UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE EFECTO DEL BIOFLOCULANTE EXTRAÍDO DE LA SEMILLA DE PAPAYA (Carica Papaya) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA, UCAYALI 2024

Tesis para optar el título profesional

INGENIERO AMBIENTAL

FERNANDA SOFIA AYLLON HUARAC

Pucallpa, Perú

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

N.° 264/2026-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 11:08 a.m. del día 06 de julio de 2026, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, los mismos que fueron designados con Memo Múltiple N.° 015-2026-UNU-FCFyA-CGyT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez	Presidente
M.Sc. Tedy Tuesta Torrejón	Miembro
M.Sc. Letty Leonor Sandoval Mendoza	Miembro

Se procedió a evaluar la sustentación de la tesis denominada: **"EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL BIOFLOCULANTE EXTRAÍDO DE LA SEMILLA DE PAPAYA (*carica papaya*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA LAGUNA YARINACOCHA, UCAYALI, 2024"**, presentada por la bachiller **FERNANDA SOFÍA AYLLON HUARAC**, asesorada por la Dra. Dina Pari Quispe. Finalizando la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, siendo absueltas por la sustentante. En consecuencia, la tesis fue **APROBADA POR UNANIMIDAD Y CON RECOMENDACIÓN DE PUBLICACIÓN**, quedando expedita para el otorgamiento del **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**, previo cumplimiento de las correcciones y demás requisitos establecidos por la Universidad. Siendo las **11:46 a.m.** del mismo día, se dio por finalizado el acto académico, firmando los miembros del jurado en señal de conformidad.

Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez
Presidente

M.Sc. Tedy Tuesta Torrejón
Miembro

M.Sc. Letty Leonor Sandoval Mendoza
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN Y FIRMA DEL JURADO DE TESIS

La tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez

Presidente

Ing. M.Sc. Tedy Tuesta Torrejón

Miembro

Ing. M.Sc. Letty Leonor Sandoval Mendoza

Miembro

Dr. Dina Pari Quispe

Asesor

Bach. Fernanda Sofía Ayllon Huarac

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/496-2025.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"EVALUACIÓN DE EFECTO DEL BIOFLOCULANTE EXTRAÍDO DE LA SEMILLA DE PAPAYA (*CARICA PAPYA*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA, UCAYALI "

Autor(es)	:	**AYLLON HUARAC, FERNANDA SOFIA**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. AMBIENTAL**
Asesor(a)	:	**Dra. PARI QUISPE, DINA**

Presenta un **porcentaje de similitud de 9%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 12/09/2025

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, FERNANDA SOFIA AYLLON HUARAC

Autor de la tesis titulada : EVALUACIÓN DE EFECTO DEL BIOFLOCULANTE EXTRAÍDO DE LA SEMILLA DE PAPAYA (CARICA PAPAYA) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA, UCAYALI 2024

Sustentada el año: 2026

Asesor(a): DINA PARI QUISPE

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERIA AMBIENTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 19 / 01 / 2026

Email: AYLLONF514@GMAIL.COM Firma:

Teléfono: 937315081 DNI: 71419078

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi padre, por su ejemplo de lucha, sabiduría y amor constante, que han sido guía y sustento a lo largo de mi vida.

A mi hermana, por ser siempre mi compañera, mi apoyo y mi fuerza en los momentos más desafiantes.

Y con especial amor a mi madre, que desde el cielo me acompaña. Su recuerdo, su voz y su cariño siguen vivos en mi corazón, impulsándome cada día a seguir adelante.

A ustedes, que han sido mi fuerza y mi inspiración, les ofrezco con amor este logro que también es suyo.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, por su amor y guía infinita, que me ha dado la fuerza para superar cada desafío.

A mi familia, por su apoyo incondicional y por ser mi mayor fuente de inspiración. A mi papá, mi hermana y mi mamá, que siempre están en mi corazón.

Este logro es gracias a ustedes y a la bendición de Dios.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN XIV

ABSTRACT XV

INTRODUCCIÓN 16

CAPÍTULO I 18

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.1. Descripción del Problema 18

1.2. Formulación del Problema 19

1.3. Objetivos de la Investigación 20

CAPÍTULO II 21

MARCO TEÓRICO 21

2.1. Antecedentes 21

2.1.2. Antecedentes Nacionales 23

2.2. Bases teóricas 25

2.3. Definición de términos básicos 39

CAPÍTULO III 41

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 41

3.1. Método de investigación 41

3.2. Población y muestra 43

3.2.1. Población 43

3.2.2. Muestra 43

3.3. Procedimientos de recolección de datos 44

3.3.1. Punto de muestreo 44

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos 55

3.5. Procesamiento para recolección de datos 57

3.6. Tratamiento de datos 58

CAPÍTULO IV 59

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 59

CAPITULO V 82

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 82

5.1. Conclusiones 82

5.2. Recomendaciones 83

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 84

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Diseño de experimento DCA con arreglo factorial 3x3x2 42

Tabla 2 Punto de recolección de muestras.....44

Tabla 3 Análisis factorial general: pH versus dosis; tiempo; agitación, de Biofloculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha62

Tabla 4 Comparación pareada de Tukey para sub conjuntos de pH, respecto del factor dosis 64

Tabla 5 Comparación pareada de Tukey para sub conjuntos de pH, respecto del factor tiempo 65

Tabla 6 Análisis de Varianza del efecto en la Conductividad de la dosis de bio-floculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha70

Tabla 7 Análisis de Varianza del Efecto en la Turbiedad de la dosis de bio-floculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha76

Tabla 8 Efecto del Biofloculante de semilla de papaya (Carica Papaya) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de la laguna de Yarinacocha. 80

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Laguna de Yarinacocha.....26

Figura 2 *Tratamiento preliminar o pretratamiento de cribas o rejas* 28

Figura 3 *Tratamiento primario* 29

Figura 4. *Tratamiento secundario*.....30

Figura 5 Tratamiento terciario 31

Figura 6 Acción de floculación.....33

Figura 7 Procesos de Tratamiento de aguas para coagulación y floculación.....35

Figura 8 Ubicación del punto de recolección de la muestra en la laguna de Yarinacocha. 45

Figura 9 Procesado de la papaya para la obtención de la semilla 49

Figura 10 Lavado y enjuague de la semilla para eliminación de impurezas.....50

Figura 11 Secado de la semilla de papaya.....50

Figura 12 Molienda de la semilla seca de papaya 51

Figura 13 Efecto en el pH del Biofloculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha 59

Figura 14 Principales efectos en el pH del Biofloculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha 61

Figura 15 Efecto en el pH del biofloculante de semilla de papaya por interacción de tres factores (dosis, tiempo, agitación) en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha 63

Figura 16 Comparación pareada de Tukey para sub conjuntos de pH 64

Figura 17 Comparación pareada de Tukey para sub conjuntos de pH 65
Figura 18 Efecto en la Conductividad de la dosis de Biofloculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha.....66
Figura 19 Principales efectos en la conductividad del bio-floculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha.....68
Figura 20 Efecto en la conductividad del bio-floculante de semilla de papaya por interacción de tres factores (dosis, tiempo, agitación) en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha.....69
Figura 21 Efecto en la Turbiedad de la dosis de bio-floculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha 72
Figura 22 Principales efectos en la Turbidez del biofloculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha 73
Figura 23 Efecto en la turbidez del bio-floculante de semilla de papaya por interacción de tres factores (dosis, tiempo, agitación) en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha 75
Figura 24 Llenado del formato de registro de datos de campo durante la medición de la calidad del agua de la Laguna de Yarinacocha. 103
Figura 25 Medición de parámetros físicos del agua de la Laguna de Yarinacocha.....103
Figura 26 Recolección de muestras de agua en la laguna de Yarinacocha para su análisis 104
Figura 27 Aplicación de preservantes a las muestras de agua recolectadas de la laguna de Yarinacocha. 104
Figura 28 Presentación de los recipientes con muestras de agua para el análisis microbiológico del agua de la Laguna de Yarinacocha.....105
Figura 29 Presentación de los recipientes con muestras de agua para el análisis de metales presentes en el agua de la laguna de Yarinacocha 105

Figura 30 Llenado y rotulado de recipientes de muestra de agua de la laguna de Yarinacocha 106
Figura 31 Extracción de las semillas de papaya para la elaboración del biofloculante 106
Figura 32 Separado de las semillas de papaya para su posterior limpieza y lavado... 107
Figura 33 Limpieza y lavado de semillas de papaya para retiro de impurezas. 107
Figura 34 Proceso de secado de las semillas de papaya. 108
Figura 35 Semillas de papaya después del proceso de secado en estufa (50 °C, 24 h) 108
Figura 36 Molienda de las semillas de papaya para la elaboración del biofloculante... 109
Figura 37 Extracción de las muestras de agua de la laguna de Yarinacocha para la medición de la turbidez para evaluar la eficiencia del biofloculante. 109

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar el efecto del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) en el tratamiento de las aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, Ucayali, 2024. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, diseño completamente al azar (DCA) con una estructura de arreglo factorial 3x3x2, mediante un modelo lineal aditivo que contempla al factor A (dosis), factor B (tiempo) y el factor C (agitación), tomando como población el agua de la laguna Yarinacocha. Para el proceso experimental se diseñaron diversos tratamientos basados en la variación de tres factores operativos: la dosis del biofloculante, el tiempo de contacto y la velocidad de agitación. La selección del tratamiento óptimo se realizó mediante la evaluación de los parámetros de pH, conductividad eléctrica y turbiedad, considerados indicadores claves de la calidad del agua. Los resultados evidenciaron que el tratamiento más eficiente correspondió a la aplicación de 1 g de biofloculante por litro de agua, con agitación a 100 revoluciones por minuto durante 10 minutos. Este tratamiento logró una reducción del 66.6% de coliformes fecales, así como disminuciones del 8.1% en pH, 18.6% y 69.6% en la demanda química de oxígeno (DQO). De igual manera, se obtuvo una reducción del 22% en potasio y del 51.5% en hierro, parámetros relevantes por su influencia en la calidad físico-química del agua. En conclusión, el biofloculante obtenido de la semilla de papaya demuestra una eficiencia significativa en la mejora de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua, especialmente en turbiedad, DQO e hierro, alcanzando eficiencias de reducción que oscilan entre el 39% y el 69%. Estos hallazgos respaldan su potencial como alternativa ecológica y viable para el tratamiento de aguas superficiales en la laguna de Yarinacocha.

Palabras clave: Biofloculante, papaya, agua, tratamiento, laguna Yarinacocha

ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the effect of the bioflocculant extracted from papaya seeds (Carica papaya) on the treatment of surface water from Yarinacocha Lagoon, Ucayali, in 2024. The study was conducted using a quantitative approach and a Completely Randomized Design (CRD) with a 3 × 3 × 2 factorial arrangement, applying an additive linear model that considered Factor A (bioflocculant dosage), Factor B (contact time), and Factor C (agitation speed), while the water from Yarinacocha Lagoon was considered the study population. During the experimental process, different treatments were designed according to the variation of three operational factors: bioflocculant dosage, contact time, and agitation speed. The optimal treatment was selected through the evaluation of pH, electrical conductivity, and turbidity, which were considered key indicators of water quality. The results showed that the most efficient treatment consisted of applying 1 g of bioflocculant per liter of water, with agitation at 100 revolutions per minute for 10 minutes. This treatment achieved a 66.6% reduction in fecal coliforms, as well as reductions of 8.1% in pH, 18.6% in electrical conductivity, and 69.6% in chemical oxygen demand (COD). Likewise, reductions of 22% in potassium and 51.5% in iron were obtained; these parameters are relevant because of their influence on the physicochemical quality of water. In conclusion, the bioflocculant obtained from papaya seeds demonstrated significant efficiency in improving the physicochemical and microbiological characteristics of the water, particularly in terms of turbidity, COD, and iron. The treatment achieved reduction efficiencies ranging from 39% to 69%, and these findings support the potential of papaya-seed bioflocculant as an ecological and viable alternative for the treatment of surface water in Yarinacocha Lagoon.

Keywords: Bioflocculant, papaya, water, treatment, Yarinacocha Lagoon.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los cuerpos de agua superficiales constituye actualmente una de las principales problemáticas ambientales y de salud pública, y la laguna de Yarinacocha, en la región Ucayali, no es ajena a esta situación. En las últimas décadas, este cuerpo de agua ha sido afectado por el crecimiento urbano sin planificación, la descarga de aguas residuales domésticas sin tratamiento, el incremento de actividades comerciales ribereñas y el turismo no regulado, lo cual ha generado un deterioro progresivo de su calidad. Estos factores han generado elevadas concentraciones de materia orgánica, sólidos en suspensión, microorganismos patógenos y metales en el agua, afectando la biodiversidad, la salud pública y el desarrollo económico local. Esta realidad constituye la problemática central que motiva el presente estudio.

La importancia de esta investigación radica en que la laguna de Yarinacocha es un ecosistema clave para la región, por su valor ecológico, turístico, cultural y socioeconómico. Su conservación es fundamental para mantener la biodiversidad amazónica, fortalecer la actividad turística regional y asegurar condiciones ambientales adecuadas para las comunidades ribereñas. En este contexto, el uso de biofloculantes elaborados a partir de recursos naturales, como la semilla de papaya (*Carica Papaya*), representa una alternativa innovadora y ambientalmente amigable frente a los coagulantes químicos convencionales, los cuales pueden resultar costosos y generar subproductos nocivos. Evaluar la eficacia de este biofloculante permite aportar conocimientos científicos actuales y, al mismo tiempo, proponer soluciones accesibles y sostenibles aplicables a contextos con limitaciones técnicas y económicas, como los de Yarinacocha y otras zonas amazónicas.

En este marco, el propósito de la investigación es evaluar la eficacia del biofloculante obtenido de la semilla de papaya en el tratamiento del agua superficial de la laguna de Yarinacocha. Para cumplir con este propósito, se plantean como objetivos principales: (a)

determinar la dosis óptima del biofloculante, (b) analizar la influencia del tiempo y (c) determinar la velocidad de agitación en el proceso de coagulación–floculación. El estudio se desarrolla bajo un enfoque experimental y cuantitativo, un diseño completamente al azar (DCA) con una estructura de arreglo factorial 3x3x2, mediante un modelo lineal aditivo que contempla al factor A (dosis), factor B (tiempo) y el factor C (agitación), con el fin de identificar las condiciones que generan mayor remoción de turbidez, materia orgánica, coliformes y metales presentes en el agua.

Asimismo, la tesis se estructura en cinco capítulos. El Capítulo I, Planteamiento del problema, expone la problemática, la justificación, los objetivos y el alcance de la investigación. El Capítulo II, Marco teórico, desarrolla los antecedentes, fundamentos conceptuales y teorías relacionadas con la calidad del agua, procesos de coagulación–floculación y uso de biofloculantes naturales. El Capítulo III, Metodología, describe el diseño de investigación, las condiciones experimentales, materiales utilizados y los procedimientos aplicados para el tratamiento del agua. El Capítulo IV, Resultados y discusión, presenta los valores obtenidos para cada tratamiento, su análisis e interpretación comparativa. Finalmente, el Capítulo V, Conclusiones y recomendaciones, sintetiza los hallazgos principales y propone acciones para la gestión ambiental y futuras líneas de investigación.

De este modo, la presente tesis busca aportar evidencia científica sobre el potencial del biofloculante de semilla de papaya como alternativa sostenible para la mejora de la calidad del agua de la laguna de Yarinacocha, contribuyendo al desarrollo de soluciones ambientalmente responsables para la región amazónica.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

Uno de los principales retos ambientales asociados al manejo ineficiente de las aguas residuales (ARD) es su vertido directo al sistema de alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento previo (Yan et al., 2020). El acelerado proceso de urbanización e industrialización ha provocado un aumento considerable en la generación de residuos sólidos, situación que ha despertado alarma a nivel internacional (Ahmad et al., 2021). La concepción equivocada de que el agua es un recurso inagotable o invisible, junto con la idea extendida de que los acuíferos son focos de contaminación potencial, ha contribuido al deterioro de la calidad del agua y a la aparición de enfermedades gastrointestinales en la población (Andrade et al., 2018). Además, los vertidos provenientes de la industria han sido señalados como una de las principales fuentes de contaminación ambiental (Aniyikaiye et al., 2019). La dispersión de metales pesados, muchos de ellos con efectos tóxicos, ocurre por diferentes vías, lo que ha incrementado su presencia en numerosos ecosistemas (Singh et al., 2022). En este contexto, la disponibilidad de agua potable segura se ha convertido en una problemática de escala mundial (Jung et al., 2020).

A pesar del progreso en tecnologías de tratamiento, muchas plantas no están equipadas para eliminar eficientemente ciertos contaminantes. A ello se suma la carencia de normativas sanitarias actualizadas que regulen su adecuada gestión (Gogoi et al., 2018). Actualmente, garantizar el acceso a agua limpia es una de las mayores preocupaciones globales. La detección de microcontaminantes en cuerpos hídricos implica riesgos significativos para el ambiente y la salud humana, lo que resalta la necesidad de desarrollar tecnologías de tratamiento que sean más sostenibles, eficaces y económicamente viables (Florindo et al., 2019). Incluso con la implementación de regulaciones estrictas en la Unión

Europea sobre los niveles de nutrientes en los efluentes, aún persisten dificultades para alcanzar un estado químico y ecológico óptimo en muchas masas de agua (Preisner et al., 2020). En sectores industriales altamente contaminantes, como el de las curtiembres, resulta urgente adoptar nuevas estrategias que aseguren un adecuado control de la calidad del agua residual (Zhao y Chen, 2019).

La contaminación del recurso hídrico tiene efectos negativos tanto para la salud humana como para el equilibrio ecológico (Inocente et al., 2020). La exposición prolongada al agua contaminada puede derivar en enfermedades graves, incluyendo ciertos tipos de cáncer (Lan et al., 2020). Para afrontar los desafíos urbanos vinculados al deterioro de la calidad del agua, el deficiente saneamiento y el estrés hídrico, se requieren enfoques integrales y descentralizados, que incorporen soluciones basadas en la naturaleza (Schellenberg et al., 2020). Asimismo, los sedimentos contaminados albergan compuestos tóxicos persistentes que, en muchos casos, resultan letales o producen efectos adversos a largo plazo (Power y Chapman, 1992).

En este contexto, la laguna de Yarinacocha, considerada un recurso turístico y natural de gran valor para la región de Ucayali, ha sido severamente impactada por la acción humana, particularmente por el vertido de aguas residuales domésticas debido a su cercanía con la ciudad. Ante esta problemática, la presente investigación propone evaluar el uso de un biofloculante natural, obtenido a partir de la semilla de papaya (*Carica Papaya*), como una alternativa viable para el tratamiento de las aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, Ucayali.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, Ucayali 2024?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la dosis óptima del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha?

- ¿Cuál es el tiempo óptimo del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha?

- ¿Cuál velocidad de agitación óptima del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, Ucayali 2024

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la dosis óptima del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha

- Determinar el tiempo óptimo del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha

- Determinar la velocidad de agitación óptima del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Arciniega, Ávila y Sandoval (2023), en su artículo denominado “Remoción de sólidos totales en agua mediante coagulantes naturales: Semillas de Linaza, Chía y Zaragatona”, tuvieron como objetivo evaluar y comparar la eficiencia de coagulantes naturales obtenidos de mucílagos de semillas de linaza, chía y zaragatona frente a un coagulante químico convencional (sulfato de aluminio) en la remoción de sólidos totales y turbidez del agua. El estudio desarrolló un enfoque cuantitativo en el cual se diseñaron experimentos con un arreglo factorial de 4x4x2 donde las variables fueron cuatro cantidades diferentes de cuatro distintos coagulantes y con dos diferentes tiempos de coagulación–floculación, realizándose en total 32 experimentos. Se evaluó cómo influía utilizar cantidades de coagulantes diferentes (25, 50, 75 y 100 miligramos) y dos distintos tiempos de coagulación (1 y 5 minutos) y de floculación (15 y 20 minutos), los resultados obtenidos no varían de manera significativa en la remoción de la turbidez, en los experimentos donde se varió la cantidad de chía y de sulfato de aluminio, si influyó el hecho de utilizar distintas cantidades de coagulante en los porcentajes de remoción, concluyendo que los coagulantes naturales obtenidos de los mucílagos de semillas como linaza, chía y zaragatona pueden eliminar sólidos totales de agua reduciendo la turbidez a un porcentaje igual o mayor a coagulantes químicos como el sulfato de aluminio.

Gómez Vaca y Tomalá Medina (2021), en su investigación denominada” Determinación de la capacidad coagulante de las semillas de papaya *(Carica Papaya)* para la remoción de turbidez en el tratamiento de Aguas Superficiales”, cuyo objetivo principal fue determinar la cantidad óptima del coagulante para la obtención de resultados eficientes

en la remoción de turbidez administrándolo en diferentes cantidades en las muestras de agua, para ello aplicaron el método cuantitativo, evidenciaron que el coagulante en polvo obtenido de las semillas de papaya puede emplearse directamente sin preparación de soluciones previas, demostrando alta eficiencia en la coagulación y precipitación de coloides presentes en aguas superficiales. Al aplicarlo en muestras del río Daule, cuyos valores iniciales fueron 170 NTU de turbidez, 138 mg/L de SST y 550 Pt/Co de color, se constató que todas las muestras se clarificaron según la dosis utilizada, comprobando la viabilidad de su uso en el tratamiento de aguas contaminadas. Entre las cantidades evaluadas (0,1–0,6 g), la dosis óptima fue 0,5 g para 800 mL de muestra, alcanzando 100 % de remoción de turbidez, 99,28 % de SST y 99,27 % de color, además de presentar un tiempo de sedimentación menor respecto a las otras dosificaciones. Se concluye que las semillas de *Carica Papaya* son un coagulante altamente eficiente, siendo óptima la dosis de 0,5 g, con la que se logró 100 % de remoción de turbidez y más del 99 % de SST y color.

