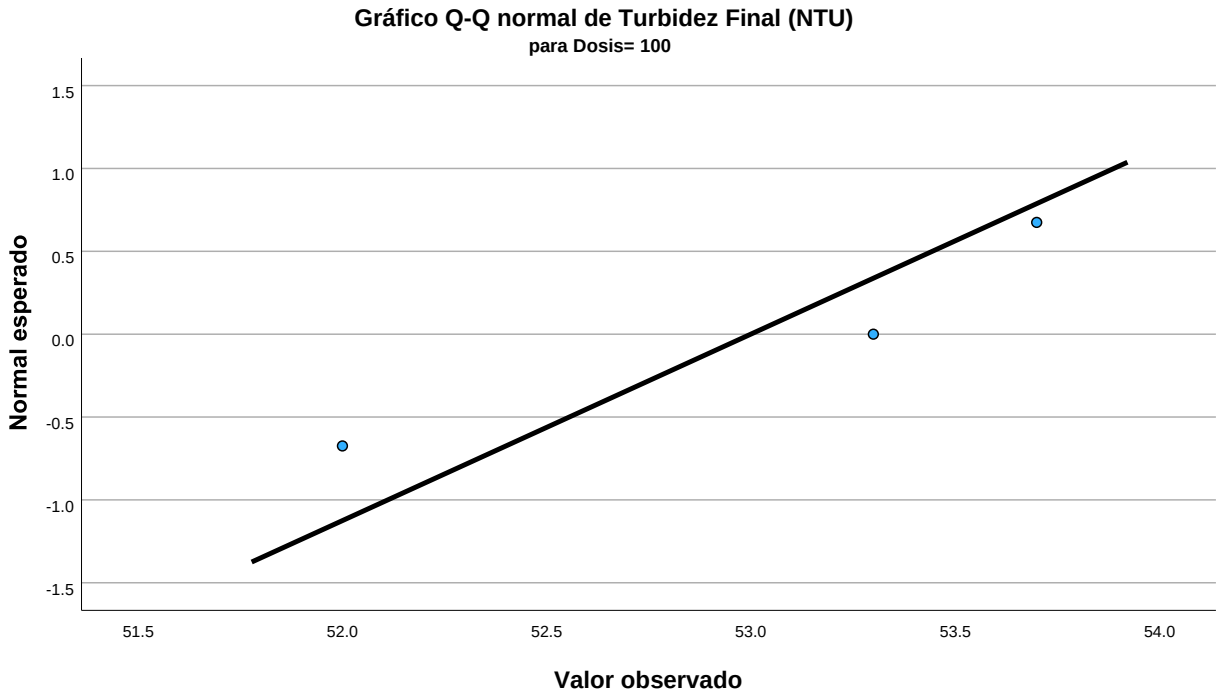
Pruebas de normalidad

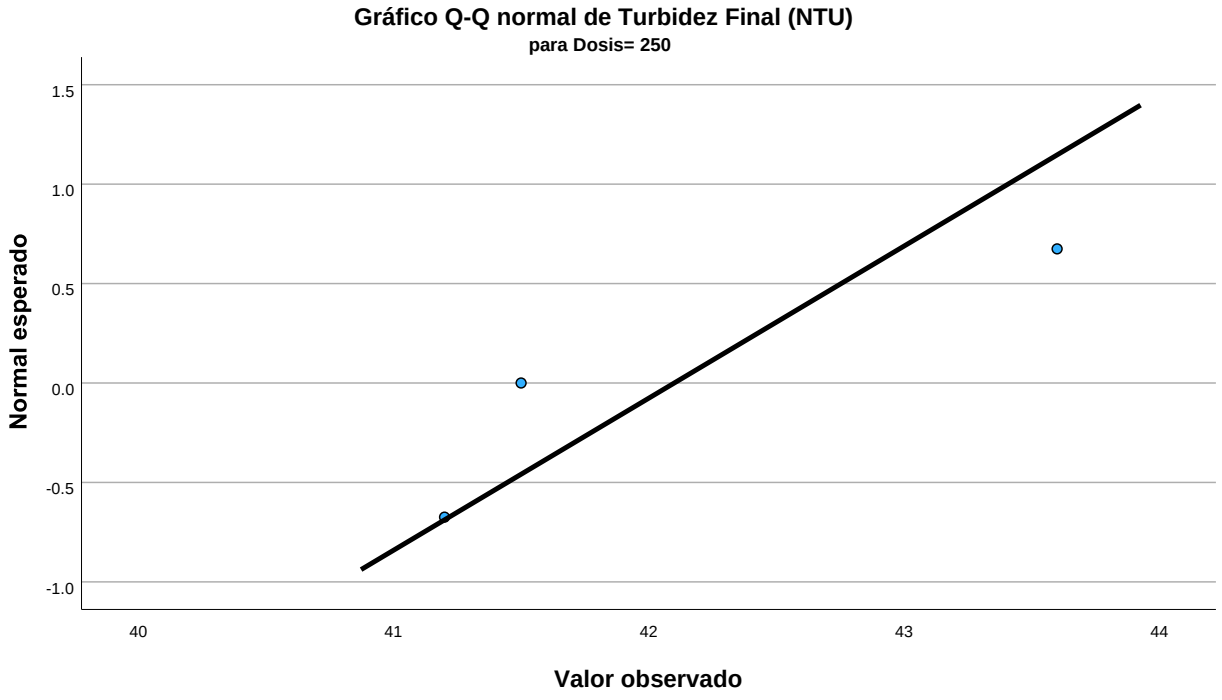
		Shapiro-Wilk	
	Dosis de Papaína (mg/L)	gl	Sig.