Velandia (2021), en su investigación denominada" Evaluación del almidón de maíz y trigo como coagulante – floculante para la remoción de turbiedad y color aparente en acueductos rurales para la remoción de turbiedad y color aparente en acueductos rurales", cuyo objetivo principal fue determinar la dosis óptima de almidón de trigo y maíz mediante ensayo de jarras, aplicando el diseño factorial, con el análisis de varianza por medio del ANOVA, así como un diseño Post Hoc y un Manova. El análisis de los coagulantes naturales (almidón de maíz y trigo) comparados con un coagulante industrial mostró que todos cumplen con los supuestos estadísticos de ANOVA y MANOVA, con P-valor > 0,05, indicando confiabilidad en los resultados. Mediante comparaciones Post Hoc Tukey se identificó que variables como pH, concentración y velocidad de agitación influyen significativamente en la remoción de turbiedad y color aparente. Los porcentajes de remoción alcanzaron hasta 92,4% y 94,9% para el maíz, 87,4% y 88,1% para el trigo, y

superiores al 90% para el coagulante industrial, demostrando que los coagulantes naturales son comparables con los industriales. Aunque su rendimiento de extracción es moderado (maíz 7,46%, trigo 7,10%), poseen propiedades óptimas para ser usados en acueductos rurales, ya sea como coagulantes principales o como ayudantes para reducir el uso de químicos, representando una alternativa eficiente y ambientalmente amigable en la potabilización del agua.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Goicochea (2025) en su investigación titulada: “Eficiencia de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) como coagulante en la remoción de turbidez y coliformes termotolerantes del agua del manantial “La Ciénega” del Centro Poblado de Queruaysana, Celendín-2024”, cuyo objetivo específico fue determinar la dosis óptima de las semillas de papaya (C. papaya) como coagulante en la remoción de turbidez y coliformes termotolerantes en muestras de agua del manantial “La Ciénega”. El modelo estadístico que se aplicó fue el análisis de la varianza de un factor (ONE-WAY) o diseño completamente al azar (DCA). Sus resultados mostraron que el coagulante natural redujo la turbidez inicial de 66.03 NTU (Dia 0) a 28.48 NTU (0.2 g/L), 24.87 NTU (0.3 g/L), 21.25 NTU (0.4 g/L), 17.35 NTU (0.5 g/L) y 17.90 NTU (0.6 g/L), alcanzando eficiencias entre 57 % y 74 %. Asimismo, los coliformes termotolerantes disminuyeron de 46.88 NMP/100 mL (Dia 0) a 20.63, 15.65, 10.34, 7.08 y 5.86 NMP/100 mL, respectivamente, logrando remociones entre 56 % y 87 %. El análisis estadístico estableció como dosis óptima 0.5 g/L, sustentada por los valores de estadístico-q más altos (45.38 para turbidez y 61.673 para coliformes). Durante los ensayos, los parámetros físico-químicos se mantuvieron estables: el pH entre 7.29 y 7.50, la temperatura entre 17.467 °C y 17.587 °C, y la conductividad entre 216.53 y 260.50 µS/cm. Finalmente se concluyó que, la semilla de papaya mostró una eficiencia considerable como coagulante natural, especialmente en la reducción de turbidez y coliformes termotolerantes;

sin embargo, ninguna de las dosis evaluadas alcanzó los límites de potabilidad establecidos por el D.S. N.° 031-2010-SA, ya que los valores finales permanecieron por encima de 5 NTU y <1.8 NMP/100 mL.

Rodríguez (2024), en su investigación titulada: “Evaluación de la dosis óptima de Moringa como coagulante-floculante en el tratamiento de agua del manantial Tumpa Puquio-Huancavelica” cuyo objetivo principal fue determinar la dosis óptima de la semilla de Moringa Oleífera triturada para minimizar la turbidez del agua del Manantial Tumpa Puquio, a traves del metodo cuantitativo, aplicando diseño un experimental de corte transversal. El autor evaluó tres dosificaciones de 8g/L, 10g/L y 12g/L en donde los resultados revelaron que la dosis más efectiva fue de 8 g/L, evidenciando una reducción del 86.58 % de la turbidez (de 1252 a 168 NTU), aunque sin alcanzar el límite establecido por el D.S. N.º 031-2010-SA (< 5 NTU). Asimismo, dicha dosis influyó significativamente en los demás parámetros analizados: generó un incremento del 22.76 % en los sólidos disueltos totales (de 413 a 507 mg/L), manteniéndose dentro del valor permitido (< 1000 mg/L), y un aumento del 22.45 % en la conductividad (de 646 a 791 µS/cm), igualmente dentro del rango normativo (< 1500 µS/cm). El estudio concluyó que la Moringa presenta una influencia elevada en la variabilidad de los parámetros físico-químicos (entre 87.8 % y 98.2 %), confirmando su potencial como coagulante natural en la mejora de la calidad del agua.

ONOFRE (2024) en su investigación titulada: “Evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez de Aguas Superficiales variando la masa de coagulante, tiempo de contacto y velocidad de agitación en el proceso de coagulación” cuyo objetivo principal fue evaluar la influencia del tiempo de floculación en la remoción de turbidez de aguas superficiales del Río Shullcas durante el proceso de coagulación, para lo cual el diseño de investigación aplicado fue un diseño factorial puesto que evaluó la eficiencia hasta su nivel

óptimo por la influencia de sus variables independientes, los analisis determinaron que la masa de coagulante, el tiempo de floculación y la velocidad de agitación influyen en la eficiencia del proceso de coagulación con polvo de semillas de papaya. Se trabajó con masas de 0,3 g y 0,5 g, tiempos de floculación de 15 y 30 minutos, y velocidades de agitación de 50 y 100 RPM, encontrándose que la combinación óptima fue 0,5 g de coagulante, 15 minutos y 50 RPM, logrando reducir la turbidez de 94,2 NTU a 1,82 NTU, lo que representa una eficiencia de 98,04%. La variación de la masa de coagulante mostró que a mayor cantidad (0,5 g) se obtiene mayor remoción de turbidez, mientras que el tiempo de floculación más corto (15 minutos) resultó más eficiente. Por otro lado, la velocidad de agitación presentó un efecto menor en la eficiencia, siendo ligeramente superior a 50 RPM. El tiempo de sedimentación necesario para completar el proceso fue de 30 minutos, independiente de la combinación de las otras variables. Estos resultados concluyen que el polvo de semillas de papaya es un coagulante natural altamente eficaz para la remoción de turbidez en aguas superficiales, optimizando el proceso con parámetros operativos sencillos y accesibles.

2.1.3. Antecedentes Locales

No se identificaron antecedentes locales que aborden esta problemática.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Laguna de Yarinacocha

La laguna de Yarinacocha se ubica en la margen izquierda del rio Ucayali, en el distrito del mismo nombre de la Laguna, en la provincia de Coronel Portillo, al noroeste de la ciudad de Pucallpa, geográficamente se ubica a 13º 51’ 24’’ de latitud sur; 71º 01’ 30’’ de longitud Oeste y a 150 m.s.n.m de latitud.

Figura 1

Laguna de Yarinacocha



Nota. *Mapa base físico-político del distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali.* Elaborado por el Gobierno Regional de Ucayali (2023).

La laguna se formó al cambiar de curso el río Ucayali, que, por efectos de la erosión pluvial, derivo un brazo o vanante que con el lapso de los años fue depositando sedimentos hasta llenar por completo su entrada. La biotemperatura fluctúa entre 25.6°c a 26.0°c, su forma es de una J invertida, tiene 20 km. de longitud, el extremo más largo mide 12 km. y el más corto 8 km, su ancho máximo es de 900 m y el mínimo de 400 m. y en promedio 735 m. el espejo de agua alcanza a 1340 ha. en época de creciente y a 1200 ha en época de estiaje, su profundidad máxima es de 19 m. y la media de 7 m., presenta diferentes tonalidades producto de las profundidades, corrientes, y de la procedencia de las aguas pluviales y fluviales. El área de la laguna y de sus entornos se identifica geológicamente como la formación cuaternaria reciente. De no más de 10 millones de años de antigüedad. (MINCETUR, 2024)

La laguna Yarinacocha es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para las diferentes actividades socioeconómicas. (Marin López, 2012) siendo un elemento clave en la dinámica ecológica y socioeconómica de la región Ucayali.

2.2.1.1. Calidad de agua de la Laguna de Yarinacocha

En los últimos años, especialistas de la Subdirección de Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos (DGCRH) de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) han reportado la presencia recurrente de material orgánico e inorgánico en la Laguna de Yarinacocha, destacándose la acumulación de residuos sólidos en diversos sectores del cuerpo de agua. Asimismo, se ha documentado que el espejo de agua presenta afectaciones significativas debido al ingreso de aguas residuales sin tratamiento y a la disposición inadecuada de desechos, condiciones que generan un deterioro progresivo de la calidad del agua y alteraciones directas en la biodiversidad del ecosistema. (Agua, 2013)

2.2.2. Tratamientos de Agua

El agua que ingresa a las plantas de tratamiento pasa por procesos físicos, químicos y biológicos orientados a la eliminación de los contaminantes presentes. Generalmente, estos procedimientos se organizan en cuatro fases: pretratamiento o tratamiento preliminar, tratamiento primario, secundario y terciario (Idrica, 2022).

2.2.2.1. Pretratamiento

Esta fase inicial marca el comienzo del proceso de depuración de las aguas residuales y tiene como finalidad acondicionar el agua para las etapas posteriores de purificación.

Su propósito principal es eliminar aquellos objetos o materiales que puedan ocasionar daños en las instalaciones o equipos empleados en el tratamiento. En esta etapa, el primer procedimiento suele ser el desbaste, mediante el cual se separan los residuos sólidos de gran y mediano tamaño utilizando rejas y tamices de distinto grosor. A continuación, se procede a la eliminación de grasas y partículas de arena a través de unidades combinadas de desarenado y desengrasado (Idrica, 2022).

Figura 2

Tratamiento preliminar o pretratamiento de cribas o rejas



Nota. Tomado de *Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales*, de Idrica, 2022.

2.2.2.2. Tratamiento Primario

El propósito de esta etapa es reducir una parte significativa de los sólidos suspendidos presentes en el agua. Para ello, se utiliza un proceso de sedimentación en decantadores, donde el agua permanece retenida entre 1 y 2 horas, permitiendo que la acción de la gravedad facilite la separación de las partículas. Además de este efecto, el procedimiento contribuye a la homogeneización del caudal y a la reducción de materia orgánica asociada a los sólidos suspendidos. En algunos casos, se incorporan sustancias químicas como coagulantes y floculantes, que optimizan la sedimentación y permiten también la eliminación de fósforo. Asimismo, es posible añadir compuestos de carácter básico o ácido con el fin de neutralizar el pH del agua (Idrica, 2022).

Figura 3

Tratamiento primario



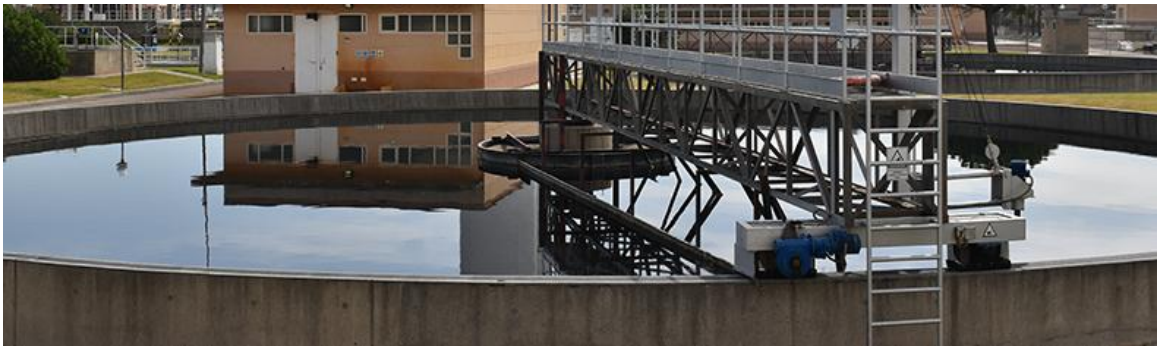
Nota. Tomado de Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales, de Idrica, 2022.

2.2.2.3. Tratamiento Secundario

El objetivo principal de esta etapa es eliminar la materia orgánica disuelta en el agua, así como nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Se trata de un tratamiento fundamentalmente biológico, en el cual se emplean bacterias y otros microorganismos capaces de degradar y asimilar la materia orgánica y los nutrientes presentes. El método más utilizado es el sistema de fangos activados, que consiste en mantener el agua durante varios días en un tanque o reactor bajo condiciones controladas de oxigenación. En este entorno, las comunidades bacterianas se alimentan de la materia orgánica y de los nutrientes, incorporándolos en sus estructuras celulares y logrando así su eliminación del agua (Idrica, 2022).

Figura 4.

Tratamiento secundario



Nota. Tomado de Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales, de Idrica, 2022.

2.2.2.4. Tratamiento Terciario

En el tratamiento terciario, también denominado tratamiento químico, se busca optimizar la calidad final del agua con el propósito de devolverla de forma segura al medio ambiente ya sea a mares, ríos, lagos u otras cuencas hídricas y, en ciertos casos, reutilizarla en actividades humanas. Esta fase se centra principalmente en la eliminación de agentes patógenos, en particular bacterias de origen fecal. Para ello se aplican diversas técnicas, entre las que destacan la filtración a través de lechos de arena u otros materiales, así como procesos de desinfección que pueden realizarse mediante la aplicación de cloro (usualmente en forma de hipoclorito sódico) o a través de radiación ultravioleta (UV). Estos procedimientos permiten reducir de manera significativa la presencia de microorganismos vivos que pudieron haberse generado en las etapas previas del tratamiento (Idrica, 2022).

Figura 5

Tratamiento terciario



Nota. Tomado de Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales, de Idrica, 2022.

2.2.2.5. Floculantes

Los floculantes son sustancias utilizadas para inducir la desestabilización de las partículas coloidales suspendidas en el agua. Su uso es indispensable para el tratamiento de aguas residuales, ya que es una solución eficaz para conseguir agua limpia de residuos y apto para el uso, ya sea para industrias o consumo de agua potable. El proceso de floculación es precedido por la coagulación. Este proceso facilita la eliminación de las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales.

La coagulación consiste en la desestabilización de las partículas coloidales presentes en el agua mediante la adición de un reactivo químico denominado coagulante, el cual neutraliza sus cargas electrostáticas y favorece su unión. Posteriormente, tiene lugar la floculación, proceso en el que dichas partículas desestabilizadas se agrupan formando microflóculos que, con el tiempo, evolucionan en flóculos de mayor tamaño. Estos, por acción de la gravedad, tienden a depositarse en el fondo de los recipientes diseñados para tal fin, conocidos como sedimentadores (Huerta Calleja, 2022).

2.2.2.6. Coagulación

Se trata de un proceso químico mediante el cual se desestabilizan las fuerzas repulsivas existentes entre las partículas coloidales. Dichas fuerzas impiden que, al entrar en contacto, las partículas se unan para formar agregados de mayor tamaño que puedan ser separados posteriormente por sedimentación. Con el fin de eliminar estas repulsiones y favorecer la formación de flóculos estables y de gran tamaño, se emplean reactivos y aditivos, siendo estos los más utilizados en el tratamiento (Llanos Evangelista, 2022).

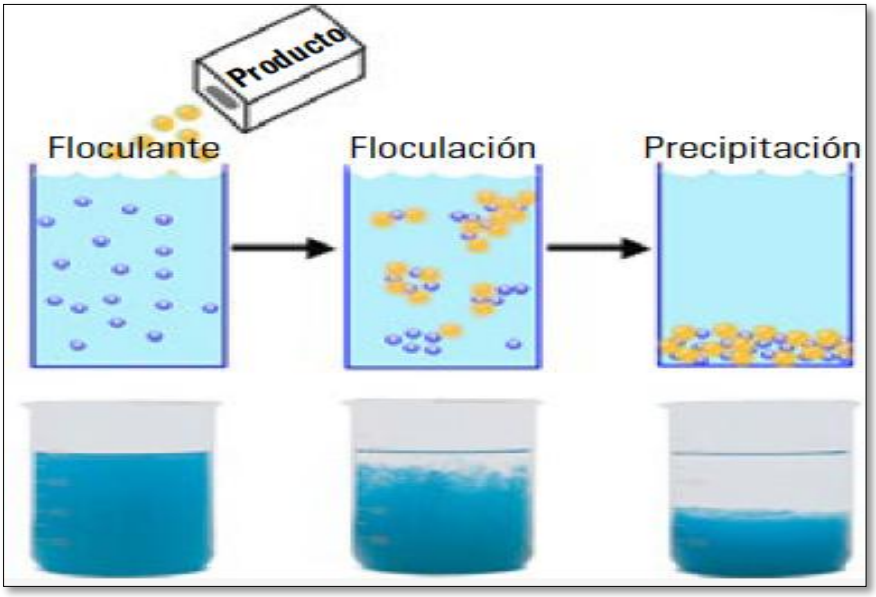
- Coagulantes primarios: alúmina, sales aluminosas, sales férricas, etc.
- Coadyuvantes: sílice activada y polielectrolitos no iónicos, anicónicos o catiónicos.
- Agentes alcalinos: $CaCO_3$, dolomita (58% Cao, 40% MgO), $Ca(OH)_2$, MgO, Na_2CO_3, NaOH
- Agentes que incrementan la concentración coloidal y la densidad de los flóculos: bentonita, caolín, arcillas.

2.2.2.7. Floculación

Es un proceso físico en la que se produce la colisión de adherencia de las partículas coloidales previamente desestabilizadas para formar partículas de mayor tamaño denominadas flóculos. El objetivo es conseguir flóculos que puedan ser separados del agua mediante un proceso físico posterior como por ejemplo un sedimentador (Llanos, 2022).

Figura 6

Acción de floculación



- **Tipos de floculantes**

Floculantes inorgánicos: Se trata de compuestos químicos que incluyen elementos como aluminio, hierro y polímeros de silicio. Entre los más utilizados destacan los sulfatos de aluminio y de hierro. Su mecanismo de acción se basa en la neutralización de las cargas eléctricas negativas presentes en las partículas suspendidas, lo que facilita su aglomeración y la formación de flóculos de mayor tamaño. Estos compuestos resultan especialmente efectivos en la remoción de sólidos en suspensión, reducción de la turbidez y eliminación de partículas coloidales. Asimismo, en ciertos casos pueden desempeñar un papel adicional como coagulantes dentro del proceso de potabilización del agua (QuimicaAndina, 2024).

Floculantes orgánicos sintéticos: Estos polímeros presentan la capacidad de adsorber y recubrir las partículas suspendidas, favoreciendo la formación de flóculos de mayor tamaño y peso, los cuales se sedimentan con rapidez. Su aplicación es frecuente en

el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, debido a su elevada eficiencia en la remoción de sólidos en suspensión, aceites, grasas y otros contaminantes de origen orgánico. Además, contribuyen significativamente a la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de la demanda química de oxígeno (DQO) en los efluentes (QuimicaAndina, 2024).

Floculantes naturales: Los floculantes naturales poseen propiedades floculantes gracias a su estructura química, la cual les permite generar puentes entre las partículas en suspensión y favorecer su aglomeración. Una de sus principales ventajas es que son biodegradables y ambientalmente sostenibles, lo que los convierte en una alternativa apropiada en procesos donde se busca reducir el impacto ambiental. No obstante, su desempeño puede resultar menos eficiente en comparación con los floculantes inorgánicos y los polímeros sintéticos de origen orgánico (QuimicaAndina, 2024).

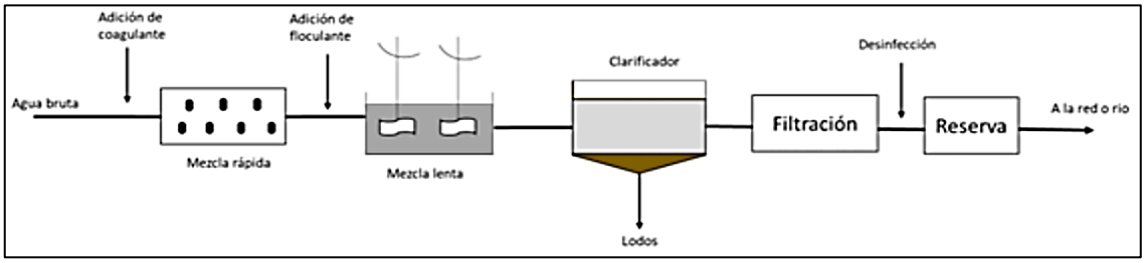
Floculantes catiónicos y aniónicos: Además de su clasificación por tipo de origen, los floculantes también pueden agruparse en catiónicos y aniónicos, de acuerdo con la carga eléctrica que presentan. Los floculantes catiónicos poseen carga positiva y resultan especialmente eficaces en la neutralización de partículas con carga negativa, por lo que se emplean con frecuencia en la remoción de sustancias orgánicas y en el tratamiento de aguas residuales industriales con compuestos de origen orgánico. En contraste, los floculantes aniónicos presentan carga negativa y son adecuados para la coagulación de partículas con carga positiva, siendo utilizados principalmente en la eliminación de sólidos en suspensión y en la reducción de la turbidez del agua (QuimicaAndina, 2024).

Proceso de tratamiento de coagulación y floculación

El objetivo es eliminar del agua partículas coloidales en suspensión mediante procesos físico químicos (Coagulación, floculación, sedimentación y filtración) (Llanos, 2022).

Figura 7

Procesos de Tratamiento de aguas para coagulación y floculación



2.2.2.8. Coagulante natural para el tratamiento de aguas superficiales.

2.2.2.8.1. La papaya

La papaya *(Carica Papaya)* se cultiva en terrenos que contengan abundante humedad y que sean ricos en materia orgánica. Sus hojas son fuente de flavonoides, taninos, compuestos fenólicos, lípidos y ácidos orgánicos. (Aliaga, 2019)

Este fruto crece en un árbol pequeño y caducifolio que puede alcanzar de 15 a 30 pies de altura. A menudo se puede encontrar en el sotobosque del bosque, donde crece en grupos o matorrales. Por lo general, esto se debe a la prolífica extracción de raíces, aunque las plántulas pueden desarrollarse a partir de frutos que caen al suelo, pero son poco comunes y, a menudo, se encuentran a cierta distancia de un matorral de papayas cuando los animales se llevan y consumen los frutos. (MONTABIOTIC, 2023)

En lugares soleados, los árboles generalmente tienen una forma piramidal con un solo tronco recto que tiene hojas caídas de 6 a 12 pulgadas, obovadas-oblongas, de color verde oscuro, que se vuelven amarillas en el otoño. (MONTABIOTIC, 2023)

Taxonómicamente, las frutas son oblongas a bayas cilíndricas. Por lo general, miden de 1 a 6 pulgadas de largo, de 1 a 4 pulgadas de ancho y pesan desde 7 onzas hasta 2 libras. Llevados solos o en racimos, los frutos se asemejan a las “manos” de los plátanos (*Musa spp.*). Algunos racimos de papaya pueden pesar hasta 3 libras. (MONTABIOTIC, 2023)

Las papayas tienen una piel fina de color verde y una pulpa amarilla, dorada o blanca. Esta fruta altamente aromática sabe similar a un plátano, mango o piña. La fruta no se debe cosechar hasta que la piel ceda (muescas) ligeramente al apretarla con el dedo, ya que la fruta no madura adecuadamente si se cosecha cuando está muy firme. (MONTABIOTIC, 2023)

Variedades

Se han desarrollado un gran número de variedades, empleándose en cada zona de cultivo las mejor adaptadas a sus condiciones climatológicas. Las variedades mestizas son poco estables, y se recomienda tener cuidado en obtener semillas de progenitores que pertenezcan a la misma variedad.

Frecuentemente las variedades desarrolladas en una zona no se comportan bien en otras zonas. Por esta razón es necesario realizar siembras de pruebas en áreas pequeñas antes de establecer una plantación.

Entre las variedades cultivadas tenemos tenemos las siguientes según (SENASA, 2020):

- **Criolla normal:** Representa la mayor parte del cultivo de papaya en Perú, con

un 90% de las áreas instaladas.

- **Maragol:** Es otra de las variedades cultivadas en el país.
- **Papaya Tingo María 331 (PTM 331):** Es una de las variedades específicas que se encuentran en el cultivo peruano.

También quedan algunos rezagos de variedades creadas por la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) como “PA 1” y “PA2”, las cuales no se han producido hace más de 20 años. (Agraria, 2013)

2.2.2.8.2. Carica Papaya

Las semillas de *Carica Papaya*, un árbol tropical, contienen una proteína soluble en agua y con carga positiva, conocida como cistina proteasa, que surgió como un posible coagulante en tratamientos de agua y aguas residuales. Las aplicaciones de coagulantes naturales se han planteado en muchos ensayos de evaluación a lo largo de muchos años debido a las dificultades que plantea el uso de coagulantes químicos. (Unnisa, 2018)

2.2.2.8.3. Semilla de papaya

(Maldonado, 2017) describe a la semilla de la papaya esféricas, pequeñas y negras, las cuales están envueltas en una capa mucilaginosa llamada sacrotesta, alcanzando un fruto bien polinizado entre 300 a 700 semillas.

Asimismo, estudios morfológicos señalan que las semillas presentan dimensiones de 3.7 a 4.5 mm de largo, 2.0 a 2.8 mm de ancho y 2.0 a 2.5 mm de grosor, manteniendo su forma globosa y la presencia de la capa mucilaginosa característica, sacrotesta pardo negruzca y arrugada. (CONABIO, 2018)

2.2.2.8.4. Biofloculante de semilla de papaya (Carica Papaya)

La semilla de papaya funciona como coagulante debido a la presencia de proteínas cargadas positivamente que se unen con las partículas cargadas negativamente (limo, arcilla, bacterias, toxinas, etc.), permitiendo que los flóculos resultantes se asienten y se obtenga agua clara (mediante adsorción y neutralización de carga). (Yimer, A. y Dame, B, 2021)

Es decir, las proteínas de la semilla de papaya tienen una carga eléctrica positiva. Las partículas que causan la turbidez en el agua (como la arcilla o las bacterias) tienen una carga negativa. Al igual que los imanes con polos opuestos, las proteínas positivas se adhieren a las partículas negativas, neutralizando su carga. Esto permite que se agrupen, formen flóculos pesados y se asienten en el fondo. (Yimer, A. y Dame, B, 2021)

2.2.2.9. Prueba de jarras

La prueba de jarras es un método de prueba mecánica y física que utiliza procedimientos químicos en muestras de agua para determinar el tratamiento químico óptimo y las dosis adecuadas de productos químicos en un flujo específico de agua. Se conoce como una prueba de laboratorio a escala piloto que simula la coagulación o fluctuación con diferentes dosis químicas con el propósito de estimar la dosis mínima de coagulante requerida para lograr ciertos objetivos de calidad del agua. (Aqua Integral, 2022)

El objetivo principal de estas pruebas es determinar las dosis apropiadas de químicos para maximizar la clarificación del agua, minimizar los costos operativos y reducir el impacto ambiental de los subproductos generados. (Aqua Integral, 2022)

2.2.2.10. Dosis de coagulante

La dosis de coagulante se define como la cantidad de coagulante adicionada por unidad de volumen de agua, necesaria para neutralizar las cargas de las partículas

coloidales y promover su agregación en flóculos sedimentables. Según (Arboleda, 2000), la dosis óptima es aquella que permite alcanzar la máxima remoción de turbidez y sólidos suspendidos sin generar efectos adversos como la reestabilización de partículas por sobredosificación.

De acuerdo con (Metcalf & Eddy, 2014), la dosis de coagulante depende de las características del agua cruda, tales como la turbidez inicial, el pH, la alcalinidad y la concentración de materia orgánica, por lo que debe ser determinada experimentalmente mediante ensayos de jarras. Una dosis insuficiente no logra una coagulación eficiente, mientras que una dosis excesiva puede provocar la dispersión de flóculos formados.

En el caso de coagulantes naturales, diversos autores coinciden en que la dosis óptima suele ubicarse en rangos menores en comparación con coagulantes químicos convencionales. (Gómez Vaca yTomalá Medina, 2021), señalan que las semillas de *Carica Papaya* presentan una alta eficiencia coagulante a dosis bajas, siempre que se mantengan condiciones adecuadas de mezcla y tiempo de contacto.

2.3. Definición de términos básicos

Afluente: Es el agua que entra en las plantas se somete a procesos de tipo físico, químico y biológico con la finalidad de eliminar los contaminantes presentes en el agua.

Biofloculante: Los biofloculantes son polímeros biodegradables y seguros que no generan contaminación secundaria. Su naturaleza limpia y no tóxica los convierte en una alternativa ambientalmente favorable frente a los floculantes químicos, ideales para los procesos de tratamiento de aguas. (Giraldo, 2015)

Filtración: Se conoce como filtración a una técnica para separar sólidos en suspensión dentro de un fluido (líquido o gas), empleando para ello un medio filtrante que consiste en un material poroso que se denomina tamiz, filtro o criba (Etece,2024).

Flotación: La flotación se define como un proceso físico-químico de tensión superficial que separa los minerales sulfurados del metal de otros minerales y especies que compone (Coldeco,2018).

PTAR son las siglas de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Se trata de un lugar físico equipado y destinado para llevar a cabo procesos químicos, físicos y biológicos que eliminan los contaminantes presentes en el agua residual (Aqua, 2024).

Sedimentación: La sedimentación es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin (QuimicaAndina, 2024).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

El enfoque de la investigación adoptó una perspectiva cuantitativa, ya que se expresa los resultados de manera numérica, como la eficiencia del tratamiento en porcentaje a partir de los resultados de análisis de laboratorio.

3.1.1. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es descriptivo, debido a que se reportó los datos con respecto al tratamiento específicamente, según las condiciones de estos.

3.1.2. Diseño de la investigación

Se planteó un diseño completamente al azar (DCA) con una estructura de arreglo factorial 3x3x2. Mediante un modelo lineal aditivo que contempla al factor A (dosis), factor B (tiempo) y el factor C (agitación), formulado para explicar el valor a observar (Y_{ijkl}) de acuerdo a lo siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \Upsilon_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\Upsilon)_{ik} + (\beta\Upsilon)_{jk} + (\alpha\beta\Upsilon)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} : Es la observación en el l-ésimo réplica bajo el i-ésimo nivel del Factor A, el j-ésimo nivel del Factor B, y el k-ésimo nivel del Factor C.

representa la observación de la variable respuesta obtenida en la l-ésima réplica correspondiente al tratamiento definido por el i-ésimo nivel del Factor A, el j-ésimo nivel del Factor B y el k-ésimo nivel del Factor C.

μ: Es la media general (efecto promedio de todos los tratamientos).

αi: Es el efecto del i-ésimo nivel del Factor A (i = 1, 2, 3).

βj: Es el efecto del j-ésimo nivel del Factor B (j = 1, 2, 3).

Υ_k: Es el efecto del k-ésimo nivel del Factor C (k = 1, 2).

$(\alpha\beta)_{ij}$: Es el efecto de la interacción de dos factores entre A y B.

$(\alpha\Upsilon)_{ik}$: Es el efecto de la interacción de dos factores entre A y C.

$(\beta\Upsilon)_{jk}$: Es el efecto de la interacción de dos factores entre B y C.

$(\alpha\beta\Upsilon)_{ijk}$: Es el efecto de la interacción de tres factores entre A, B y C.

ε_{ijkl}: Es el error experimental aleatorio asociado a cada observación.

Tabla 1

Diseño de experimento DCA con arreglo factorial 3x3x2

VI: Biofloculante			
Dosis	**Tiempo**	**Agitación**	
		100	500
1 g/ l	1 minuto	T 1	T 10
	5 minutos	T 2	T 11
	10 minutos	T 3	T 12
2.5 g/ l	1 minuto	T 4	T 13
	5 minutos	T 5	T 14
	10 minutos	T 6	T 15
5 g/ l	1 minuto	T 7	T 16
	5 minutos	T 8	T 17
	10 minutos	T 9	T 18
VD:. Ph, Conductividad, Turbiedad			

Este diseño específico combina los siguientes niveles:

Factor A: 3 niveles.

Factor B: 3 niveles.

Factor C: 2 niveles.

El número total de tratamientos distintos (T) es el producto del número de niveles de cada factor = 3x3x2 = 18 tratamientos diferentes

VARIABLES DE ANÁLISIS

Variable independiente

Bio-floculante

Indicadores: Dosis, tiempo, agitación

Variable dependiente

Características físico-químicas del agua

Indicadores: pH, Conductividad, Turbidez

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de la presente investigación está representada por toda el agua de la laguna, considerada como infinita, “ya que posee o incluye un numero grande de elementos, de tal forma que al estudiar estadísticamente esta población es necesario recurrir a muestras” (Gutiérrez & De la Vara 2012) en el momento específico en que se realizó la investigación.

3.2.2. Muestra

Se utilizó un muestreo no probabilístico, “técnica de selección de muestras donde la elección de los elementos o unidades de estudio no depende de la probabilidad (como lo haría una selección al azar), sino del juicio, la decisión o la conveniencia del investigador” (Hernández Fernández y Baptista 2014)

La recolección del agua se realizó en la laguna de Yarinacocha, específicamente en el epilimnio en la zona del boulevard, identificada como el sector con mayor contaminación visible, utilizando protocolos estandarizados.

El volumen de agua recolectada se definió en función de los requerimientos experimentales. Dado que la prueba de jarras exige un mínimo de 2 litros por tratamiento, por ello, se realizaron 18 experimentos con tres repeticiones cada uno. En consecuencia, la muestra utilizada en la presente investigación correspondió a un total de **108 litros de agua**, de los cuales se obtuvieron 54 submuestras para su análisis.

3.3. Procedimientos de recolección de datos

3.3.1. Punto de muestreo

Se seleccionó 01 punto de muestreo ubicado aproximadamente a 500 metros lineales del Boulevard de Yarinacocha.

Tabla 2

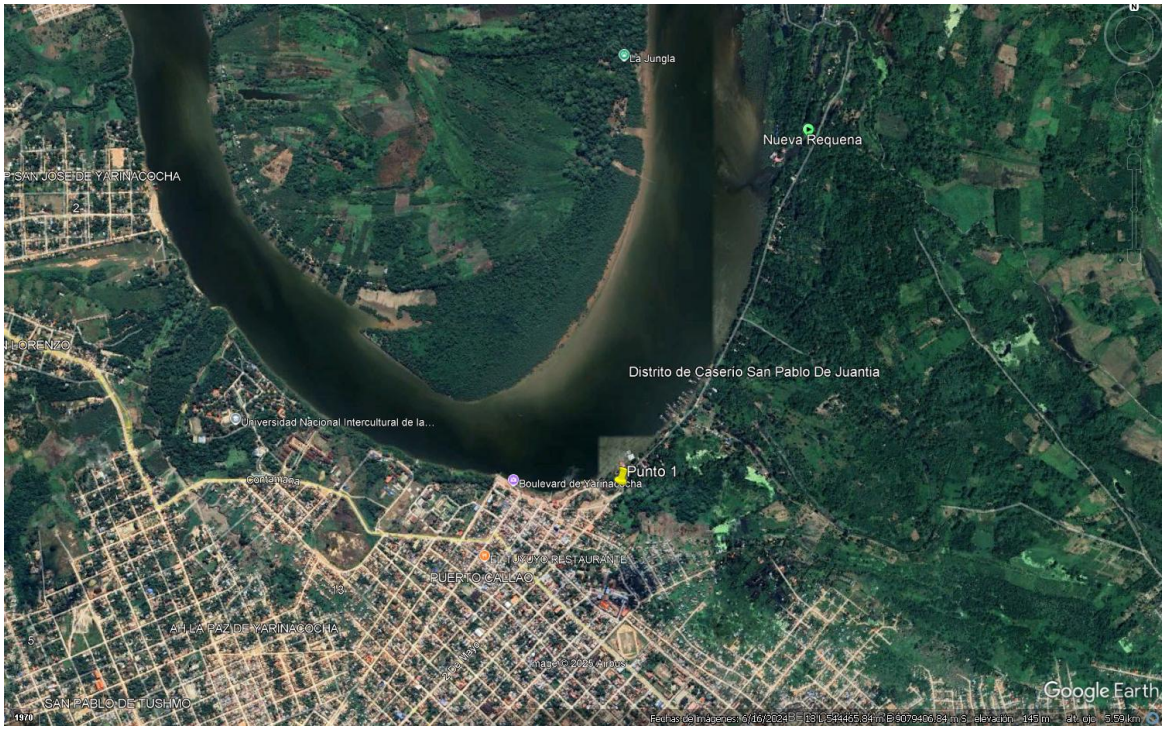
Punto de recolección de muestras

Punto de muestreo	**Coordenadas "UTM - WGS 84**	
	Norte/Latitud	**Este/Longitud**
AR01-2101	9076848	547126

Mediante el uso del programa Google Earth se identificó y georreferenció con precisión el punto de la recolección de la muestra.

Figura 8

Ubicación del punto de recolección de la muestra en la laguna de Yarinacocha.



Nota. La figura presenta una vista satelital del sector norte de la ciudad de Pucallpa, donde se identifica el punto específico de recolección de la muestra en la laguna de Yarinacocha, próximo al caserío San Pablo de Juanita.

La selección del punto de muestreo respondió a criterios metodológicos y ambientales, permitió ubicar un punto suficientemente alejado de la orilla inmediata, que suele presentar alteraciones por tránsito de embarcaciones, descargas directas, acumulación de residuos y remoción constante del sedimento y, al mismo tiempo, lo bastante cercano como para representar de forma fiable el impacto directo de la actividad humana sobre la calidad del agua en el sector. Esta ubicación intermedia favorece una muestra más estable, representativa y menos afectada por interferencias puntuales propias de la ribera.

3.3.2. Toma de Muestras

La toma de muestras in situ se realizó de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado con resolución jefatural Nº010-2016-ANA.

3.3.2.1. Recolección para Análisis de Línea Base (Agua Cruda).

Se procedió a realizar la primera recolección de agua, cuyo objetivo fue caracterizar el estado inicial del agua de la laguna.

Cabe precisar que los materiales, insumos y equipos empleados durante la recolección, conservación y transporte de las muestras fueron seleccionados y utilizados conforme a los requerimientos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el presente estudio, así como a las recomendaciones técnicas del laboratorio responsable del análisis, Environmental Testing Laboratory S.A.C., asegurando la representatividad y estabilidad de las muestras durante su manejo y análisis.

El procedimiento fue el siguiente:

- **Reconocimiento del entorno**

  Se realizó una inspección preliminar del área de estudio con el fin de identificar las características físicas del sitio, las posibles fuentes de contaminación y las condiciones ambientales presentes.

- **Rotulado y etiquetado**

  Previo a la recolección, se prepararon los frascos de muestreo con etiquetas que incluían el código de muestra, fecha, hora, ubicación y parámetro. Este proceso aseguró la correcta identificación de cada muestra durante todas las etapas de manejo, transporte y análisis.

- **Georreferenciación del punto de monitoreo**

  Se procedió a georreferenciar el punto mediante un Sistema de posicionamiento global (GPS), registrando las coordenadas UTM para asegurar la precisión en la ubicación del punto.

- **Medición de los parámetros de campo**

  Se midieron in situ los parámetros fisicoquímicos, como pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez, utilizando un equipo multiparametro debidamente calibrado.

- **Toma de muestra**

  Se inició enjuagando cada envase tres veces con el agua de la propia muestra, con la finalidad de acondicionar los recipientes y evitar contaminación. Posteriormente, las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico de 1000 mL para el análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), el cual se llenó completamente sin dejar burbujas de aire. Asimismo, se tomaron muestras en frascos de plástico de 500 mL para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), así como en frascos de plástico de 250 mL para el análisis de Metales Totales y coliformes totales, asegurando en todos los casos el volumen requerido para cada parámetro analítico.

- **Preservación**

  Para la conservación de las muestras, aquellas destinadas al análisis de DBO_5 fueron mantenidas en refrigeración a una temperatura ≤ 6 °C. Las muestras para DQO se preservaron mediante la adición de 10 gotas de ácido sulfúrico (H2SO4) 1:1 hasta alcanzar un pH menor a 2, y las destinadas al análisis de Metales Totales mediante la adición de 10 gotas de ácido nítrico (HNO3) 1:1 hasta lograr un

pH < 2; en ambos casos, las muestras fueron almacenadas en refrigeración a ≤ 6 °C, garantizando su estabilidad hasta el análisis en laboratorio.

- **Llenado de la cadena de custodia**

  Se registró toda la información referente a la recolección de las muestras en el formato de cadena de custodia, incluyendo identificación, hora, numero de envases (04 frascos de plástico), preservantes utilizados (H2SO4 y HNO3) y responsables del manejo.

- **Transporte de las muestras**

  Las muestras se almacenaron en una conservadora de 25 litros con refrigerantes a aproximadamente 6°C para preservar sus características durante el transporte al laboratorio con ice packs o bajo condiciones controladas de temperatura.

3.3.2.2. Recolección para Pruebas Experimentales (Prueba de Jarras)

La segunda recolección se destinó a obtener el volumen de agua necesario para realizar los 18 experimentos y sus tres repeticiones.

Cálculo de Volumen: Se determinó un volumen total de 108 litros, considerando 2 litros por cada tratamiento (total de 54 tratamientos, incluyendo repeticiones).

Recolección de muestra. Para la recolección del volumen requerido (108 L), se emplearon cuatro baldes plásticos de 30 L de capacidad cada uno, previamente enjuagados tres veces con agua de la propia laguna para evitar contaminación cruzada. La utilización de cuatro recipientes permitió obtener el volumen total en una sola recolección.

Transporte y Almacenamiento. El volumen total fue transportado al laboratorio de experimentación y almacenado en un recipiente con tapa hermética de 150 litros, para mantener sus condiciones lo más estables posible antes de iniciar las pruebas de jarras.

3.3.2.2.1. Preparación del Biofloculante a partir de las semillas de papaya.

Se preparó polvo de semillas de papaya utilizado como Biofloculante natural siguiendo la metodología de Díaz (2019).

Paso 1: Selección y recolección de semillas

Se realizo la compra de cuatro papayas criollas en estado de madurez fisiológica, procurando que todos los frutos presentaran dimensiones similares. Posteriormente, se trasladó al Laboratorio de Microbiología Ambiental y Química de la Universidad Nacional de Ucayali, fueron lavados y se retiró la cáscara para proceder a cortarlos y extraer manualmente las semillas.

Figura 9

Procesado de la papaya para la obtención de la semilla



Paso 2: Lavado y limpieza de semillas

Se procedió a realizar el lavado de las semillas seleccionadas de la papaya para retirar el mucílago. Después de retirado el mucílago se enjuagó las semillas con agua por 3 minutos con la finalidad de eliminar las impurezas.

Figura 10

Lavado y enjuague de la semilla para eliminación de impurezas



Paso 3: Secado de semillas

Posteriormente, las semillas fueron trasladadas a una estufa a 50 °C durante 24 horas. El secado controlado elimina la humedad sin degradar los compuestos bioactivos, preparando las semillas para la molienda y almacenamiento posterior.

Figura 11

Secado de la semilla de papaya



Paso 4: Trituración y tamizado

Las semillas secas se trituraron mediante un molino triturador y se tamizaron para obtener un polvo fino de color marrón con partículas de 1.1 mm. Esta uniformidad en el tamaño de las partículas permite una correcta disolución y distribución del Biofloculante durante los ensayos experimentales.

Figura 12

Molienda de la semilla seca de papaya



Posteriormente, el biofloculante fue reservado en un recipiente limpio y debidamente identificado, donde se mantuvo almacenado hasta su utilización en los tratamientos correspondientes.

3.3.3. Método de jarras para pruebas de floculantes y coagulantes

La Prueba de Jarras (Jar Test) constituye un ensayo a escala reducida que permite evaluar la efectividad de los productos químicos empleados en un sistema específico de tratamiento de agua. Este procedimiento reproduce, de manera controlada, el proceso de coagulación y floculación que ocurre en una planta de tratamiento, lo que facilita al operador definir la dosificación óptima de reactivos y, en consecuencia, optimizar el desempeño de la planta. La prueba consiste en variar las cantidades de los productos químicos y el orden de su incorporación, mientras la muestra es sometida a agitación. De este modo, es posible

observar la formación, desarrollo y sedimentación de los flóculos en condiciones similares a las que se presentan a gran escala en la planta de tratamiento (VELP, 2024).

3.3.3.1. Procedimiento experimental para la prueba de jarras utilizando Biofloculante de semilla de papaya.

El ensayo experimental se estructuró en la variación de tres factores principales: dosis del Biofloculante, tiempo de agitación y velocidad de mezcla. Cada combinación experimental permitió identificar el comportamiento del material floculante bajo diferentes condiciones operativas.

Preparación de la muestra

Cada corrida experimental utilizó 500 mL de agua sin tratar, los cuales fueron colocados en un vaso precipitado de vidrio de 1000 mL de capacidad. El vaso fue posicionado sobre un agitador magnético marca DLAB. Se colocó un imán magnético en el interior del vaso para garantizar una mezcla homogénea durante el proceso.

Mediciones iniciales de parámetros fisicoquímicos

Antes de iniciar cada prueba se realizó la caracterización inicial de la muestra de agua mediante un equipo multiparámetro digital, el cual permitió registrar pH y conductividad eléctrica.

Asimismo, se midió la turbidez utilizando un turbidímetro marca HACH modelo 2100Q previamente calibrado, para lo cual se tomaron 10 mL de la muestra en la cubeta del equipo. Estos datos fueron registrados como valores iniciales para comparar el efecto del tratamiento.