Turbidez Final (NTU)	100	3	.433
	250	3	.220
	500	3	.637

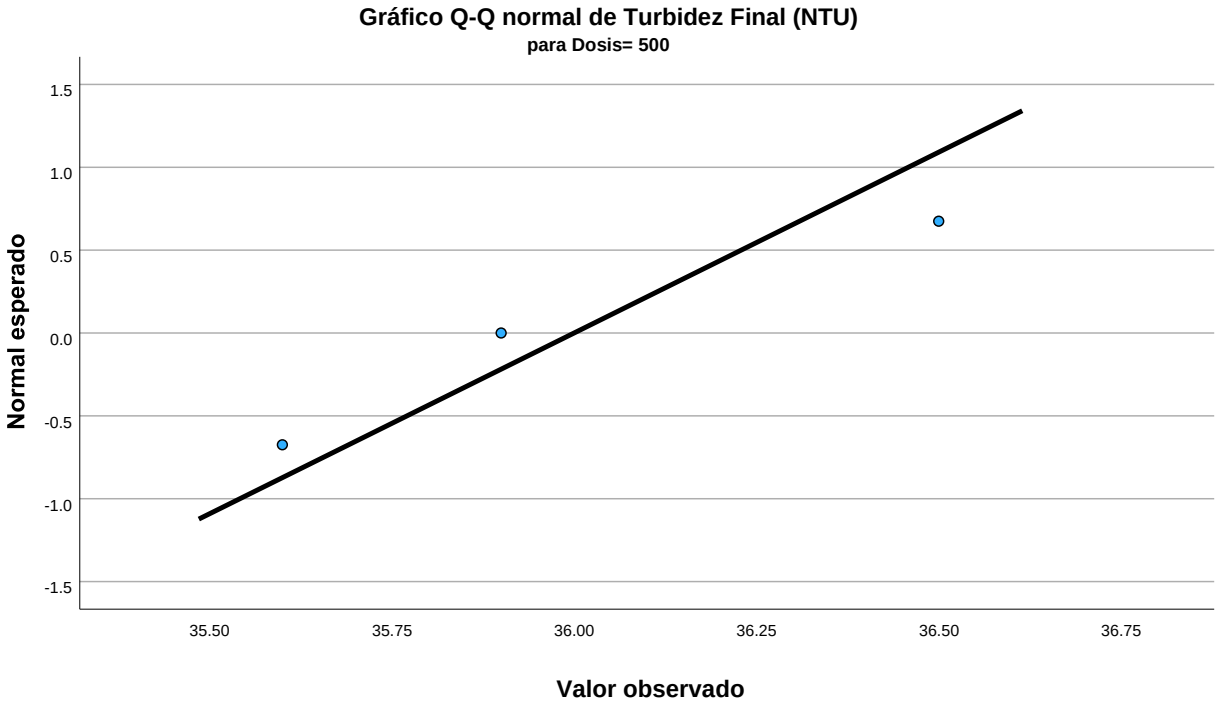
a. Corrección de significación de Lilliefors