Condiciones

El diseño experimental se basó en la variación sistemática de tres niveles de dosis del Biofloculante y dos velocidades de agitación, combinados con tres tiempos de mezcla. Las condiciones fueron las siguientes:

Dosis evaluadas

- 1 g/L
- 2.5 g/L
- 5 g/L

Velocidades de agitación

- 100 rpm (mezcla lenta)
- 500 rpm (mezcla rápida)

Tiempos de agitación

- 1 minuto
- 5 minutos
- 10 minutos

Cada dosis fue sometida a las seis combinaciones de velocidad y tiempo, resultando en un total de 18 ensayos experimentales.

$$2 \text{ velocidades} \times 3 \text{ tiempos} = 6 \text{ combinaciones}$$

Es decir, para cada dosis del Biofloculante (1 g/L, 2.5 g/L y 5 g/L) se realizan las siguientes combinaciones:

- ✓ 1 min – 100 rpm
- ✓ 5 min – 100 rpm
- ✓ 10 min – 100 rpm
- ✓ 1 min – 500 rpm
- ✓ 5 min – 500 rpm
- ✓ 10 min – 500 rpm

$$6 \text{ combinaciones por dosis} \times 3 \text{ dosis} = 18 \text{ ensayos experimentales}$$

Este enfoque permitió analizar el comportamiento del Biofloculante tanto en condiciones de mezcla suave (100 rpm) como de alta energía (500 rpm), evaluando su influencia en la formación y estabilidad de los flóculos en tiempos cortos, medios y prolongados de agitación.

Procedimiento por cada corrida experimental

Cada combinación experimental de dosis, tiempo y agitación fue desarrollada mediante un procedimiento estandarizado, con el fin de garantizar uniformidad y reproducibilidad en todos los ensayos realizados.

Paso 1: Preparación de la muestra

Se coloca el vaso precipitado con 500 mL de agua sin tratar sobre el agitador magnético, verificando la correcta posición del imán para asegurar una mezcla uniforme.

Paso 2: Configuración del agitador

Se ajusta la velocidad (100 o 500 rpm) y el tiempo de agitación correspondiente a la prueba (1, 5 o 10 minutos), sin iniciar aún el movimiento.

Paso 3: Incorporación del Biofloculante

Se añade la dosis exacta del Biofloculante (1 g/L, 2.5 g/L o 5 g/L), inmediatamente antes de iniciar la agitación, evitando la formación de grumos.

Paso 4: Mezclado controlado

Se activa el agitador magnético y se permite que la muestra se mezcle durante el tiempo programado.

La agitación facilita la dispersión del Biofloculante y promueve la interacción con las partículas suspendidas en el agua.

Paso 5: Sedimentación

Finalizado el tiempo de mezcla, la agitación se detiene y se deja reposar la muestra durante 30 minutos, tiempo suficiente para permitir la formación y sedimentación de los flóculos generados.

Paso 6: Recolección y medición post tratamiento

Transcurrido el periodo de sedimentación, se extrae cuidadosamente la fase clarificada para evitar la resuspensión de sólidos.

Se repiten las mediciones de pH, conductividad, y turbidez, utilizando el multiparámetro y el turbidímetro.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Técnicas

La técnica de recolección de datos empleada en la presente investigación fue la medición directa u observación instrumental y la experimentación en laboratorio. En una primera etapa, se realizaron mediciones *in situ* de los parámetros fisicoquímicos del agua mediante equipos portátiles previamente calibrados, con la finalidad de establecer las condiciones del agua de la Laguna de Yarinacocha. Posteriormente, se desarrolló la prueba de jarras como método experimental de laboratorio, aplicando de forma controlada distintas dosis del Biofloculante a las muestras recolectadas. Luego del tratamiento, se efectuaron nuevamente mediciones de los parámetros fisicoquímicos utilizando instrumentos de laboratorio, lo que permitió evaluar el efecto del Biofloculante sobre la calidad del agua.

3.4.2. Instrumentos

- Cooler de 15 L
- 1 frasco de plástico de 1000 ml

- 1 frasco de plástico de 500 ml
- 2 frascos de plástico de 250 ml
- Pipeta de 10 ml
- Cuchara de laboratorio
- Bandeja de metal de 30 × 22 × 5 cm
- Guantes de látex descartables
- 10 Ice pack
- Formatos Ficha de Campo
- Cadena custodia
- Vaso precipitado de 1000 ml
- Baldes de 30 L
- Un tamiz GILSON Nº 1.1 mm

3.4.3. Equipos

- GPS marca Garmin modelo GS64
- Multiparámetro portátil marca HANNA INSTRUMENTS modelo HI9811-5
- Turbidímetro marca HACH modelo 2100Q
- Cámara fotográfica
- Cono de Inhoff
- Horno de secado marca ACKERMAN modelo WHLI-25AB

- Agitador magnético marca IKA modelo MAG HS10
- Agitador de paleta para prueba de jarras
- Moledora de mano
- Balanza analítica marca OHAUS modelo OH-887951

3.4.4. Insumos

- Biofloculante
- Agua de laguna de Yarinacocha
- Kit de análisis de hierro
- Estándar de multiparámetro
- Agua destilada.
- Ácido sulfúrico
- Ácido nítrico

3.5. Procesamiento para recolección de datos

Los datos obtenidos de los 18 experimentos realizados en laboratorio fueron registrados y organizados en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel. Para cada experimento se consignaron los valores correspondientes a los parámetros fisicoquímicos evaluados: turbidez, pH y conductividad.

La información fue estructurada en tablas, las cuales sirvieron como base para su posterior análisis estadístico.

3.6. Tratamiento de datos

En la presente investigación, se realizó el análisis estadístico inferencial empleando el software MINITAB 19. Con el fin de evaluar si existía influencia de los factores sobre las variables respuesta, individualmente, y por interrelación entre ellas, considerando como variable clasificatoria a los tratamientos (definidos por la combinación de dosis, tiempo y velocidad de agitación) y como variables de respuesta a los parámetros fisicoquímicos medidos (pH, conductividad, turbidez).

Una vez evaluada la influencia mediante análisis de varianza (ANOVA) y Kruskal Wallis se aplicó la prueba post hoc de Tukey (Tukey HSD) al factor influenciante con el objetivo de determinar entre qué tratamientos existían diferencias estadísticamente significativas. Esta prueba permitió comparar todas las parejas de tratamientos y agruparlos en función de su similitud estadística, lo cual facilitó identificar cuáles combinaciones de dosis y condiciones operacionales del Biofloculante generaron un efecto mayor en la mejora de la calidad del agua.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

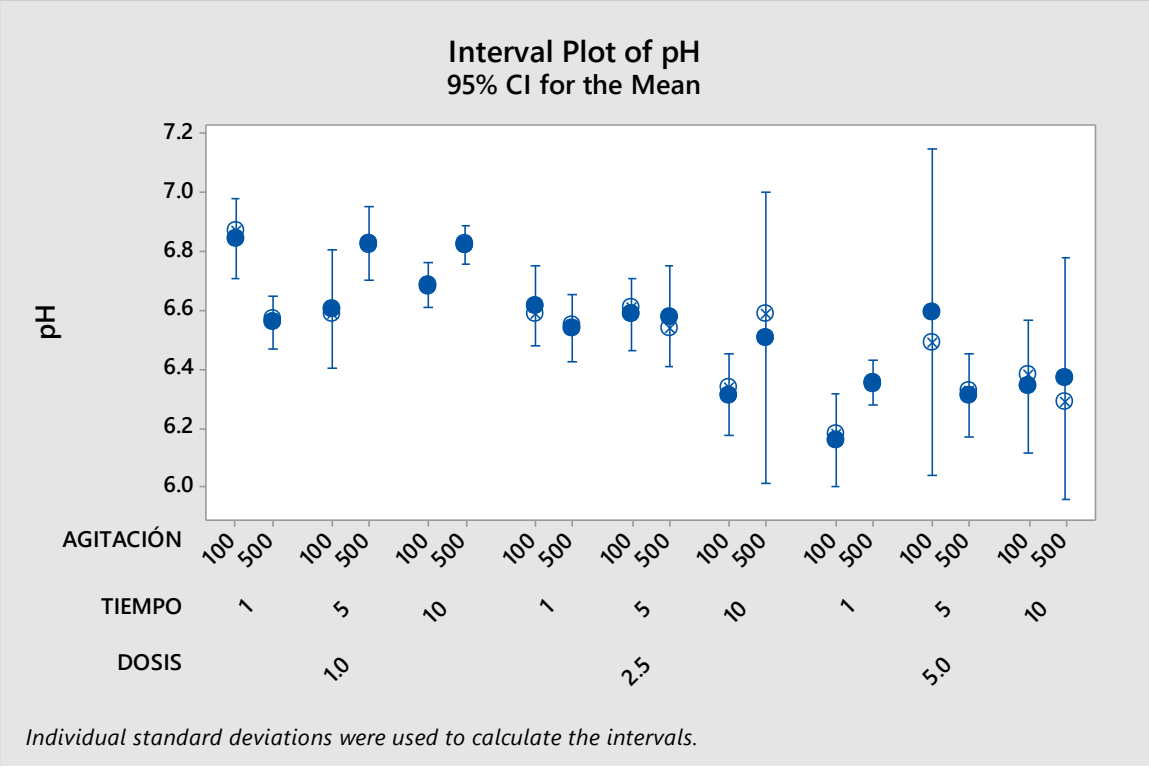
En el presente capitulo se muestran los resultados del estudio enfocados estrictamente a los objetivos planteados en el proyecto, así también se muestran gráficos y tablas donde se pueden apreciar las consideraciones del experimento según los objetivos específicos.

4.1. Determinación de parámetros óptimos del bio-floculante extraído de la semilla de papaya (Carica Papaya) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha

4.1.1. Análisis respecto del variable respuesta pH.

Figura 13

Efecto en el pH del Biofloculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha



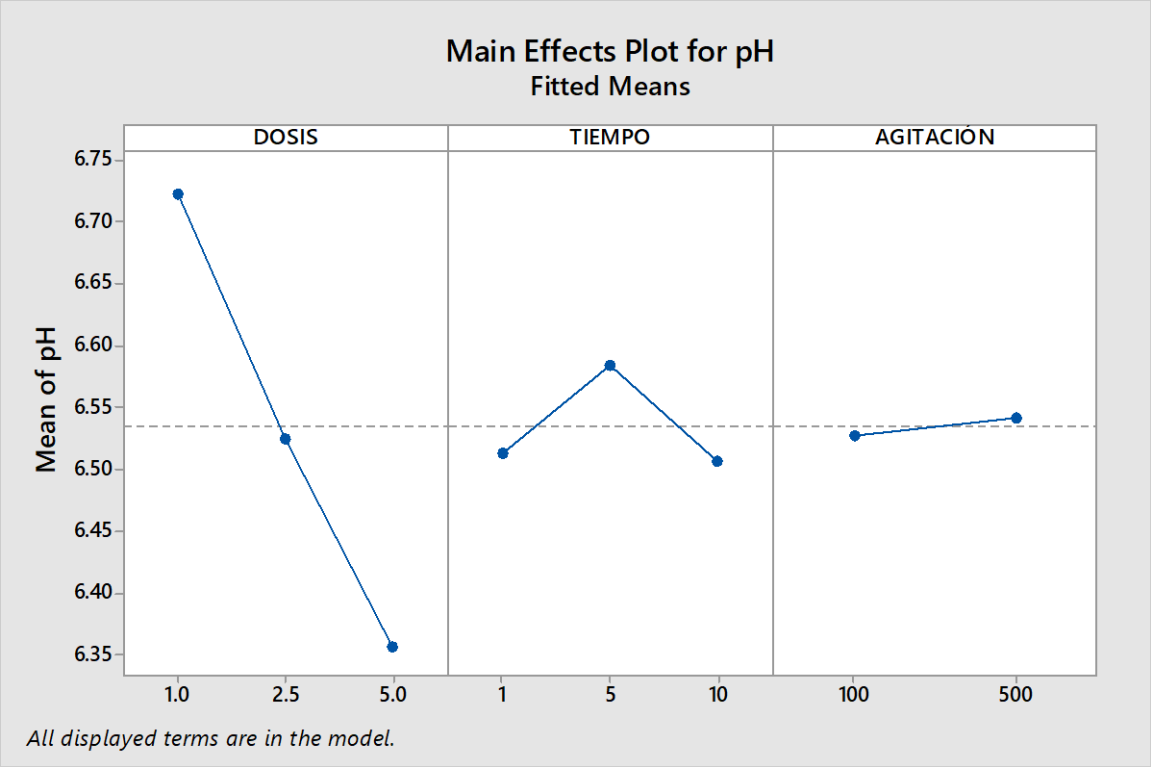
La figura 13 ilustra el efecto de diferentes dosis de Biofloculante de semilla de papaya sobre el pH del agua de la laguna de Yarinacocha. El objetivo de esta figura es demostrar cómo la aplicación del Biofloculante modifica el pH del agua tratada.

Inicialmente, el agua de la laguna presenta un pH promedio de 7,22 ± 0,22. Al aplicar 1 g/L de Biofloculante, el pH disminuye a 6,72 ± 0,12; con 2,5 g/L, el pH alcanza 6,52 ± 0,13; y con 5 g/L, se observa un pH promedio de 6,35 ± 0,16. (nivel más bajo para el tratamiento 5gr, 1min, 100rpm)

Los intervalos de confianza (las barras verticales) indican la precisión de la estimación de la media de cada tratamiento. En consecuencia, se observa que en la dosis 1.0 y 2.5: La mayoría de los intervalos de confianza son relativamente estrechos, lo que indica una buena precisión en la estimación de la media y una baja variabilidad dentro de esos grupos de tratamiento. Por otro lado, en la Dosis 5.0: Los intervalos de confianza en este nivel son notablemente más amplios, especialmente en las combinaciones de Tiempo 1 (Agitación 100). Esto sugiere que los resultados son más variables cuando se utiliza la dosis más alta, o que el factor Dosis interactúa con otros factores de manera que genera mayor dispersión en los datos a este nivel.

Figura 14

Principales efectos en el pH del Biofloculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha



De la figura 14, los resultados evidencian que a medida que aumenta la dosis de Biofloculante, el pH del agua presenta una ligera acidificación, (La Dosis es el factor dominante y tiene un efecto inverso y fuerte sobre el pH (mayor dosis, menor pH), presumiéndose un efecto directo de la dosis en la modificación de las propiedades químicas del agua tratada. Esto permite concluir que el Biofloculante no solo contribuye a la floculación, sino que también puede influir en el equilibrio ácido-base del agua, lo cual es importante considerar para su aplicación en tratamientos de aguas superficiales.

Finalmente, de la observación a los tratamientos con 100 rpm de velocidad de agitación se observa que en promedio se tiene un pH de 6.52 H^+ con una desviación de 0.21 +/-, seguido al tratamiento con 500 rpm de velocidad de agitación presenta un

promedio de 6.54 H^+ con una desviación de 0.19 +/-. Se observa como a mayor velocidad de agitación el pH presenta una mínima variación de pH entre los tratamientos.

Tabla 3

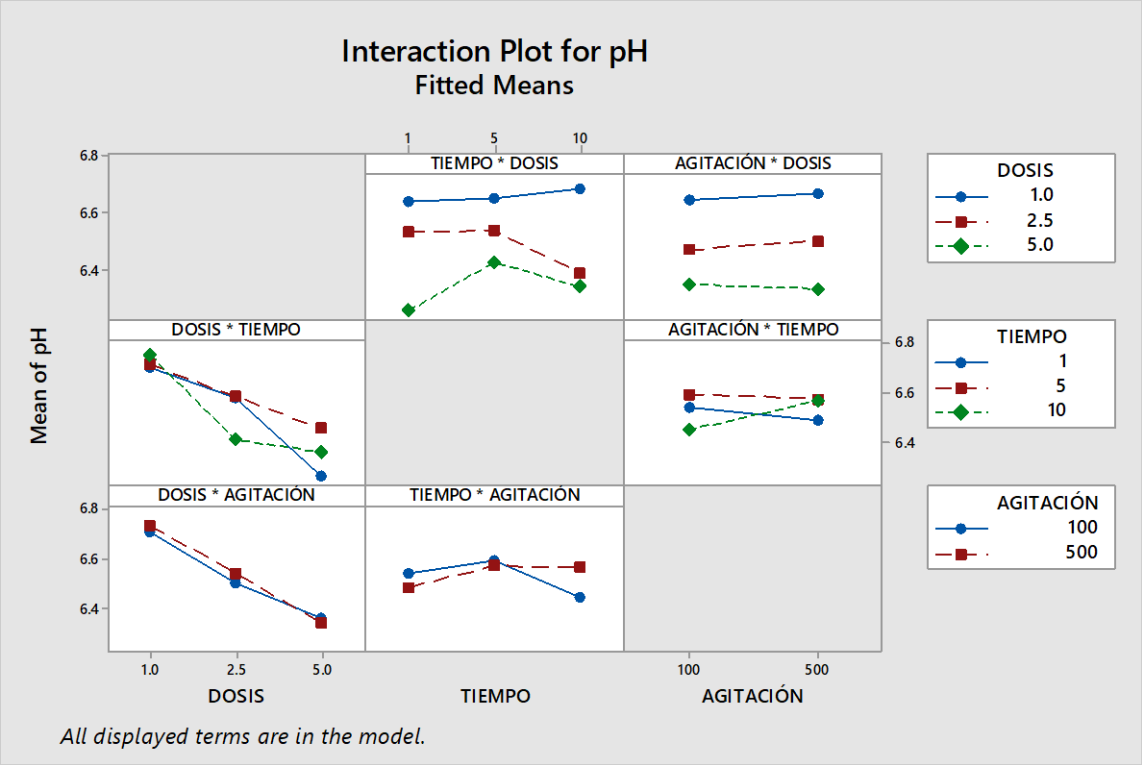
Análisis factorial general: pH versus dosis; tiempo; agitación, de Biofloculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	17	1.91973	0.112925	12.43	0.000
Linear	5	1.28570	0.257139	28.31	0.000
DOSIS	2	1.21658	0.608339	66.97	0.000
TIEMPO	2	0.06634	0.033172	3.65	0.036
AGITACIÓN	1	0.00267	0.002674	0.29	0.591
2-Way Interactions	8	0.25594	0.031993	3.52	0.004
DOSIS*TIEMPO	4	0.17318	0.043294	4.77	0.003
DOSIS*AGITACIÓN	2	0.00767	0.003835	0.42	0.659
TIEMPO*AGITACIÓN	2	0.07509	0.037546	4.13	0.024
3-Way Interactions	4	0.37810	0.094524	10.41	0.000
DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN	4	0.37810	0.094524	10.41	0.000
Error	36	0.32700	0.009083		
Total	53	2.24673			

De la tabla 3, se puede apreciar que el modelo alcanza un valor p (0.000) altamente significativo. Esto indica que al menos uno de los factores o interacciones incluidos en el modelo tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la variable de respuesta. Así mismo, el factor Dosis y Tiempo tienen un efecto principal estadísticamente significativo sobre la variable de respuesta (P-Value ≤ 0.05). por otro lado, el factor, agitación no tiene un efecto principal significativo (P-Value > 0.05). En otras palabras, la variación debida a la Agitación es similar a la variación aleatoria (Error).

Figura 15

Interacción de tres factores (dosis, tiempo y agitación) en el pH del agua tratada con bioflocculante de semilla de papaya de la laguna de Yarinacocha.



De la figura 15, por otra parte, las interacciones Dosis*Tiempo y Tiempo*Agitación son estadísticamente significativas (P-Value ≤ 0.05). Esto implica que el efecto de la Dosis depende del Tiempo, y el efecto del Tiempo depende de la Agitación. La interacción Dosis*Agitación no es significativa (P-Value > 0.05). por último, la interacción de tres vías es altamente significativa (P-Value = 0.000). Este es un hallazgo crucial. Significa que el efecto combinado de Dosis y Tiempo sobre la respuesta cambia dependiendo del nivel de Agitación.

Comparación de Tukey

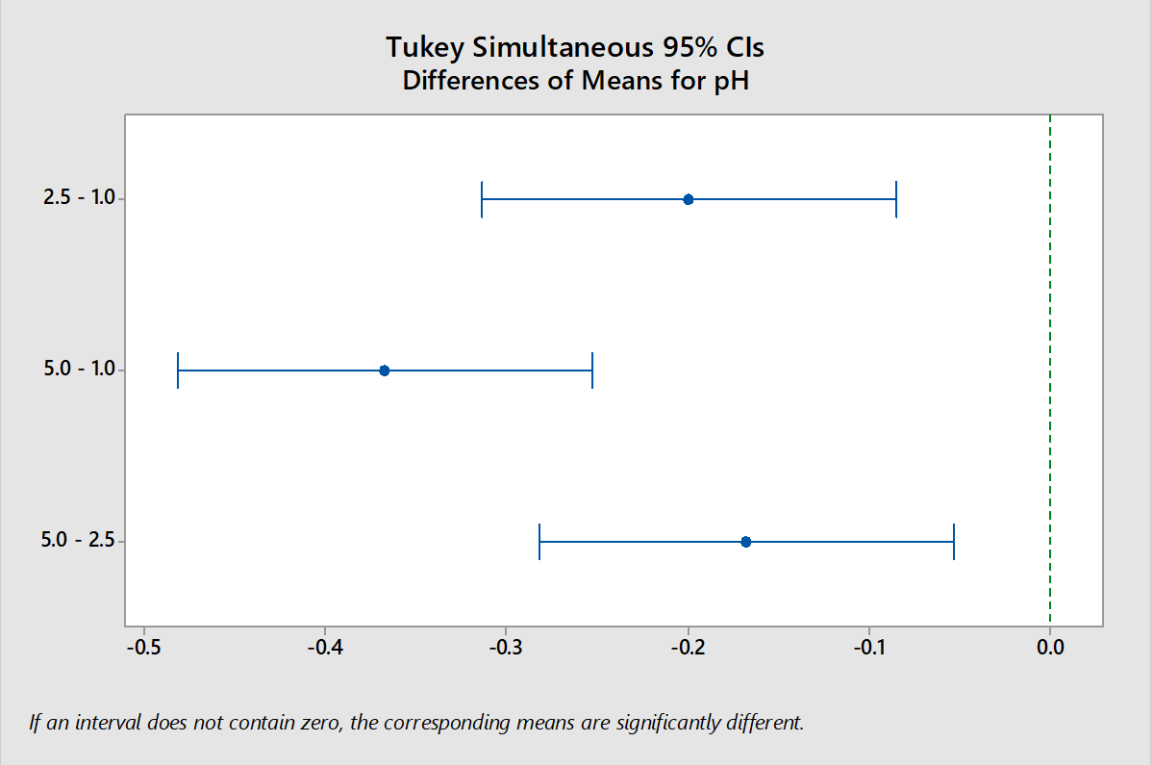
Tabla 4

Comparación pareada de Tukey para sub conjuntos de pH, respecto del factor dosis

DOSIS	N	Mean	Grouping
1.0	18	6.72333	A
2.5	18	6.52389	B
5.0	18	6.35611	C

Figura 16

Comparación pareada de Tukey para sub conjuntos de pH



La tabla 4 y figura 16, Indica mediante la comparativa de parejas de Tukey que todos los tratamientos presentan diferencias con respecto al agua sin tratar, por ende, en este caso específico se plante al mejor tratamiento a aquel que no incumpla los límites del Estándar de Calidad Ambiental de Agua para conservación que es de 6.5 a 8.5 de pH, siendo solo la dosis de 1g/l la que presenta mejores resultados, por lo que podría

considerarse la alternativa más adecuada, ya que presenta menor probabilidad de generar un incumplimiento de los límites establecidos.

Comparación de Tukey

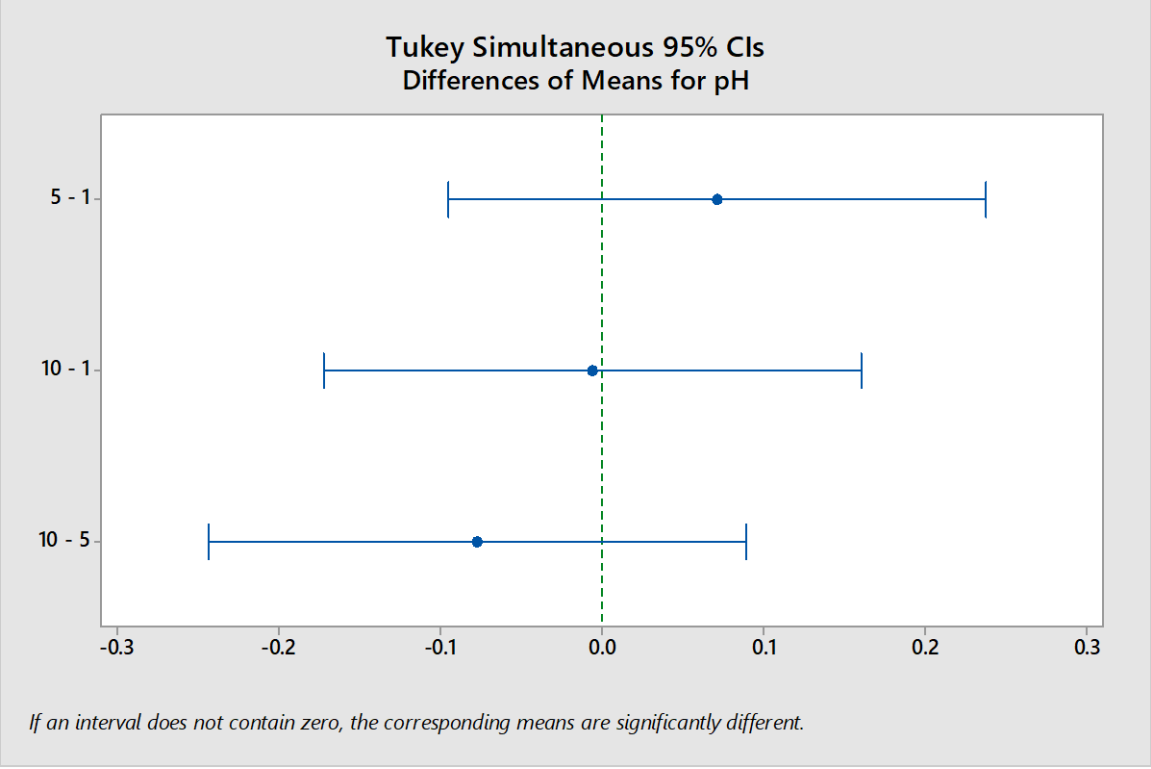
Tabla 4

Comparación pareada de Tukey para sub conjuntos de pH, respecto del factor tiempo

TIEMPO	N	Mean	Grouping
5	18	6.5839	A
1	18	6.5128	A
10	18	6.5067	A

Figura 17

Comparación pareada de Tukey para sub conjuntos de pH



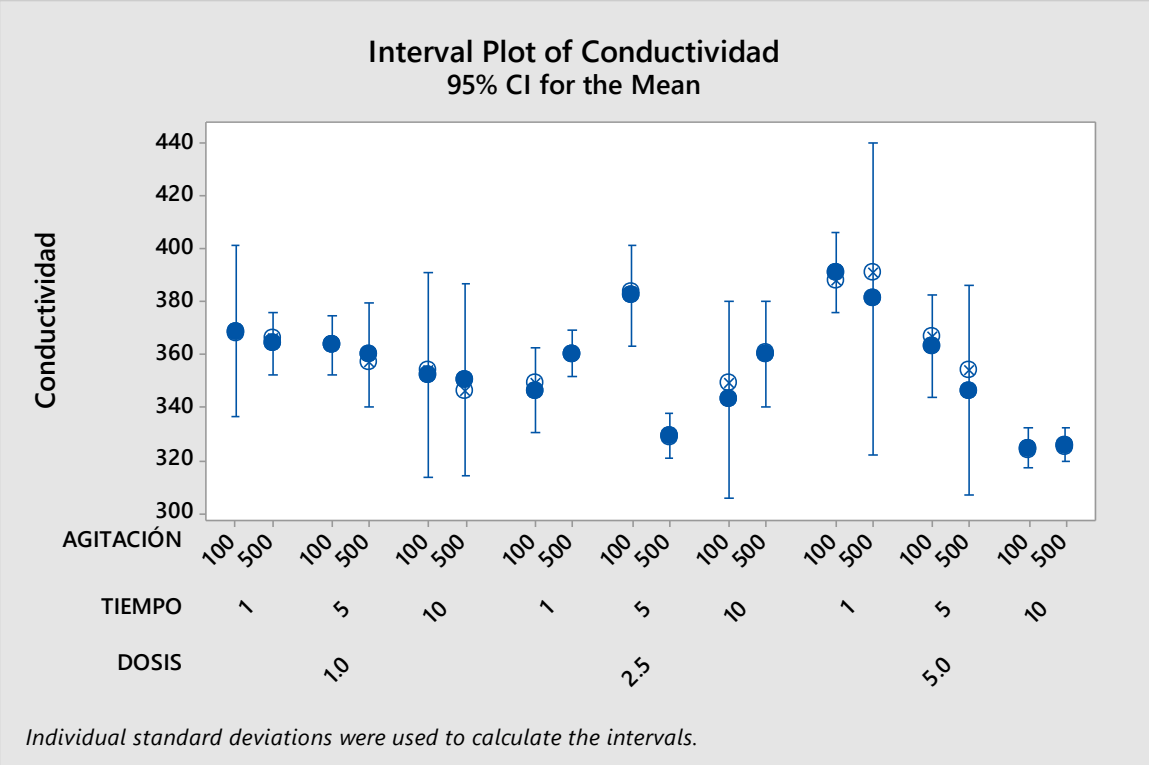
La figura 17 y la tabla 5, muestran mediante la comparativa de parejas de Tukey que todos los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, (comparten el

mismo grupo A), y con respecto al agua sin tratar. Por lo tanto, el uso de los tiempos en el proceso, no tiene un efecto significativo sobre el pH del agua tratada, lo que sugiere que cualquiera de los tiempos analizados podría emplearse en el proceso sin afectar significativamente este parámetro.

4.1.2. Análisis respecto del variable respuesta Conductividad

Figura 18

Efecto en la Conductividad de la dosis de Biofloculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha



En la Figura 18 se aprecia el efecto de la dosis de biofloculante de semilla de papaya sobre la conductividad en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Laguna de Yarinacocha. Inicialmente, el agua presentó una conductividad promedio de 469 µS/cm con una desviación estándar de ±22.5.

Los resultados muestran que todos los tratamientos redujeron la conductividad respecto al valor inicial. Para la dosis de 1.0 g/L, las conductividades oscilaron aproximadamente entre 347 y 368 µS/cm, observándose diferencias pequeñas entre los niveles de agitación de 100 y 500 rpm.

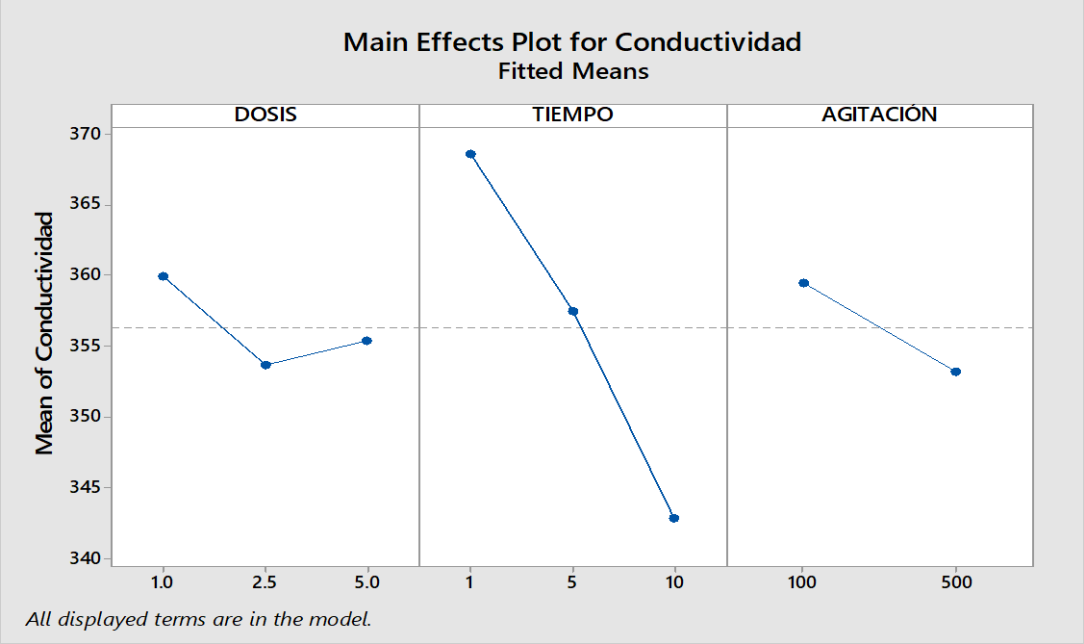
En la dosis de 2.5 g/L se evidenció una mayor variabilidad entre tratamientos. Por ejemplo, a 5 minutos y 100 rpm se registró una conductividad cercana a 382 µS/cm, mientras que a 500 rpm disminuyó hasta aproximadamente 328 µS/cm, mostrando una reducción considerable asociada al cambio en la agitación.

Por otro lado, la dosis de 5.0 g/L presentó los valores más altos de conductividad al minuto 1, con medias cercanas a 390 µS/cm; sin embargo, a los 10 minutos los valores disminuyeron hasta aproximadamente 323–325 µS/cm, evidenciando que el tiempo de contacto tuvo un efecto importante en la reducción de la conductividad.

En conjunto, los resultados sugieren que la conductividad estuvo influenciada por la combinación de dosis, tiempo y agitación, especialmente en determinados tratamientos donde las diferencias entre medias fueron más pronunciadas.

Figura 19

Principales efectos en la conductividad del bio-floculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha



De la figura 19 se observa que, respecto a la dosis del biofloculante, el tratamiento con 1 g/L presentó una conductividad promedio de 359 µS/cm con una desviación de ±11.4; la dosis de 2.5 g/L presentó una conductividad promedio de 353 µS/cm con una desviación de ±18.5; mientras que la dosis de 5 g/L presentó una conductividad promedio de 355 µS/cm con una desviación de ±28.1. Esta tendencia sugiere que, aunque la reducción es mínima, existe una mayor estabilidad iónica al incrementar la concentración del biofloculante.

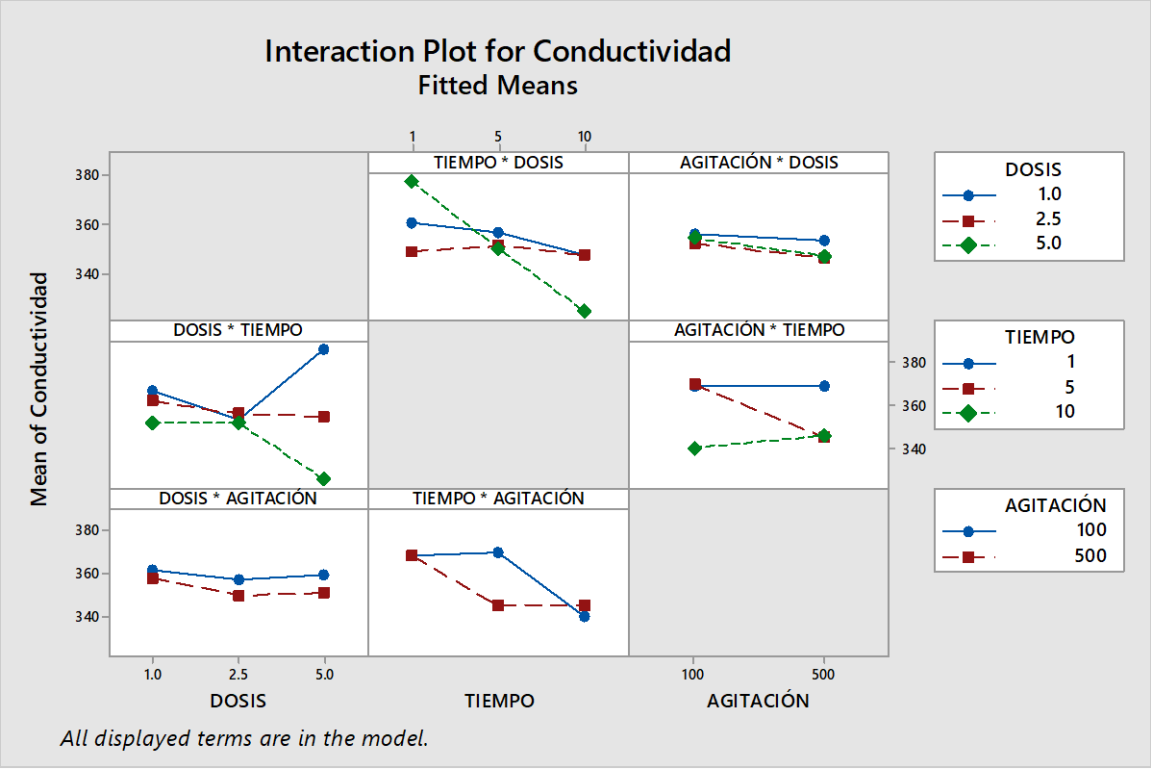
Por otro lado, el Tiempo demostró ser el factor con el impacto más visible en la gráfica de efectos principales. A 1 minuto se registró una conductividad promedio de aproximadamente 369 µS/cm, a 5 minutos de 357 µS/cm y a 10 minutos de 343 µS/cm. Esto evidencia una disminución progresiva de la conductividad conforme aumenta el tiempo de contacto del biofloculante.

Por otro lado, en cuanto a la agitación, el tratamiento a 100 rpm presentó una conductividad promedio cercana a 359 µS/cm, mientras que a 500 rpm fue aproximadamente 353 µS/cm, observándose un efecto menor de la velocidad de agitación sobre la conductividad.

La conductividad muestra una disminución mínima entre tratamientos cuando el tiempo de agitación es más largo.

Figura 20

Efecto en la conductividad del bio-floculante de semilla de papaya por interacción de tres factores (dosis, tiempo, agitación) en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha



La figura 20 indica que la Conductividad está fuertemente influenciada por la combinación de Dosis, Tiempo y Agitación. Las interacciones son el aspecto más

importante del estudio, ya que los efectos de un factor cambian drásticamente dependiendo de los niveles de los otros factores.

Tabla 5

Análisis de Varianza del efecto en la Conductividad de la dosis de bio-floculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	17	17771.3	1045.37	9.09	0.000
Linear	5	6937.3	1387.45	12.07	0.000
DOSIS	2	386.0	193.02	1.68	0.201
TIEMPO	2	6016.0	3008.02	26.17	0.000
AGITACIÓN	1	535.2	535.19	4.66	0.038
2-Way Interactions	8	8154.6	1019.32	8.87	0.000
DOSIS*TIEMPO	4	5789.2	1447.30	12.99	0.000
DOSIS*AGITACIÓN	2	67.1	33.57	0.29	0.748
TIEMPO*AGITACIÓN	2	2298.3	1149.13	10.00	0.000
3-Way Interactions	4	2679.4	669.85	5.83	0.001
DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN	4	2679.4	669.85	5.83	0.001
Error	36	4138.0	114.94		
Total	53	21902.3			

El modelo factorial que incluye los tres factores (Dosis, Tiempo, Agitación) y todas sus interacciones es altamente significativo (P value < 0.001). Esto significa que al menos uno de los factores o interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la conductividad.

Se aprecia que individualmente, los factores Tiempo, es el factor principal más significativo (p valor < 0.001). y tiene un fuerte efecto sobre la conductividad, lo que confirma la observación de que la conductividad cae significativamente después de 1 minuto, especialmente en la Dosis 1.0., por su parte el factor Agitación: Es estadísticamente significativo (p valor = 0.038), ya que es menor que alpha = 0.05. Esto confirma que el nivel de agitación (100 vs. 500) por sí solo tiene un impacto significativo, aunque menor que el tiempo. Por último, el efecto principal del factor Dosis, no es significativo (p valor = 0.201).

Esto parece contradictorio con las observaciones gráficas, pero se explica por la presencia de fuertes interacciones. El efecto de la Dosis cambia drásticamente dependiendo del nivel de los otros factores, enmascarando cualquier efecto principal simple.

Se aprecia que los efectos más importantes no son los factores principales por separado, sino las interacciones entre ellos, especialmente la interacción de Dosis*Tiempo y la de Dosis*Tiempo*Agitación, que alcanzaron un p valor = 0.001. De manera descriptiva, las menores medias de conductividad se observaron en los tratamientos con 5.0 g/L y 10 minutos de contacto, alcanzando valores cercanos a 323–325 µS/cm.

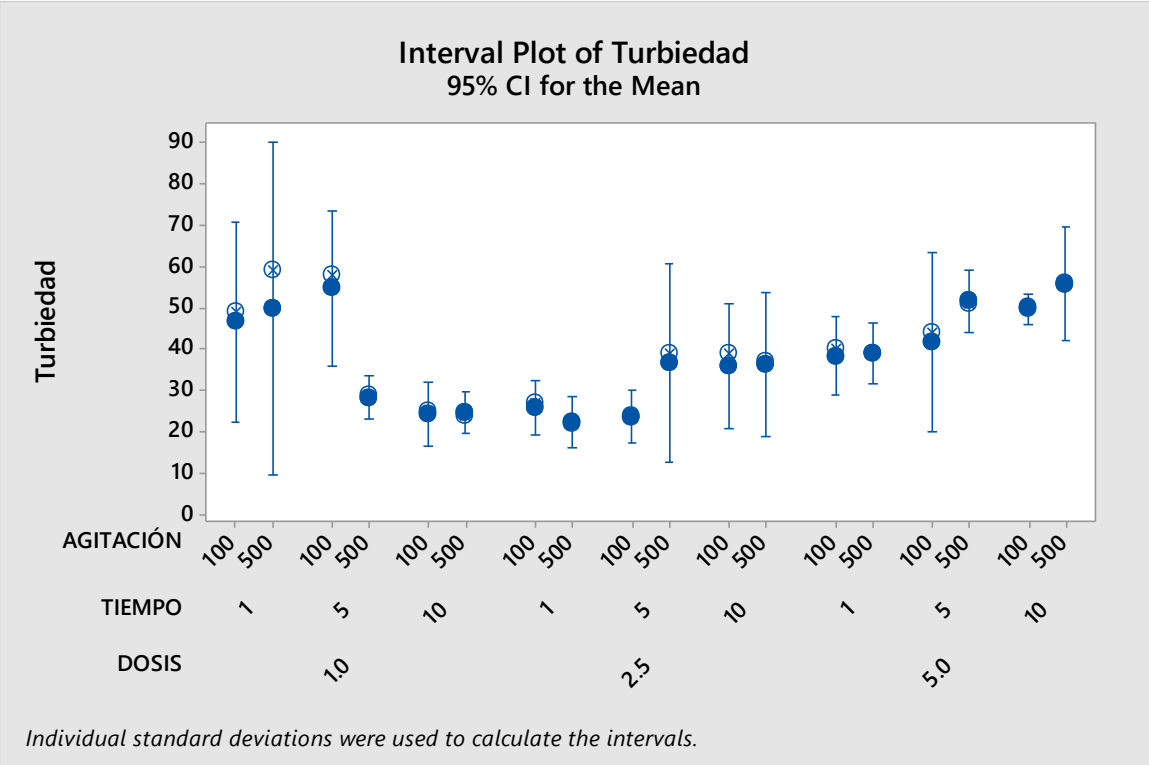
Debido a que los datos de conductividad no cumplieron el supuesto de normalidad, el análisis inferencial principal se realizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Esta prueba presentó un p valor de 0.432 y un p valor ajustado de 0.431 (ver Anexo 5), indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados de manera individual.

No obstante, el análisis factorial ANOVA se empleó de manera complementaria para explorar el comportamiento de los factores y sus interacciones dentro del diseño experimental. Este análisis mostró tendencias importantes asociadas principalmente al Tiempo y a determinadas interacciones entre Dosis, Tiempo y Agitación, permitiendo una mejor interpretación gráfica del comportamiento de la conductividad.