Turbidez Final (NTU)

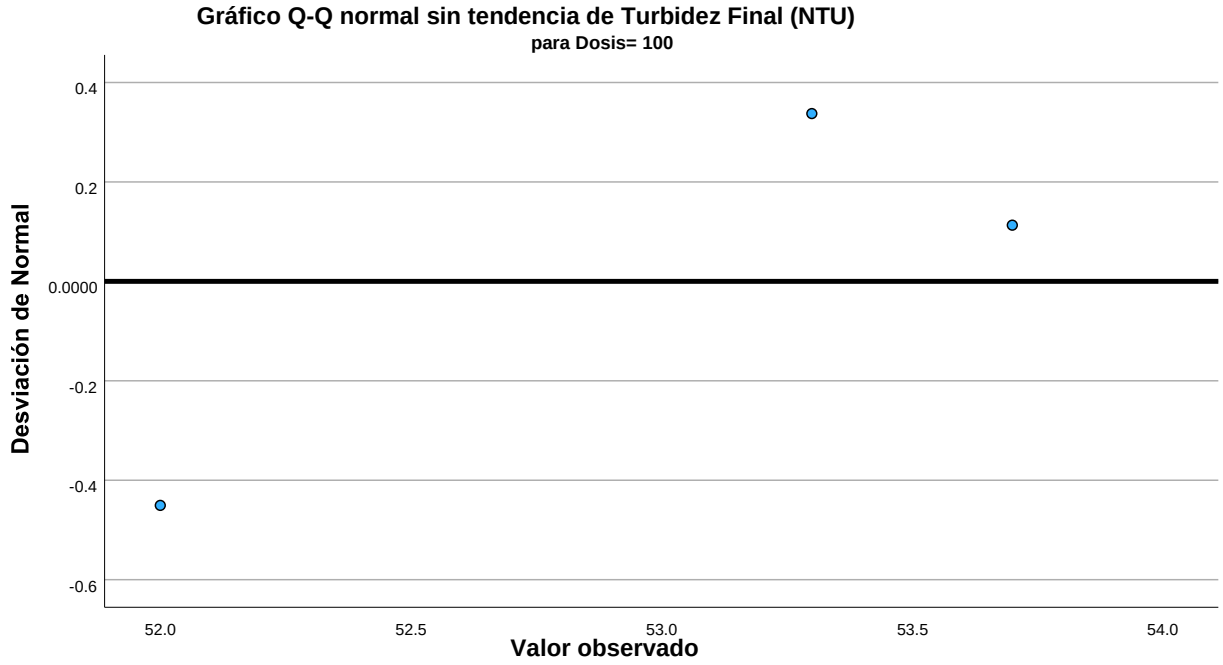
Gráficos Q-Q normales

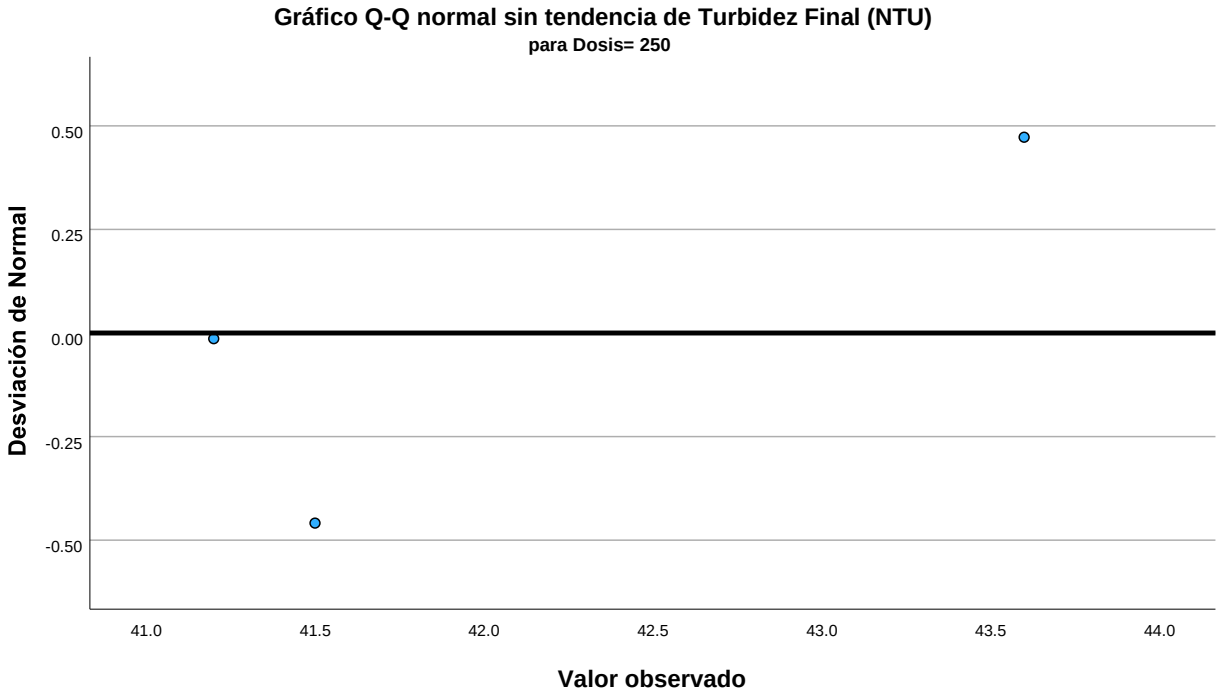


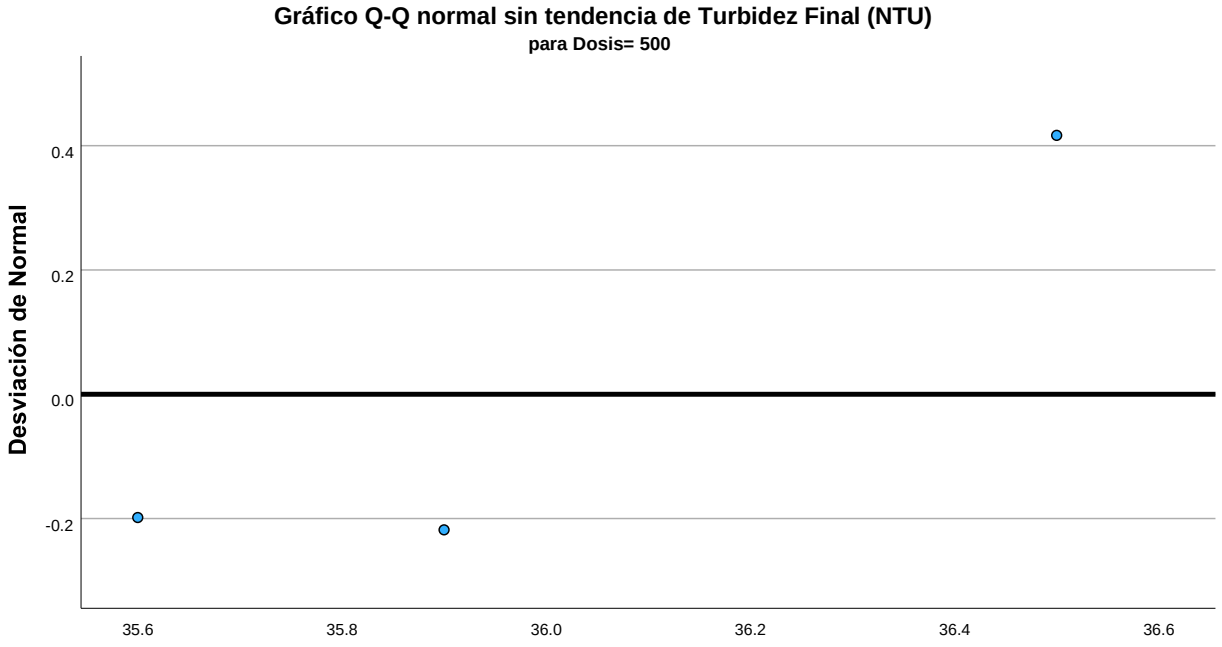


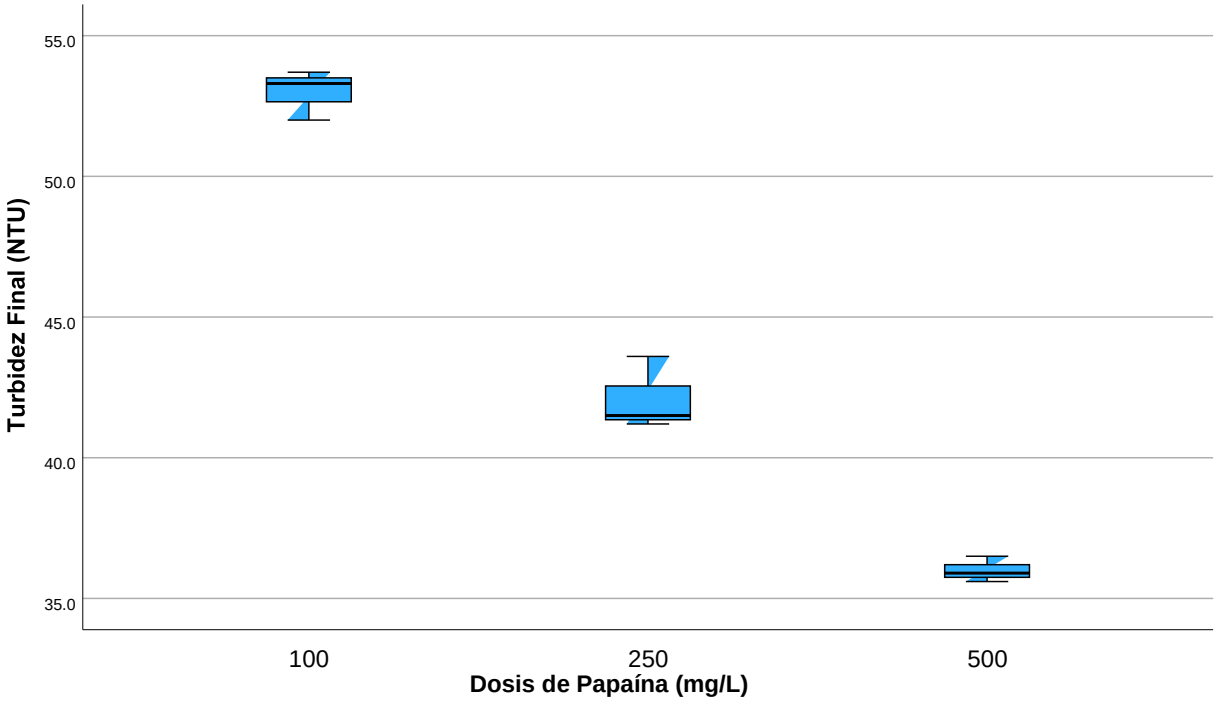


Gráficos Q-Q normales sin tendencia




Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Turbidez Final (NTU)
para Dosis= 250
Desviación de Normal
0.50
0.25
0.00
-0.25
-0.50
41.0
41.5
42.0
42.5
43.0
43.5
44.0
Valor observado


Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Turbidez Final (NTU)
para Dosis= 500
Desviación de Normal
0.4
0.2
0.0
-0.2
35.6
35.8
36.0
36.2
36.4
36.6



Unidireccional

Notas

Salida creada		12-AUG-2026 10:48:58
Comentarios		
Entrada	Conjunto de datos activo	ConjuntoDatos0
	Filtro	<ninguno>
	Ponderación	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	9
Manejo de valores perdidos	Definición de perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario se tratan como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos para cada análisis se basan en casos sin datos perdidos para cualquier variable del análisis.

Notas

Sintaxis		ONEWAY Turbidez BY Dosis /ES=OVERALL /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY /PLOT MEANS /MISSING ANALYSIS /CRITERIA=CILEVEL (0.95) /POSTHOC=TUKEY ALPHA(0.05).
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:00.19
	Tiempo transcurrido	00:00:00.11

Descriptivos

Turbidez Final (NTU)

	N	Media	Desv. estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
100	3	53.000	.8888	.5132	50.792	55.208
250	3	42.100	1.3077	.7550	38.852	45.348
500	3	36.000	.4583	.2646	34.862	37.138
Total	9	43.700	7.5037	2.5012	37.932	49.468

Descriptivos

Turbidez Final (NTU)