4.1.3. Análisis respecto del variable respuesta Turbiedad

Figura 21

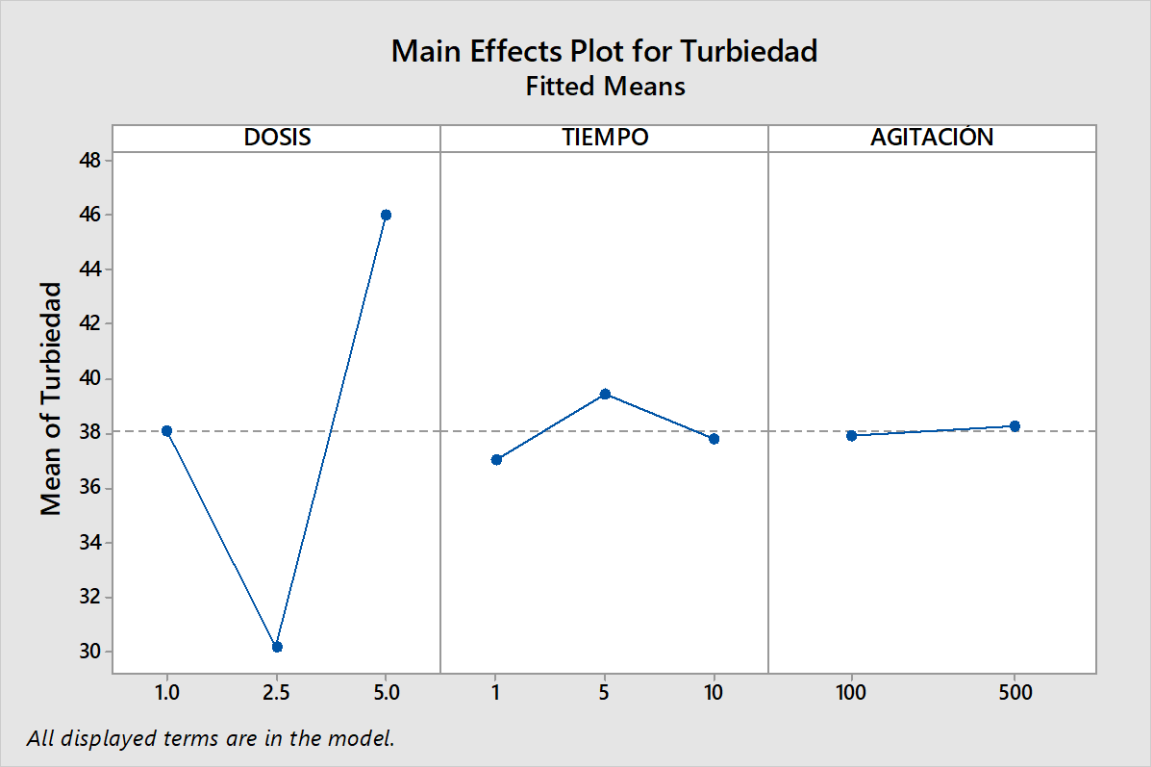
Efecto en la Turbiedad de la dosis de bio-floculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha



La figura 21, muestra los resultados para la turbiedad, se observa una tendencia general más clara relacionada con la dosis, es así, que la Dosis 1.0: Presenta las medias de turbiedad más bajas del experimento (rango de 25 a 60). La Dosis 2.5, Presenta medias intermedias (rango de 20 a 40). Finalmente, la Dosis 5.0, presenta medias de turbiedad más altas (rango de 38 a 56). En términos generales, parece que el aumento de la dosis de 1.0 a 5.0 está asociado con un aumento en la turbiedad, aunque la Dosis 2.5 parece ser una excepción en algunos casos.

Figura 22

Principales efectos en la Turbidez del biofloculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha



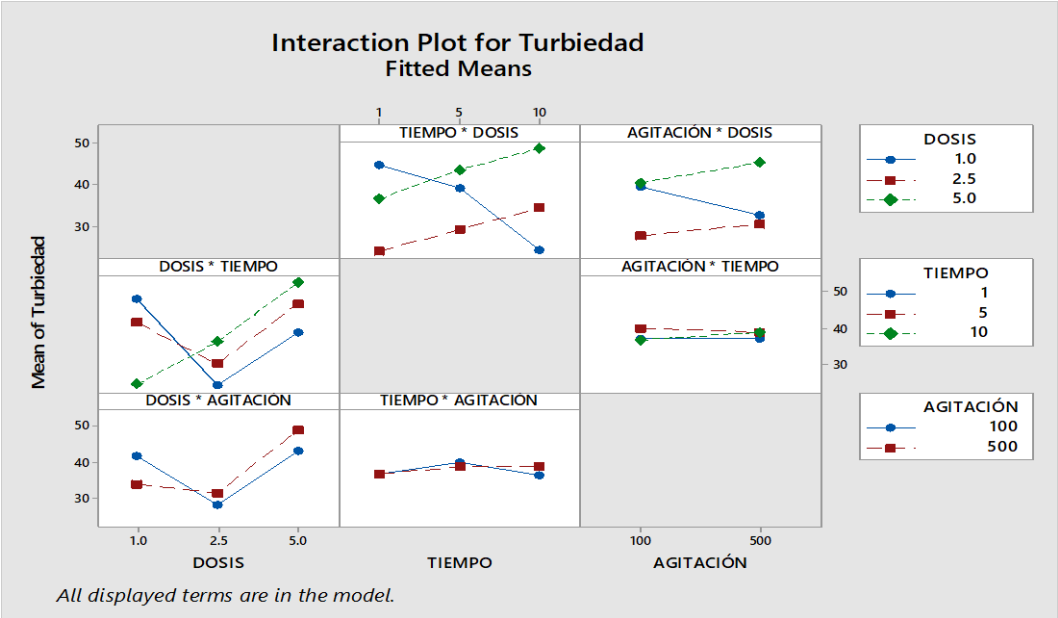
En la figura 22 se aprecia el efecto en la Turbiedad de la dosis de bio-floculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, inicialmente el agua de la laguna de Yarinacocha presenta una Turbiedad promedio de 37.6 NTU con una desviación de 7.6 +/-, con respecto a los tratamientos con 1 g/l se observa que presenta una Turbiedad promedio de 38 NTU con una desviación de 2.8 +/-, seguido al tratamiento con 2.5 g/l presenta una Turbiedad promedio de 30.2 NTU con una desviación de 6.1 +/-y por último el tratamiento con 5 g/l presenta una Turbiedad promedio de 46.2 NTU con una desviación de 4.78 +/-. Se observa como a mayor dosis la turbiedad se ve afectado aumentando de gran manera, no deseada.

Por su parte, el Efecto en la Turbiedad del tiempo de agitación del bio-floculante respecto a los tratamientos con 1 minutos de agitación se observa que presenta una Turbiedad promedio de 37.7 NTU con una desviación de 12.7 +/-, seguido al tratamiento con 5 minutos de agitación presenta una Turbiedad promedio de 39.9 NTU con una desviación de 13.9 +/- y por último el tratamiento con 10 minutos de agitación presenta una Turbiedad promedio de 37.8 NTU con una desviación de 13.5 +/-. Se observa como a mayor tiempo de agitación la turbiedad se ve afectada de manera minina entre los tratamientos

Por último, el efecto en la Turbiedad de la velocidad de agitación del Biofloculante con respecto a los tratamientos con 100 rpm de velocidad de agitación se observa que presenta una Turbiedad promedio de 37.92 NTU con una desviación de 13.3 +/-, seguido al tratamiento 500 rpm de velocidad de agitación presenta una Turbiedad promedio de 38.2 NTU con una desviación de 13.3 +/-. Se observa como a mayor velocidad de agitación la turbiedad se ve afectada de manera minina entre los tratamientos.

Figura 23

Efecto en la turbidez del bio-floculante de semilla de papaya por interacción de tres factores (dosis, tiempo, agitación) en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha



La figura 23 presenta el gráfico de interacción de medias ajustadas (Fitted Means) para la variable turbiedad, evaluando los factores Dosis, Tiempo y Agitación. En general, se observa que el comportamiento de la turbiedad no depende únicamente de un factor individual, sino de la combinación entre ellos, evidenciándose interacciones importantes.

La interacción más notable corresponde a **Dosis–Tiempo**, debido a que las líneas presentan cruces y pendientes pronunciadas. Esto indica que el efecto de la dosis cambia dependiendo del tiempo de reacción. Por ejemplo, para la dosis 1.0 la turbiedad disminuye considerablemente al aumentar el tiempo hasta 10, mientras que para la dosis 5.0 ocurre lo contrario, observándose un incremento progresivo de la turbiedad conforme aumenta el tiempo. Esto demuestra que no existe una única dosis óptima independiente del tiempo.

Además, dentro de las combinaciones evaluadas, la menor turbiedad observada en la figura parece corresponder a la combinación de **Dosis 1.0 y Tiempo 10**, mientras que las mayores turbiedades se presentan con **Dosis 5.0** asociadas a tiempos más prolongados.

Respecto al factor agitación, se aprecia un efecto relativamente menor y más estable en comparación con la interacción Dosis–Tiempo, ya que las líneas del gráfico Agitación–Tiempo son casi paralelas. Esto sugiere una interacción débil entre ambos factores. Sin embargo, en la interacción Dosis–Agitación se observa que la combinación de dosis altas (5.0) con agitación elevada (500) incrementa la turbiedad, lo que indicaría un efecto desfavorable de esta combinación experimental.

En conjunto, los resultados sugieren que el control de la turbiedad depende principalmente de la adecuada combinación entre dosis y tiempo, mientras que la agitación ejerce un efecto secundario, aunque puede potenciar la turbiedad cuando se combina con dosis elevadas.

Tabla 6

Análisis de Varianza del Efecto en la Turbiedad de la dosis de bio-floculante de semilla de papaya en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	17	6599.70	388.22	9.04	0.000
Linear	5	2314.26	462.85	10.78	0.000
DOSIS	2	2256.26	1128.13	26.27	0.000
TIEMPO	2	56.15	28.07	0.65	0.526
AGITACIÓN	1	1.85	1.85	0.04	0.837
2-Way Interactions	8	3229.15	403.64	9.40	0.000
DOSIS*TIEMPO	4	2754.96	688.74	16.04	0.000
DOSIS*AGITACIÓN	2	448.26	224.13	5.22	0.010
TIEMPO*AGITACIÓN	2	25.93	12.96	0.30	0.741
3-Way Interactions	4	1056.30	264.07	6.15	0.001
DOSISTIEMPOAGITACIÓN	4	1056.30	264.07	6.15	0.001
Error	36	1546.00	42.94		

El proceso de remoción de turbiedad está regido por **interacciones complejas**. Si bien el tiempo (p = 0.526$) y la agitación ($p$ = 0.837) no fueron significativos de forma independiente, su relevancia se manifiesta al interactuar con la dosis, destacando las interacciones **Dosis*Tiempo** (p = 0.000) y la interacción triple (p = 0.001). Este comportamiento indica que la turbiedad no puede optimizarse analizando factores por separado, ya que sus efectos están condicionados entre sí.

El modelo general resultó altamente significativo (p = 0.000), confirmando diferencias marcadas frente a la turbiedad inicial de la laguna de **37.6 NTU**. Mediante la comparativa visual en los gráficos de intervalos de confianza (Figura 22) y de interacciones (Figura 23), se determinó que las dosis de **1.0 g/l y 2.5 g/l** logran los niveles de remoción más eficientes y similares entre sí. Por el contrario, la dosis de **5.0 g/l** mostró un comportamiento desfavorable, incrementando la turbiedad hasta un promedio de **46.2 NTU**.

Finalmente, bajo un criterio de eficiencia técnica, económica y ambiental, se identifica a la **dosis de 1.0 g/l** como el tratamiento óptimo para el proceso de floculación. Esta selección se sustenta en que dicha dosis no solo logra los mejores niveles de clarificación, específicamente cuando se combina con un **tiempo de agitación de 10** minutos (Figura 23), manteniendo una agitación constante de 100 rpm, lo que representa el menor consumo energético del proceso, sino que también cumple con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la conservación del agua utilizando la menor cantidad de recursos biológicos. Este enfoque de optimización minimiza la introducción de materia orgánica externa al ecosistema, garantizando un tratamiento efectivo con un impacto ambiental reducido.

Los ensayos realizados en la presente investigación evidencian que el desempeño del biofloculante elaborado a partir de semillas de *Carica Papaya* en el tratamiento de aguas

superficiales de la laguna de Yarinacocha depende de manera significativa de la dosis aplicada y de su interacción con las condiciones operacionales del proceso de coagulación–floculación. El comportamiento observado responde a un patrón característico de los coagulantes naturales, en el cual la eficiencia del tratamiento no aumenta de forma lineal con la cantidad de material adicionada, sino que existe un rango óptimo de operación condicionado por la dinámica del sistema.

Este comportamiento es consistente con lo reportado por Gómez Vaca y Tomalá Medina (2021) y Onofre (2024), quienes señalaron que los biofloculantes de origen vegetal presentan una eficiencia máxima a dosis moderadas, mientras que incrementos excesivos pueden generar efectos no deseados sobre los parámetros fisicoquímicos del agua tratada. En la presente investigación, este fenómeno se manifiesta a través de cambios simultáneos en la turbidez, el pH y la conductividad, lo que sugiere que la sobredosificación no solo afecta la remoción de partículas, sino también el equilibrio químico del sistema.

Asimismo, los resultados ponen en evidencia que el efecto de los factores evaluados no puede interpretarse de manera aislada, ya que las interacciones entre dosis, tiempo y velocidad de agitación explican gran parte de la variabilidad observada. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Velandia (2021), quien indica que la eficiencia de los coagulantes naturales está estrechamente ligada a las condiciones de operación, dado que estas influyen en la formación, crecimiento y estabilidad de los flóculos. En este sentido, los análisis estadísticos realizados refuerzan la importancia de considerar un enfoque factorial para comprender el comportamiento real del proceso.

Por otro lado, la variabilidad observada en los parámetros fisicoquímicos a dosis elevadas sugiere que el biofloculante puede aportar compuestos orgánicos solubles al medio, lo cual ha sido previamente reportado por Rodríguez (2024) y Goicochea (2025) en estudios similares con coagulantes naturales. Estos autores señalan que, si bien se pueden

alcanzar altos niveles de remoción de turbidez, la sobredosificación puede generar alteraciones secundarias en el agua tratada, lo que resalta la necesidad de un balance entre eficiencia del proceso y estabilidad fisicoquímica.

En conjunto, los resultados discutidos se alinean con la literatura existente sobre el uso de semillas de papaya como biofloculante, evidenciando que su aplicación requiere una adecuada optimización de las condiciones operacionales. La interpretación de los efectos observados sugiere que el éxito del tratamiento no depende únicamente del biofloculante en sí, sino de la interacción entre sus propiedades y las variables del proceso, lo que refuerza la importancia de evaluar de manera integral los sistemas de tratamiento basados en coagulantes naturales.

4.2. Efecto del Biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha

Los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua superficial de la laguna de Yarinacocha fueron emitidos por el laboratorio Environmental Testing Laboratory S.A.C.-IAS[1], el cual se encuentra debidamente acreditado por The International Accreditation Service (IAS) bajo el registro N.° TL-659, garantizando la confiabilidad y validez de los datos obtenidos.

A partir del análisis de los ensayos realizados, se trabajó con una condición experimental correspondiente a una dosis de 1 g/L, una agitación de 100 rpm y tiempos de contacto de 10 minutos, con el objetivo de evaluar el comportamiento del proceso tanto en una etapa inicial como en una etapa posterior. Esta condición fue seleccionada para la

[1] Datos obtenidos del portal web del Inacal – https://www.iasonline.org/search-accredited organizations/

evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, permitiendo analizar el desempeño del tratamiento bajo un esquema representativo del sistema. Como resultado de la aplicación de esta condición experimental, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 7

Efecto del Biofloculante de semilla de papaya (Carica Papaya) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de la laguna de Yarinacocha.

Parámetro	Unidad	Antes	Tratado	Eficiencia	ECA – Cat. 4-E2	ECA – Cat. 1- B1
Escherichia coli	NMP/100mL	<1,80	<1,80	0%	N.A.	**<1,80**
Coliformes Fecales	NMP/100mL	540	180	66.6%	2000	**200**
pH	H+	7.17	6.59	8.1%	6.5 – 9.00	**6.0-9.0**
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg BOD5/L	2	2	0%	10	**5**
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	69	21	69.6%	N.A.	**30**
Fosforo	mg/l	<0,0420	<0,0420	0%	0.05	**N.A.**
Potasio	mg/l	3,824	2.982	22%	N.A.	**N.A.**
Aluminio	mg/l	<0,0084	<0,0084	0%	N.A.	**0.2**
Arsénico	mg/l	<0,004	<0,004	0%	0.15	**0.01**
Cadmio	mg/l	<0,00020	<0,00020	0%	0.00025	**0.01**
Cobre	mg/l	<0,0012	<0,0012	0%	0.1	**2**
Cromo	mg/l	<0,0040	<0,0040	0%	0.011	**0.05**
Hierro	mg/l	0,6148	0.2981	51.5%	N.A.	**0.3**
Plomo	mg/l	<0,0010	<0,0010	0%	0.0025	**0.01**

Nota. Resultados obtenidos del Informes de Ensayo N° 251063, N° 251063-M, N° 251064, y N° 251064-M.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se observó que los coliformes fecales se redujeron de 540 NMP/100 mL a 180 NMP/100 mL tras la aplicación

del Biofloculante, lo que representa una eficiencia de reducción del 66,6%**.** Este resultado evidencia la capacidad del Biofloculante para disminuir significativamente la contaminación fecal. Por su parte, la concentración de Escherichia coli se mantuvo por debajo de los límites normativos, indicando que el agua tratada cumple con los estándares de seguridad microbiológica establecidos para uso recreativo.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, se observó una ligera acidificación del pH, con valores que descendieron de 7,22 a 6,59 H+, lo que representa una reducción del 8,1%. Esta disminución, aunque moderada, se mantiene dentro de los rangos permitidos por los estándares ambientales, sugiriendo que el Biofloculante no afecta de manera adversa la calidad química del agua. Por su parte, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) pasó de 69 a 21 mg/L, logrando una disminución del 69,6%, lo que indica una eliminación eficiente de la materia orgánica no biodegradable o químicamente oxidizable.

En contraste, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) no mostró variación, manteniéndose en 2 mg/L antes y después del tratamiento, reflejando una eficiencia del 0%. Esto sugiere que el proceso aplicado afecta principalmente la fracción química de la materia orgánica, sin un impacto significativo sobre la fracción biodegradable.

En lo que respecta a metales y nutrientes, se observó una reducción notable de hierro (51,5%) y potasio (22%), mientras que otros metales y fósforo permanecieron sin cambios significativos, dentro de los límites permitidos. Esto demuestra que el biofloculante puede contribuir a la remoción de ciertos elementos que afectan la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó que el biofloculante de semilla de *Carica papaya* constituye una alternativa altamente eficiente para el tratamiento de las aguas de la laguna de Yarinacocha. Bajo condiciones controladas, el proceso permitió una remoción del 66.6% de coliformes fecales (reduciéndolos de 540 a 180 NMP/100 mL) y del 69.6% de la Demanda Química de Oxígeno (de 69 a 21 mg/L), asegurando que parámetros críticos como el pH (6.59) y la *Escherichia coli* se mantengan dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).
- Se estableció que la dosis óptima es de 1.0 g/L, confirmándose como el factor más influyente ($p < 0.001$) para garantizar la clarificación. Se concluyó que concentraciones superiores (2.5 y 5.0 g/L) resultan contraproducentes al generar una acidificación excesiva del agua y la reestabilización de los coloides, por lo que 1.0 g/L representa el punto de equilibrio técnico y ambiental óptimo.
- Se determinó que el tiempo de contacto óptimo es de 10 minutos. Este periodo es fundamental para la estabilización fisicoquímica del sistema, logrando una reducción progresiva de la conductividad hasta los 343 µS/cm. Dicho lapso asegura que el biofloculante complete su acción sobre los coloides, maximizando la remoción de contaminantes sin comprometer la neutralidad del agua.
- Se definió que la velocidad de agitación de 100 rpm es la más adecuada para el proceso. Esta velocidad permite una interacción efectiva entre el biofloculante y los contaminantes, garantizando la estabilidad operativa del tratamiento. Asimismo, operar a 100 rpm permite alcanzar niveles óptimos de clarificación con un consumo energético eficiente, facilitando la escalabilidad del método para

aplicaciones a mayor escala.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda implementar el uso del biofloculante de semilla de papaya como alternativa ecológica y económica en sistemas de tratamiento de aguas superficiales, priorizando zonas con altos niveles de contaminantes como turbidez, DQO y metales.
- Estandarizar la aplicación del biofloculante a una concentración de 1 g/l en futuros tratamientos para garantizar eficiencia y evitar el uso excesivo de recursos.
- Diseñar sistemas de tratamiento que aseguren al menos 1 minuto de contacto entre el biofloculante y el agua para maximizar la efectividad del proceso.
- Utilizar equipos de agitación que puedan mantener de manera constante una velocidad de 100 rpm durante la aplicación del biofloculante, asegurando así una mezcla homogénea y eficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abu Bakar, S., Hasan, H., Sheikh Abdullah, S., Azman Kasan, N., Muhamad, M., & Kurniawan, S. (2021). A review of the production process of bacteria-based polymeric flocculants. *40*, 101915. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714421000027

Agraria. (2013). Obtenido de https://agraria.pe/noticias/%E2%80%98peru-debe-definir-que-tipo-de-papaya-quiere-eeuu-y-comenz-5600

Agua, A. N. (2013). *iAgua.* Obtenido de iAgua: https://www.iagua.es/noticias/peru/13/07/12/se-confirma-contaminacion-de-lago-yarinacocha-en-pucallpa-33134

Aguilera Flores, M. M., Robles Miranda, O. E., Medellín Castillo, N. A., Ávila Vázquez, V., Sánchez Mata, O., Vázquez Bañuelos, R., & Chávez Murillo, C. E. (2024). Evaluation of the Potential of a Biocoagulant Produced from Prickly Pear Peel Waste Valorization for Wastewater Treatment. *Water, 16*(10), 1444. Obtenido de https://www.mdpi.com/2073-4441/16/10/1444

Ahmad, W., Alharthy, R., Zubair, M., Ahmed, M., Hameed, A., & Rafique, S. (2021). Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk. *Scientific Reports, 11*, 17006. Obtenido de https://www.nature.com/articles/s41598-021-94616-4

Alhaithloul HAS, Mohamed ZA, Saber AA, Alsudays IM, Abdein MA, Alqahtani MM, AbuSetta NG, Elkelish A, Pérez LM, Albalwe FM, Bakr AA. (2024).

Performance evaluation of Moringa oleifera seeds aqueous extract for removing Microcystis aeruginosa and microcystins from municipal treated-water. *Front Bioeng Biotechnol, 17*(12). Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10868579/?utm_source=chatgpt.com

Aliaga, J. K. (2019). *Aplicación de la Enzima Papaina Obtenida a Partir de las Semillas Carica Papaya como Coagulante Natural para la Remocion de Turbidez en la PTAR- V.E.S.* Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTL_10b2819d0d77db5ed418fbb6712dfb93

Alvarez Ancalla, N., & Ccahua Ocon, S. T. (2021). *Remoción de turbidez usando biocoagulantes "Echinopsis peruviana y opuntia ficus indica" en muestras con suelo del río Tucuiri, Santo Tomás.* Santo Tomás: Universidad San Ignacio de Loyola. Obtenido de https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/d87b7a81-ff00-4ff3-b6f8-bd29ad583a2e

Amir Hariz Amran, Muhammad Burhanuddin Bahrodin, Nur Syamimi Zaidi, Khalida Muda , Azmi Aris, Noor Azrimi Umor, Mohd Faiz Mohd Amim y Achmad Syafiuddin. (2022). Turbid Water Treatment Using Deshelled *Carica Papaya* Seed: Analysis Via Factorial Design. *Biointerface Research in Applied Chemistry, 12*(6), 7787 - 7795. Obtenido de https://biointerfaceresearch.com/wp-content/uploads/2021/12/20695837126.77877795.pdf

Amran, A. H., Zaidi, N. S., Syafiuddin, A., Zhan, L. Z., Bahrodin, M. B., Mehmood, M. A., & Boopathy, R. (2021). Potential of *Carica Papaya* Seed-Derived Bio-Coagulant to Remove Turbidity from Polluted Water Assessed through Experimental and Modeling-Based Study. *Applied Sciences, 11*(12). Obtenido de https://www.mdpi.com/2076-3417/11/12/5715

Andrade, L., O'Dwyer, J., O'Neill, E., & Hynds, P. (2018). Surface water flooding, groundwater contamination, and enteric disease in developed countries: A scoping review of connections and consequences. *Environmental Pollution, 236*, 540-549. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117349515

Aniyikaiye, T., Oluseyi, T., Odiyo, J., & Edokpayi, J. (2019). Physico-Chemical Analysis of Wastewater Discharge from Selected Paint Industries in Lagos, Nigeria. *Int. J. Environ. Res. Public Health, 16*(7), 1235. Obtenido de https://www.mdpi.com/1660-4601/16/7/1235

Aqua. (13 de Febrero de 2024). *https://www.aqua.com*. Obtenido de https://www.aqua.com.mx/blog/que-es-una-ptar-y-como-funciona

Aqua Integral. (2022). Obtenido de https://aquaintegral.co/prueba-de-jarras-y-el-tratamiento-de-aguas/

Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua.* McGraw-Hill Interamericana.

Arciniega, Ávila y Sandoval. (2023). Remoción de sólidos totales en agua mediante coagulantes naturales: Semillas de Linaza, Chía y Zaragatona. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/377131093_Remocion_de_solidos_totales_en_agua_mediante_coagulantes_naturales_Semillas_de_Linaza_Chia_y_Zaragatona

Arenas Pacheco, K. d., & Mamani Carrillo, G. d. (2023). *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOFLOCULANTES OBTENIDOS A PARTIR DE OPUNTIA FICUS INDICA, HYLOCEREUS UNDATUS, SOLANUM TUBEROSUM Y MEZCLA DE ELLOS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DE AGUAS DESTINADAS PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAMEGUA – MOQUEGUA.* Moquegua: Universidad Católica de Santa María. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8a134feb-1916-44c7-bf8b-0c9970631e51/content

Bashir Adeloduna, Fidelis Odedishemi Ajibade, Matthew Segun Ogunshin y Kyung-Sook Choi. (2019). Dosage and settling time course optimization of Moringa oleifera in municipal. *Desalination and Water Treatment, 167*, 45-56. Obtenido de https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_167_papers/167_2019_45.pdf

Buelvas Caro, S. D., Aguas, Y., & Olivero Verbel, R. E. (2020). Clarificación de las aguas superficiales del río Magdalena utilizando semillas de Tamarindus indica como biocoagulantes. *Journal of Engineering Sciences, 25*(2), 170-176. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8337483

Cabello-Torres, R. J., Flores del Pino, L., Del Pilar Salcedo, M., Alegría-Arnedo, M. C., Rodriguez-Rodriguez, M., & Valdiviezo-Gonzales, L. (2022). Cinética de descontaminación de aguas de curtiembre utilizando biofloculantes. *Tecnología Y Ciencias Del Agua, 13*(6), 01-55. Obtenido de https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/2452

Cadena-Álava A. P., R. E. Cevallos-Cedeño y S. A. García-Muentes. (2024). Evaluation of the coagulant property of *Carica Papaya* seeds in surface water treatment. *Revista Mexicana de Ingeniería Química, 23*(3), 1-9. Obtenido de https://rmiq.org/iqfvp/Numbers/V23/No3/IA24301.pdf

CONABIO, C. N. (2018). *Species Plantarum 2.* Obtenido de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/23-caric1m.pdf

Crini, G., & Lichtfouse , E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters, 17*, 145-155. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-018-0785-9#Bib1

Diaz Aliaga, J. (2019). *“APLICACIÓN DE LA ENZIMA PAPAINA OBTENIDA A PARTIR DE LAS SEMILLAS Carica Papaya COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCION DE TURBIDEZ EN LA PTAR- V.E.S”.* Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR. Obtenido de https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/174/1/Diaz_Aliaga_Trabajo_Suficiencia_2019.pdf

Florindo, C., Lima, F., Branco, L., & Marrucho, I. (2019). Hydrophobic Deep Eutectic Solvents: A Circular Approach to Purify Water Contaminated with Ciprofloxacin. *ACS Sustainable Chem. Eng., 7*(17), 14739-14746. Obtenido de https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acssuschemeng.9b02658

Ghita El Mouhri, Ibtissame Elmansouri, Halima Amakdouf, Hajar Belhassan, Rabie Kachkoul, Fatima Ezzahra El oumari, Mohammed Merzouki, Anissa Lahrichi. (2024). Evaluating the effectiveness of coagulation–flocculation treatment on a wastewater from the moroccan leather tanning industry. *Heliyón, 10*(5). Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024030871

Giraldo, J. D. (2015). *PROPIDADES, OBTENCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIONES DEL QUITOSANO.*

Gogoi, A., Mazumder, P., Tyagi, V., Tushara Chaminda, G., An, A., & Kumar, M. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. *Groundwater for Sustainable Development, 6*, 169-180. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X17302217

GOICOCHEA, C. R. (2025). *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca.* Obtenido de https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/8369

Gómez Vaca yTomalá Medina. (2021). Obtenido de https://filosofia.ug.edu.ec/repositorio-digital-ug/

Guano Paredes, G. A. (2020). *Remoción de plomo y cadmio de aguas residuales industriales mediante biocoagulación con semillas de durazno.* Quito: Universidad de las Américas. Obtenido de https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12071

Huerta Calleja, K. (28 de Marzo de 2022). *Contyquim.com*. Obtenido de https://contyquim.com/blog/importancia-de-los-floculantes-en-procesos-industriales

IDEAM. (2006). *CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN AGUA.* Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4

IDEAM. (2007). *pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA.* Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfccdfff1

IDEAM. (2007). *Sólidos totales secados a 103° - 105°C.* Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Totales+secados+a+103+-+105%C2%BAC..pdf/d4faab4a-34e4-4159-bf4c-50353b101935

IDEAM. (2007). *TURBIEDAD POR NEFELOMETRÍA.* Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de

http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc

IDEAM. (2017). *DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES.* Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/97658415/M-S-LC-I024+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO++DETERMINACI%C3%93N+DE+S%C3%93LIDOS+SEDIMENTABLES.pdf/dc3dfe2a-9c66-48da-8b7c-8cc2af26e5a1?version=1.0

Idrica. (03 de Agosto de 2022). *https://www.idrica.com*. Obtenido de https://www.idrica.com/es/blog/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-etapas/

Inocente Chukwunonso, O., Ahmed, A., Hassan, A., & Hamid, F. (2020). Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation, 17*, 100526. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S235218641830364X

Jung, J., Alam, K., Verosloff, M., Capdevila, D., Desmau, M., Clauer, P., . . . Lucks, J. (2020). Cell-free biosensors for rapid detection of water contaminants. *Nat Biotechnol, 38*, 1451-1459. Obtenido de https://www.nature.com/articles/s41587-020-0571-7#citeas

Kurniawan, S., Imron, M., Engku Chik, C., Owodunni, A., Ahmad, A., Alnawajha, M., . . . Hasan, H. (2022). What compound inside biocoagulants/bioflocculants is contributing the most to the coagulation and flocculation processes? *Science*

of The Total Environment, 806(4), 150902. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721059805

Lan, Y., Tang, W., Tinte, S., & Delmelle, E. (2020). A web-based spatial decision support system for monitoring the risk of water contamination in private wells. *Annals of GIS, 26*(3), 293-309. Obtenido de https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475683.2020.1798508

Llanos Evangelista, G. (27 de Julio de 2022). *https://flowen.com.pe/*. Obtenido de https://flowen.com.pe/coagulacion-y-floculacion-en-el-tratamiento-de-aguas/

López Charahuayta, K. A., & Bejar Perca, K. M. (2024). Remoción de turbidez mediante aplicación de coagulantes naturales de papaya y pitahaya en aguas residuales. *Sciencevolution, 4*(12), 133-142. Obtenido de https://revista.sciencevolution.com/index.php/sciencievolution/article/view/138

Maldonado, Y. R. (2017). *EVALUACIÓN SENSORIAL DE FRUTOS DE PAPAYA (Carica Papaya Linnaeus).* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/376/1/Yvonne%20Roman%20Maldonado.pdf

Marin López, C. J. (2012). *Calidad del agua de la laguna yarinacocha para uso recreacional.* Obtenido de Acceso Libre a la Información cientifica para la innovación: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/index.php/Record/UNAS_46ae020af0cf363eed697280e6ed3c8f

Metcalf & Eddy, I. T. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery.* McGraw-Hill Education. Obtenido de https://www.mheducation.com/highered/product/wastewater-engineering-treatment-resource-recovery-metcalf/M9780073401188.html

MINAM. (2017). *DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.* Lima: Ministerio del Ambiente del Peru. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf

MINCETUR. (2024). *Laguna Yarinacocha*. Obtenido de Drago: https://datahub.drago.pe/turismo/ucayali-laguna-yarinacocha

Miranda-Jara, Angélica , Junco-Palomino, Fiorella, Hinostroza-Tejeda, Junior. (2024). Efecto de pH, tiempo y dosis de Moringa oleífera en la remoción de nitratos en aguas del río Chillón – Lima. *“Creating solutions for a sustainable future: technology-based entrepreneurship”, 4*, 2-4. Obtenido de https://laccei.org/LEIRD2024-VirtualEdition/full-papers/Contribution_427_a.pdf

MONTABIOTIC. (2023). *MONTANA*. Obtenido de https://www.corpmontana.com/m-conecta/agricultura/conozca-todo-sobre-el-cultivo-de-papaya

Murillo Zambrano Heidy Lissette , Jandry Antonio Cobeña Barreiro, Jennifer Belén Rizzo Ponce, Ulbio. (2021). Propiedades coagulantes de extractos naturales

secos de semillas de M. Oleífera y hojas. *Polo del Conocimiento, 3*(4), 527-539. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7927012.pdf

Nouj, N., Majbar, Z., Rida Abelouah, M., Ben Hamou, A., Chaoui, A., Hafid, N., . . . Cretescu, I. (2024). Eco-friendly wastewater treatment using a crab shell-based liquid bio-coagulant: Multi-criteria decision analysis related to different pollutants separation. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 12*(2). Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343724004482

Ochoa León, Henrry Raúl. (2024). *Evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez de aguas superficiales variando la masa de coagulante, tiempo de contacto y velocidad de agitación en el proceso de coagulación.* Huancayo: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11164?show=full&utm_source=chatgpt.com

ONOFRE, H. J. (2021). Obtenido de http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/20.500.12894/11164/1/T010_72637207_T%20-%20T010_73234685_T.pdf

Pelayo Juliana, Zarate Juliana. (2022). *DESARROLLO DE UN COAGULANTE A PARTIR DE LA CÁSCARA DE BANANO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.* BOGOTÁ D.C: FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE ÁMERICA. Obtenido de

https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/9058/1/6171095-2022-2-IQ.pdf

Power, E., & Chapman, P. (1992). Assessing Sediment Quality. *1*, 1-18. Obtenido de https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781351076555-1/assessing-sediment-quality-elizabeth-power-peter-chapman

Preisner, M., Neverova-Dziopak, E., & Kowalewski, Z. (2020). An Analytical Review of Different Approaches to Wastewater Discharge Standards with Particular Emphasis on Nutrients. *Environmental Management, 66*, 694-708. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-020-01344-y

QuimicaAndina. (2024). *https://www.quimicaandina.com.pe*. Obtenido de https://www.quimicaandina.com.pe/cuales-son-los-tipos-de-floculantes/

Rahman Adrin Muhammad Hakim Abdul , Norhayati Ngadiman, Noorul Hudai Abdullah, Rafidah. (2025). Investigating the Efficiency of Papaya and Date Dry Seeds as Natural. *Journal of Advanced Research Design*, 61-75. Obtenido de https://www.akademiabaru.com/submit/index.php/ard/article/download/6351/6115

Rodríguez, A. B. (2024). *Evaluación de la dosis óptima de Moringa como coagulante-floculante en el tratamiento de agua del manantial Tumpa Puquio-Huancavelica*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/16079/1/IV_FIN_107_TE_Bautista_Rodriguez_2024.pdf

Ruiz Guamanga, M. C., & Amaya García, J. M. (2021). *Evaluación del biocoagulante extraído de la semilla de moringa (m. oleífera) como coadyuvante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas superficiales en la cuenca Río Molino (Popayán - Cauca).* Cauca: Uniautónoma del Cauca. Obtenido de https://repositorio.uniautonoma.edu.co/handle/123456789/608

Schellenberg, T., Subramanian, V., Ganeshan, G., Tompkins, D., & Pradeep, R. (2020). Wastewater Discharge Standards in the Evolving Context of Urban Sustainability–The Case of India. *Front. Environ. Sci., 8*. Obtenido de https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.00030/full

Segura Pelaez Leyla Alina. (2023). *"ALOE VERA Y CAESALPINIA SPINOSA PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR AZUCARERO".* Trujillo - Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33898/Segura%20Pelaez%2C%20Leyla%20Alina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SENASA. (2020). *Plataforma del Estado Peruano.* Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/senasa/informes-publicaciones/942991-guia-de-buenas-practicas-agricolas-para-cultivo-de-papaya

Silva, J. R., y Oliveira, D. S. (2024). Water Treatment with Clean Technologies Using Moringa oleifera Seeds in Alternative Low-Cost Clarification Units. *Clean Technologies, 6*(2), 625-645. Obtenido de https://www.mdpi.com/2571-8797/6/2/33?utm_source=chatgpt.com

Singh, A., Sharma, A., Verma, R., Chopade, R., Pandit, P., Nagar, V., . . . Sankhla, M. (2022). Heavy Metal Contamination of Water and Their Toxic Effect on Living Organisms. *The Toxicity of Environmental Pollutants*. Obtenido de https://www.intechopen.com/chapters/82246

Unnisa, S. A. (2018). Springer Nature Link. 1. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-018-0791-x

Velandia, J. (2021). Obtenido de https://repository.unad.edu.co/handle/10596/40641?utm_source=chatgpt.com

VELP. (06 de Junio de 2024). Obtenido de https://www.velp.com/es-sa/fp4-prueba-de-jarras-portatil.aspx

Vera-Zelada, P., Martínez-Sovero, G., Vera-Zelada, L. A., Minchán-Sap, J. R. & Pastor-Collan, D. B. (. (2023). Efecto del polvo de semilla de Moringa oleífera sobre la turbidez de las aguas residuales en Cajamarca, Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas, 2*(2), 1-10. Obtenido de https://revistas.unsm.edu.pe/index.php/reacae/article/download/510/1035

Vezar, S.A.N., Belinda, Z.T., Rendana, M., Tuty Emilia Agustina,Subriyer Nasir, Laila Hanum y Desheila Andarini . (2024). The use of *Carica Papaya* seeds as bio coagulant for laundry wastewater treatment. *Journal of Engineering and Applied Science, 71*(99). Obtenido de https://jeas.springeropen.com/articles/10.1186/s44147-024-00438-2#citeas

Vinueza Martínez, A. J. (2023). *Eficiencia de la semilla moringa oleífera como biocoagulante en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa productora de puré, flakes y polvo de banano.* Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26129

Wang, B., Chen, X., Wang, Y., Han, D., Guo, B., & Yu, Y. (2021). The High-Rate Sealed MRPC to Promote Pollutant Exchange in Gas Gaps: Status on the Development and Observations. *Applied Sciences, 11*(11). Obtenido de https://www.mdpi.com/2076-3417/11/11/4722

Y. Jang, H. Woo, and H. Kim. (2025). Evaluation of Korea's National-Level SW·AI Education Camp Program for K-12 Students. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol, 15*(3), 701–707. Obtenido de https://ijaseit.insightsociety.org/index.php/ijaseit/article/view/12970

Yan, S., Zhang, X., Tyagi, R., & Drogui, P. (2020). 16 - Guidelines for hospital wastewater discharge. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, 1*, 571-597. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012819722600016X

Yimer, A. y Dame, B. (2021). Extracto de semilla de papaya como coagulante para el tratamiento de agua potable en el caso del río Tulte para la comunidad del distrito de Yekuset, Etiopía. *Desafíos ambientales*, 4 , 100198.

Zhao, C., & Chen, W. (2019). A review for tannery wastewater treatment: some thoughts under stricter discharge requirements. *Environmental Science and Pollution Research, 26*, 26102-26111. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-05699-6

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Evaluación de efecto del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, Ucayali 2024						
Problema	**Objetivos**	**Hipótesis**	**Variable**	**Dimensión**	**Indicadores**	**Unidades**
General ¿Cuál es el efecto del Biofloculante extraído de la semilla de papaya *(Carica Papaya)* en el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, Ucayali 2024?	General Evaluar el efecto del Biofloculante extraído de la semilla de papaya *(Carica Papaya)* para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, Ucayali 2024	General El efecto del Biofloculante extraído de la semilla de papaya *(Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, Ucayali 2024, reduce en un 50% los contaminantes.	**Dependiente:** Agua de la laguna de Yarinacocha	Calidad de agua	pH Conductividad Turbiedad	H+ Us/cm Mg/l
Específicos ¿Cuál es la dosis óptima del Biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha?	Específicos Determinar la dosis óptima del Biofloculante extraído de la semilla de papaya *(Carica Papaya)* para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha	Específicos La dosis óptima del Biofloculante extraído de la semilla de papaya *(Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, es de 1 g de Biofloculante / l.	**Independiente:** Biofloculante de semillas de papaya *(Carica Papaya)*	Dosis	0.1 g/ L 1.0 g/ L 2.0 g/L	Gramos de Biofloculante / Litro de agua
¿Cuál es el tiempo óptimo del Biofloculante extraído de la semilla de papaya *(Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la	Determinar el tiempo óptimo del Biofloculante extraído de la semilla de papaya *(Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la	El tiempo óptimo del Biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya)* para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, es de 5 minutos.		Tiempo	1 minutos 5 minutos 10 minutos	Minutos de agitación
				Agitación	100 rpm 500 rpm	Revoluciones por minuto
				Estadio fruto	Maduración	

laguna de Yarinacocha?	laguna de Yarinacocha	
¿Cuál velocidad de agitación óptima del biofloculante extraído de la semilla de papaya (*Carica Papaya*) para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha?	Determinar la velocidad de agitación óptima del biofloculante extraído de la semilla de papaya *(Carica Papaya)* para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha	La velocidad de agitación óptima del biofloculante extraído de la semilla de papaya *(Carica Papaya)* para el tratamiento de aguas superficiales de la laguna de Yarinacocha, es de 250 rpm.

Anexo 2: Panel fotográfico

Figura 24

Llenado del formato de registro de datos de campo durante la medición de la calidad del agua de la Laguna de Yarinacocha.



Figura 25

Medición de parámetros físicos del agua de la Laguna de Yarinacocha



Figura 26

Recolección de muestras de agua en la laguna de Yarinacocha para su análisis



Figura 27

Aplicación de preservantes a las muestras de agua recolectadas de la laguna de Yarinacocha.



Figura 28

Presentación de los recipientes con muestras de agua para el análisis microbiológico del agua de la Laguna de Yarinacocha



Figura 29

Presentación de los recipientes con muestras de agua para el análisis de metales presentes en el agua de la laguna de Yarinacocha



Figura 30

Llenado y rotulado de recipientes de muestra de agua de la laguna de Yarinacocha



Figura 31

Extracción de las semillas de papaya para la elaboración del biofloculante



Figura 32

Separado de las semillas de papaya para su posterior limpieza y lavado.



Figura 33

Limpieza y lavado de semillas de papaya para retiro de impurezas.



Figura 34

Proceso de secado de las semillas de papaya.



Figura 35

Semillas de papaya después del proceso de secado en estufa (50 °C, 24 h)



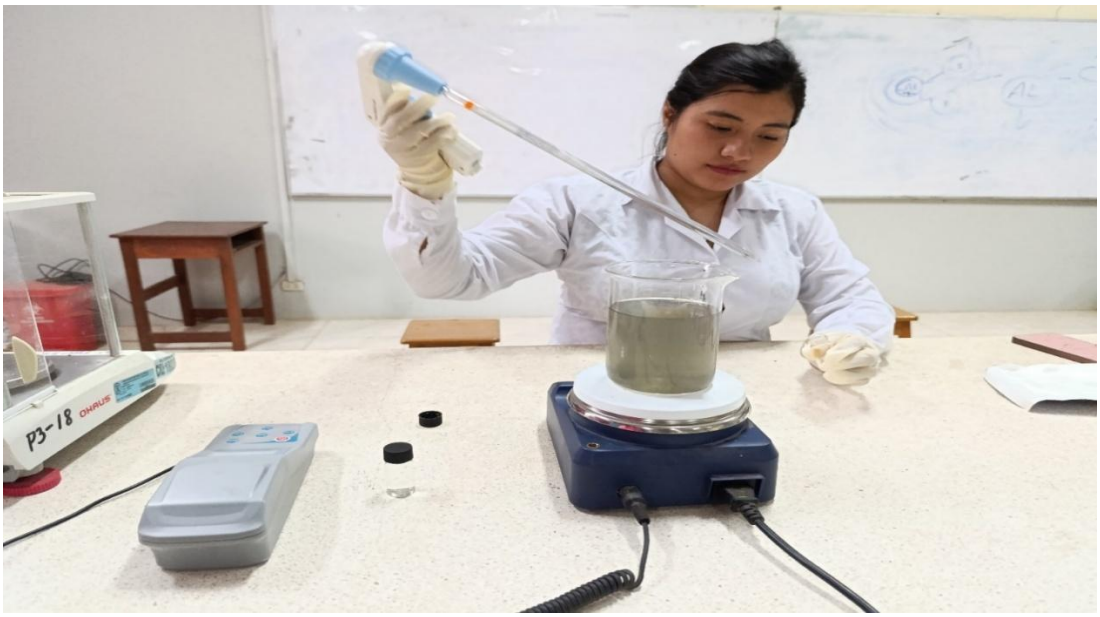
Figura 36

Molienda de las semillas de papaya para la elaboración del biofloculante



Figura 37

Extracción de las muestras de agua de la laguna de Yarinacocha para la medición de la turbidez para evaluar la eficiencia del biofloculante.