	Mínimo	Máximo
100	52.0	53.7
250	41.2	43.6
500	35.6	36.5
Total	35.6	53.7

Pruebas de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Turbidez Final (NTU)	Se basa en la media	2.655	2	6	.149
	Se basa en la mediana	.309	2	6	.745
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	.309	2	3.558	.752
	Se basa en la media recortada	2.289	2	6	.183

ANOVA

Turbidez Final (NTU)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	445.020	2	222.510	246.321	<.001
Dentro de grupos	5.420	6	.903		
Total	450.440	8			

Tamaños de efecto ANOVA[a]

		Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95% Inferior	Superior
Turbidez Final (NTU)	Eta cuadrado	.988	.915	.993
	Epsilon cuadrado	.984	.887	.990
	Omega cuadrado efecto fijo	.982	.874	.989
	Omega cuadrado efecto aleatorio	.965	.777	.978

a. Eta cuadrado y Epsilon cuadrado se estiman basándose en el modelo de efecto fijo.

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Turbidez Final (NTU)

HSD Tukey

(I) Dosis de Papaína (mg/L)	(J) Dosis de Papaína (mg/L)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
100	250	10.9000*	.7760	<.001
	500	17.0000*	.7760	<.001
250	100	-10.9000*	.7760	<.001
	500	6.1000*	.7760	<.001
500	100	-17.0000*	.7760	<.001
	250	-6.1000*	.7760	<.001

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Turbidez Final (NTU)

HSD Tukey

(I) Dosis de Papaína (mg/L)	(J) Dosis de Papaína (mg/L)	Intervalo de confianza al 95%	
		Límite inferior	Límite superior
100	250	8.519	13.281
	500	14.619	19.381
250	100	-13.281	-8.519
	500	3.719	8.481
500	100	-19.381	-14.619
	250	-8.481	-3.719

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Subconjuntos homogéneos

Turbidez Final (NTU)

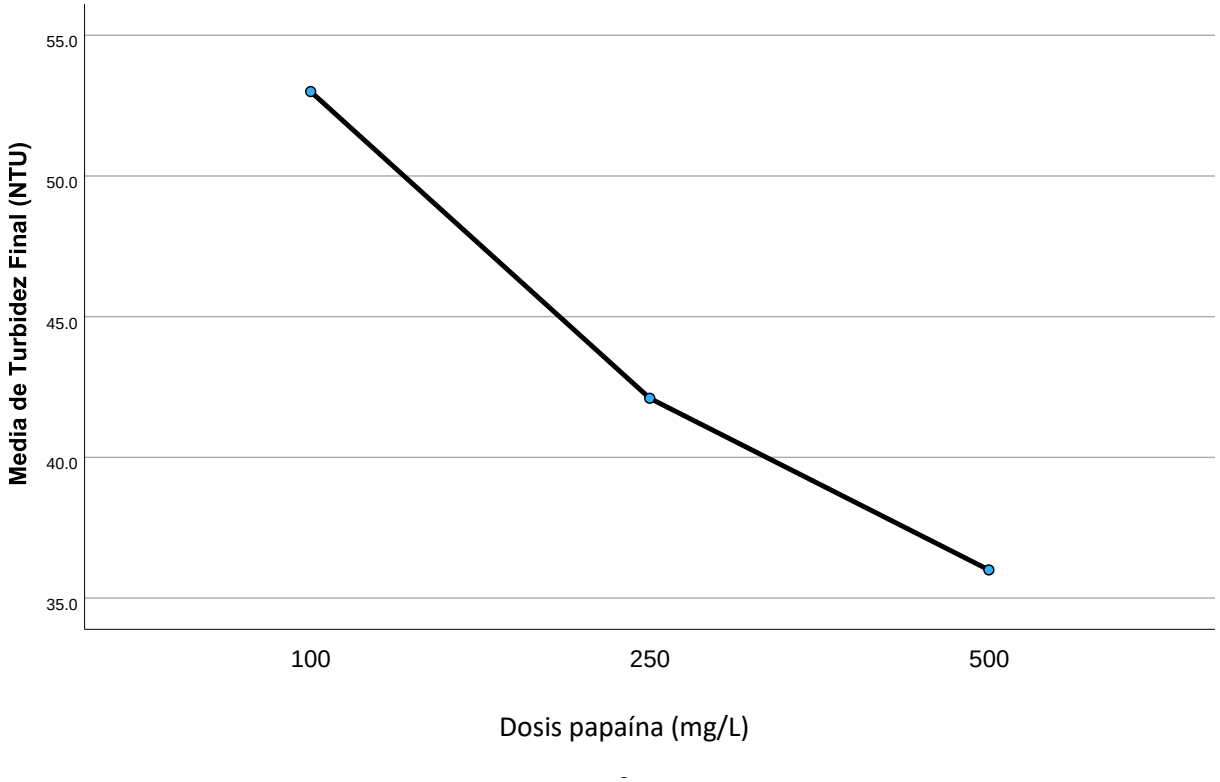
HSD Tukey[a]

Dosis de Papaína (mg/L)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
500	3	36.000		
250	3		42.100	
100	3			53.000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

Grafica de medias



Panel fotográfico

Figura 7

Extracción de látex de papaína de Carica papaya L.



Figura 8

La muestra de látex seco de papaína fue colocada al horno a 50 °C durante 24 horas



Figura 9

Trituración del látex seco de papaína de Carica papaya L. *mediante mortero*

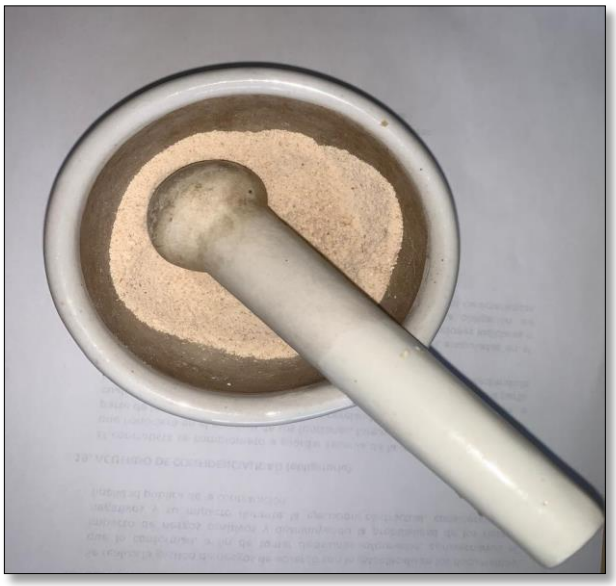


Figura 10

Se colocó en un envase de vidrio el polvo de látex seco de papaína

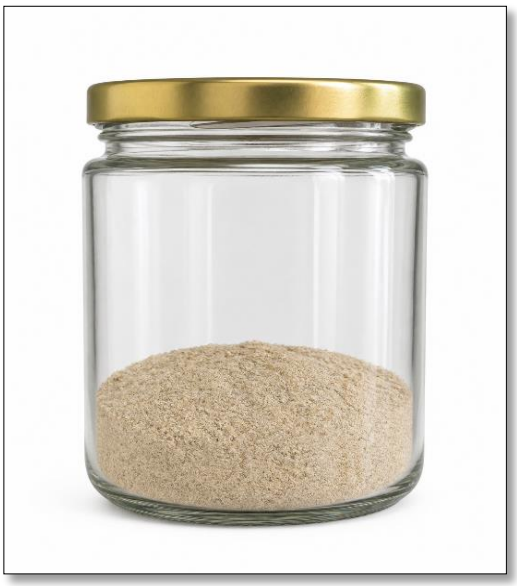


Figura 11
Lavado y extracción de la semilla de Carica papaya L.



Figura 12
Se añadió las semillas en una bandeja de aluminio para luego ser llevadas al horno



Figura 13
La semilla fue colocada en un mortero para su trituración y posterior tamizado; el polvo obtenido fue almacenado en un envase de vidrio





Figura 14

Recolección del agua residual doméstica de la PTAR del Centro Poblado de Santa Cruz - Bellavista



Figura 15

La muestra de agua residual doméstica fue colocada en cuatro vasos precipitados de 1000 mL para la medición de los parámetros iniciales y finales, aplicando los coagulantes de Carica papaya L.

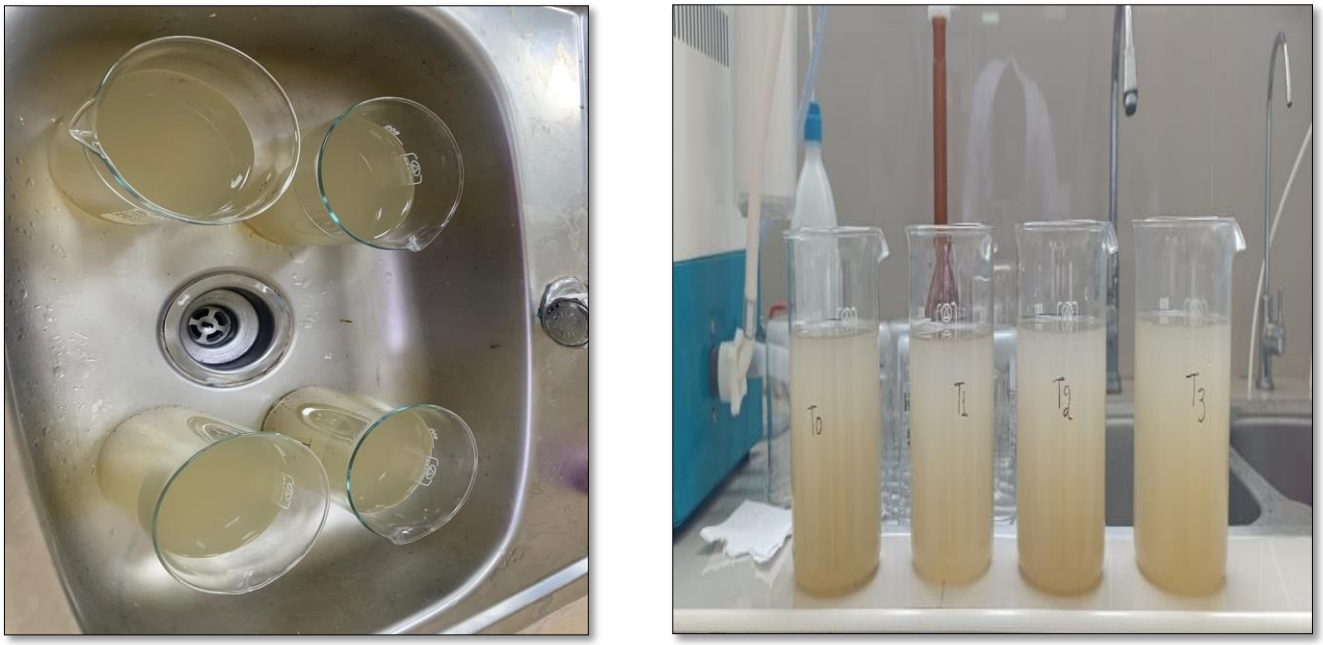


Figura 16
Medición de la conductividad eléctrica, sólidos disueltos y temperatura mediante un multiparámetro



Figura 17
Medición de la turbidez mediante un turbidímetro



Figura 18
Medición del pH



Figura 19

Se pesó las dosis correspondientes a cada coagulante: látex seco de papaína y semilla de Carica papaya L.



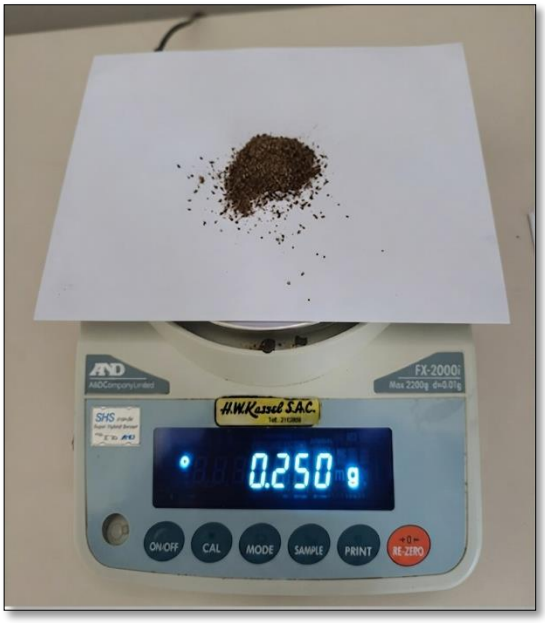


Figura 20

Se colocaron los vasos precipitados en el equipo de prueba de jarras

Figura 21

Se configuró el equipo de test de jarras luego se agregó la dosis de coagulante correspondiente