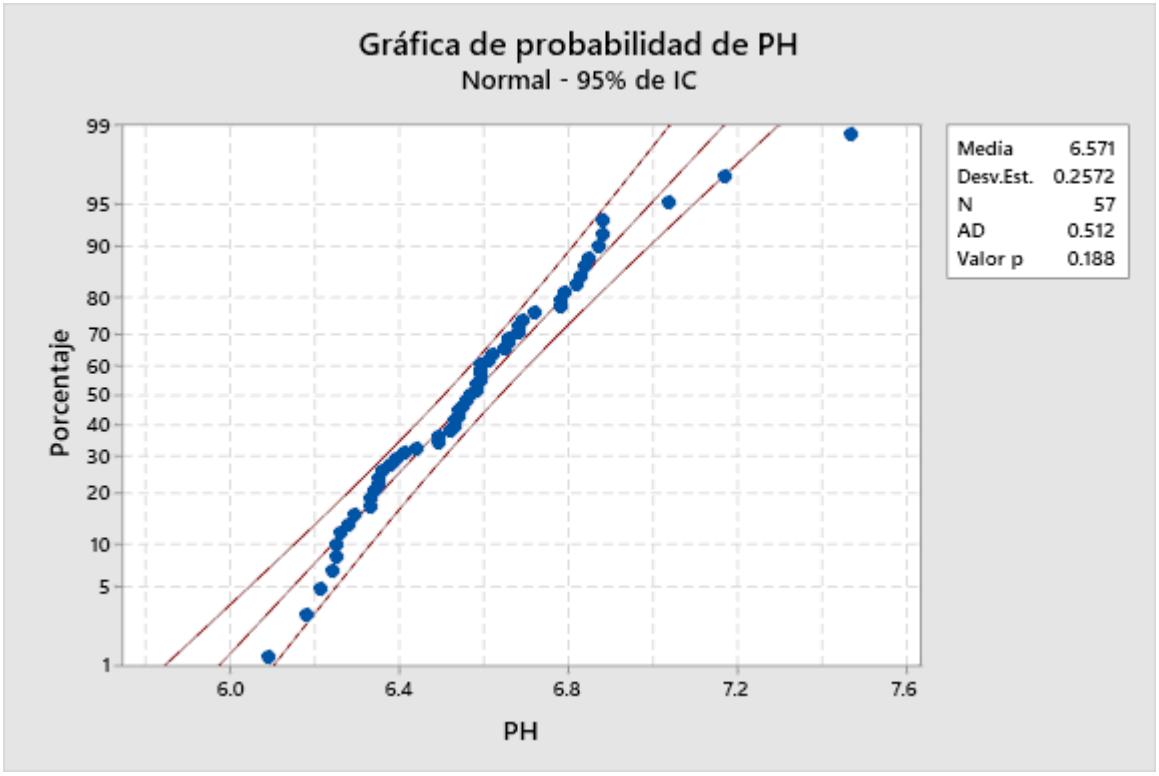


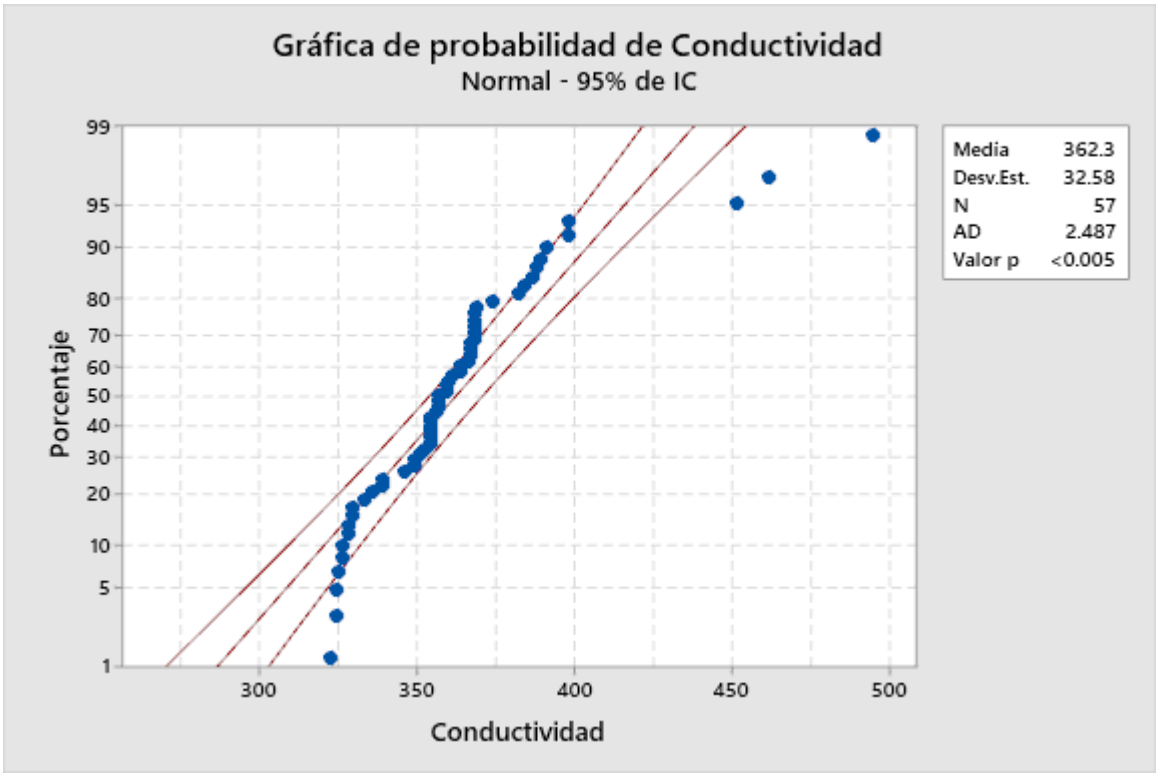
Anexo 3: Matriz de datos

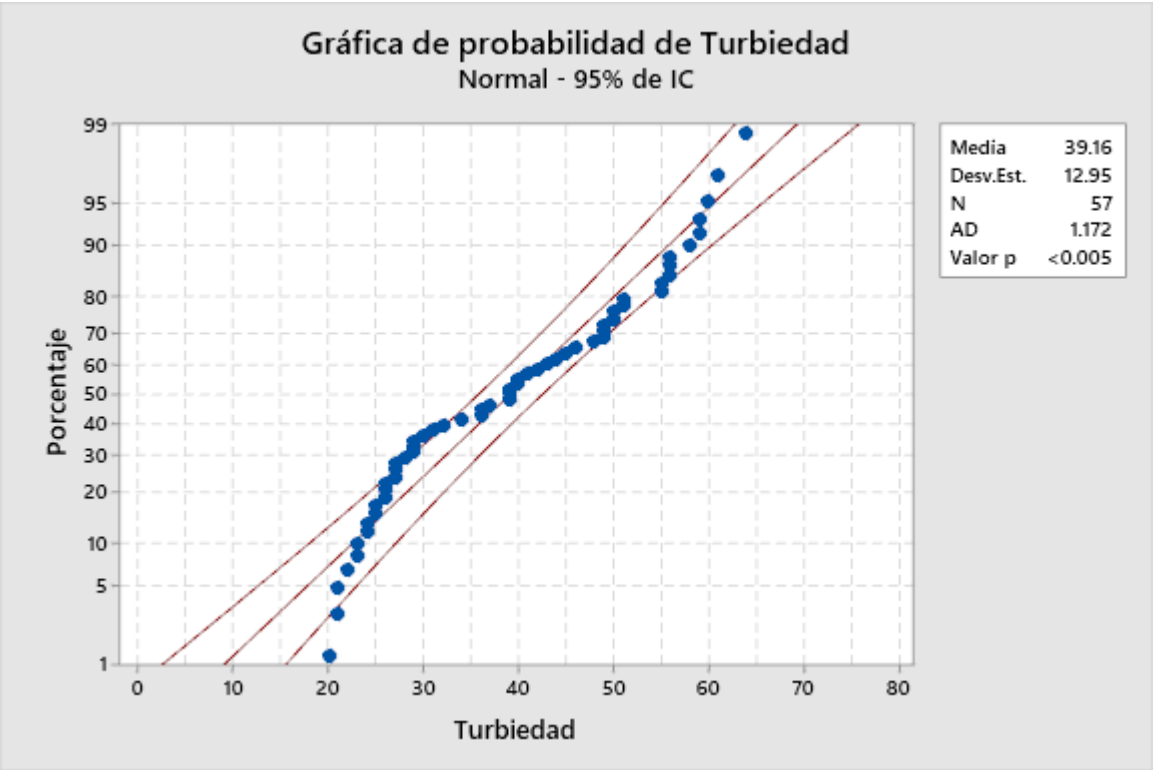
Dosis	Tiempo	Agitación	PH	Conductividad	Turbiedad
0 g/ l	0 minutos	0 rpm	**7.17**	**452**	36
0 g/ l	0 minutos	0 rpm	**7.04**	**462**	31
0 g/ l	0 minutos	0 rpm	**7.47**	**495**	46
1 g/ l	1 minuto	100 rpm	6.87	**382**	30
1 g/ l	1 minuto	500 rpm	6.59	**368**	27
1 g/ l	1 minuto	100 rpm	6.59	**359**	27
1 g/ l	1 minuto	500 rpm	6.82	**357**	28
1 g/ l	1 minuto	100 rpm	6.72	**336**	25
1 g/ l	1 minuto	500 rpm	6.79	**367**	26
2.5 g/ l	1 minuto	100 rpm	6.68	**339**	39
2.5 g/ l	1 minuto	500 rpm	6.55	**364**	39
2.5 g/ l	1 minuto	100 rpm	6.53	**389**	29
2.5 g/ l	1 minuto	500 rpm	6.54	**326**	40
2.5 g/ l	1 minuto	100 rpm	6.25	**349**	42
2.5 g/ l	1 minuto	500 rpm	6.65	**368**	32
5 g/ l	1 minuto	100 rpm	6.09	**387**	49
5 g/ l	1 minuto	500 rpm	6.35	**354**	48
5 g/ l	1 minuto	100 rpm	6.49	**354**	61
5 g/ l	1 minuto	500 rpm	6.25	**354**	55
5 g/ l	1 minuto	100 rpm	6.24	**324**	59
5 g/ l	1 minuto	500 rpm	6.29	**325**	60
1 g/ l	10 minutos	100 rpm	6.78	**368**	29
1 g/ l	10 minutos	500 rpm	6.52	**366**	25
1 g/ l	10 minutos	100 rpm	6.69	**364**	23
1 g/ l	10 minutos	500 rpm	6.78	**354**	27
1 g/ l	10 minutos	100 rpm	6.68	**354**	20
1 g/ l	10 minutos	500 rpm	6.84	**346**	21
2.5 g/ l	10 minutos	100 rpm	6.58	**351**	26
2.5 g/ l	10 minutos	500 rpm	6.49	**360**	29
2.5 g/ l	10 minutos	100 rpm	6.61	**374**	43
2.5 g/ l	10 minutos	500 rpm	6.54	**333**	34

2.5 g/ l	10 minutos	100 rpm	6.34	**326**	39
2.5 g/ l	10 minutos	500 rpm	6.28	**361**	44
5 g/ l	10 minutos	100 rpm	6.18	**388**	51
5 g/ l	10 minutos	500 rpm	6.33	**391**	51
5 g/ l	10 minutos	100 rpm	6.85	**367**	56
5 g/ l	10 minutos	500 rpm	6.33	**357**	49
5 g/ l	10 minutos	100 rpm	6.41	**322**	59
5 g/ l	10 minutos	500 rpm	6.56	**324**	58
1 g/ l	5 minutos	100 rpm	6.88	**356**	26
1 g/ l	5 minutos	500 rpm	6.57	**359**	21
1 g/ l	5 minutos	100 rpm	6.53	**368**	24
1 g/ l	5 minutos	500 rpm	6.88	**369**	23
1 g/ l	5 minutos	100 rpm	6.66	**367**	22
1 g/ l	5 minutos	500 rpm	6.83	**339**	24
2.5 g/ l	5 minutos	100 rpm	6.59	**349**	45
2.5 g/ l	5 minutos	500 rpm	6.58	**357**	40
2.5 g/ l	5 minutos	100 rpm	6.62	**384**	37
2.5 g/ l	5 minutos	500 rpm	6.66	**329**	41
2.5 g/ l	5 minutos	100 rpm	6.35	**354**	36
2.5 g/ l	5 minutos	500 rpm	6.59	**352**	49
5 g/ l	5 minutos	100 rpm	6.21	**398**	55
5 g/ l	5 minutos	500 rpm	6.39	**398**	50
5 g/ l	5 minutos	100 rpm	6.44	**368**	50
5 g/ l	5 minutos	500 rpm	6.36	**328**	56
5 g/ l	5 minutos	100 rpm	6.38	**328**	56
5 g/ l	5 minutos	500 rpm	6.26	**329**	64

Anexo 4: Análisis de Normalidad de datos






Gráfica de probabilidad de Turbiedad
Normal - 95% de IC
Porcentaje
99
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
1
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Turbiedad
Media 39.16
Desv.Est. 12.95
N 57
AD 1.172
Valor p <0.005

Anexo 5: Análisis Estadístico

Multilevel Factorial Design

```
Factors:       3     Replicates:     3
Base runs:    18     Total runs:    54
Base blocks:   1     Total blocks:   1

Number of levels: 3; 3; 2
```

General Linear Model: pH versus DOSIS; TIEMPO; AGITACIÓN

Method

```
Factor coding  (-1; 0; +1)
```

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
DOSIS	Fixed	3	1.0; 2.5; 5.0
TIEMPO	Fixed	3	1; 5; 10
AGITACIÓN	Fixed	2	100; 500

pH

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0953065	85.45%	78.57%	67.25%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	6.5344	0.0130	503.83	0.000	
DOSIS					
1.0	0.1889	0.0183	10.30	0.000	1.33
2.5	-0.0106	0.0183	-0.58	0.569	1.33
TIEMPO					
1	-0.0217	0.0183	-1.18	0.245	1.33
5	0.0494	0.0183	2.70	0.011	1.33
AGITACIÓN					
100	-0.0070	0.0130	-0.54	0.591	1.00
DOSIS*TIEMPO					
1.0 1	0.0000	0.0259	0.00	1.000	1.78
1.0 5	-0.0578	0.0259	-2.23	0.032	1.78
2.5 1	0.0761	0.0259	2.93	0.006	1.78
2.5 5	0.0100	0.0259	0.39	0.702	1.78
DOSIS*AGITACIÓN					
1.0 100	-0.0052	0.0183	-0.28	0.779	1.33
2.5 100	-0.0113	0.0183	-0.62	0.542	1.33
TIEMPO*AGITACIÓN					
1 100	0.0343	0.0183	1.87	0.070	1.33

```
  5 100                   0.0176   0.0183     0.96    0.344  1.33
DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN
  1.0 1 100               0.1196   0.0259     4.61    0.000  1.78
  1.0 5 100              -0.1170   0.0259    -4.51    0.000  1.78
  2.5 1 100               0.0224   0.0259     0.86    0.393  1.78
  2.5 5 100               0.0041   0.0259     0.16    0.876  1.78
```

Regression Equation

```
pH = 6.5344 + 0.1889 DOSIS_1.0 - 0.0106 DOSIS_2.5 - 0.1783 DOSIS_5.0
- 0.0217 TIEMPO_1
     + 0.0494 TIEMPO_5 - 0.0278 TIEMPO_10 - 0.0070 AGITACIÓN_100
+ 0.0070 AGITACIÓN_500
     + 0.0000 DOSIS*TIEMPO_1.0 1 - 0.0578 DOSIS*TIEMPO_1.0 5
+ 0.0578 DOSIS*TIEMPO_1.0 10
     + 0.0761 DOSIS*TIEMPO_2.5 1 + 0.0100 DOSIS*TIEMPO_2.5 5
- 0.0861 DOSIS*TIEMPO_2.5 10
     - 0.0761 DOSIS*TIEMPO_5.0 1 + 0.0478 DOSIS*TIEMPO_5.0 5
+ 0.0283 DOSIS*TIEMPO_5.0 10
     - 0.0052 DOSIS*AGITACIÓN_1.0 100 + 0.0052 DOSIS*AGITACIÓN_1.0 500
     - 0.0113 DOSIS*AGITACIÓN_2.5 100 + 0.0113 DOSIS*AGITACIÓN_2.5 500
     + 0.0165 DOSIS*AGITACIÓN_5.0 100 - 0.0165 DOSIS*AGITACIÓN_5.0 500
     + 0.0343 TIEMPO*AGITACIÓN_1 100 - 0.0343 TIEMPO*AGITACIÓN_1 500
     + 0.0176 TIEMPO*AGITACIÓN_5 100 - 0.0176 TIEMPO*AGITACIÓN_5 500
     - 0.0519 TIEMPO*AGITACIÓN_10 100 + 0.0519 TIEMPO*AGITACIÓN_10 500
     + 0.1196 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 1 100
- 0.1196 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 1 500
     - 0.1170 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 5 100
+ 0.1170 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 5 500
     - 0.0026 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 10 100
+ 0.0026 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 10 500
     + 0.0224 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 1 100
- 0.0224 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 1 500
     + 0.0041 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 5 100
- 0.0041 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 5 500
     - 0.0265 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 10 100
+ 0.0265 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 10 500
     - 0.1420 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 1 100
+ 0.1420 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 1 500
     + 0.1130 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 5 100
- 0.1130 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 5 500
     + 0.0291 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 10 100
- 0.0291 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 10 500
```

Conductividad

Model Summary

```
      S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
10.7212  81.11%     72.19%      57.50%
```

Coefficients

```
Term                    Coef  SE Coef  T-Value  P-Value   VIF
Constant              356.30     1.46   244.21    0.000
DOSIS
  1.0                   3.65     2.06     1.77    0.086  1.33
  2.5                  -2.69     2.06    -1.30    0.201  1.33
TIEMPO
  1                    12.31     2.06     5.97    0.000  1.33
```

```
  5                      1.15     2.06     0.56    0.581  1.33
AGITACIÓN
  100                    3.15     1.46     2.16    0.038  1.00
DOSIS*TIEMPO
  1.0 1                 -5.76     2.92    -1.97    0.056  1.78
  1.0 5                  0.74     2.92     0.25    0.801  1.78
  2.5 1                -12.59     2.92    -4.32    0.000  1.78
  2.5 5                  1.07     2.92     0.37    0.715  1.78
DOSIS*AGITACIÓN
  1.0 100               -1.54     2.06    -0.74    0.461  1.33
  2.5 100                0.46     2.06     0.22    0.824  1.33
TIEMPO*AGITACIÓN
  1 100                 -3.09     2.06    -1.50    0.143  1.33
  5 100                  9.07     2.06     4.40    0.000  1.33
DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN
  1.0 1 100              3.65     2.92     1.25    0.219  1.78
  1.0 5 100             -8.85     2.92    -3.03    0.004  1.78
  2.5 1 100             -7.52     2.92    -2.58    0.014  1.78
  2.5 5 100             13.81     2.92     4.73    0.000  1.78
```

Regression Equation

```
Conductividad = 356.30 + 3.65 DOSIS_1.0 - 2.69 DOSIS_2.5 - 0.96 DOSIS_5.0
+ 12.31 TIEMPO_1
                + 1.15 TIEMPO_5 - 13.46 TIEMPO_10 + 3.15 AGITACIÓN_100
- 3.15 AGITACIÓN_500
                - 5.76 DOSIS*TIEMPO_1.0 1 + 0.74 DOSIS*TIEMPO_1.0 5
+ 5.02 DOSIS*TIEMPO_1.0
                10 - 12.59 DOSIS*TIEMPO_2.5 1 + 1.07 DOSIS*TIEMPO_2.5 5
                + 11.52 DOSIS*TIEMPO_2.5 10 + 18.35 DOSIS*TIEMPO_5.0 1
                - 1.81 DOSIS*TIEMPO_5.0 5 - 16.54 DOSIS*TIEMPO_5.0 10
                - 1.54 DOSIS*AGITACIÓN_1.0 100 + 1.54 DOSIS*AGITACIÓN_1.0 500
                + 0.46 DOSIS*AGITACIÓN_2.5 100 - 0.46 DOSIS*AGITACIÓN_2.5 500
                + 1.07 DOSIS*AGITACIÓN_5.0 100 - 1.07 DOSIS*AGITACIÓN_5.0 500
                - 3.09 TIEMPO*AGITACIÓN_1 100 + 3.09 TIEMPO*AGITACIÓN_1 500
                + 9.07 TIEMPO*AGITACIÓN_5 100 - 9.07 TIEMPO*AGITACIÓN_5 500
                - 5.98 TIEMPO*AGITACIÓN_10 100 + 5.98 TIEMPO*AGITACIÓN_10 500
                + 3.65 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 1 100
- 3.65 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 1
                500 - 8.85 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 5 100
+ 8.85 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0
                5 500 + 5.20 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 10 100
                - 5.20 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 10 500
- 7.52 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 1
                100 + 7.52 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 1 500
                + 13.81 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 5 100
- 13.81 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 5
                500 - 6.30 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 10 100
                + 6.30 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 10 500
+ 3.87 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 1
                100 - 3.87 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 1 500
- 4.96 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0
                5 100 + 4.96 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 5 500
```

Kruskal-Wallis Test: Conductividad

```
Kruskal-Wallis Test on Conductividad

S     N  Median  Ave Rank      Z
```

```
A         18   361.5      31.4   1.28
B         18   353.0      25.1  -0.79
C         18   354.0      26.0  -0.50
Overall   54              27.5

H = 1.68  DF = 2  P = 0.432
H = 1.68  DF = 2  P = 0.431  (adjusted for ties)
```

Turbidez

Model Summary

```
      S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
6.55320  81.02%     72.06%      57.30%
```

Coefficients

```
Term                       Coef  SE Coef  T-Value  P-Value   VIF
Constant                 38.074    0.892    42.69    0.000
DOSIS
  1.0                    -0.02     1.26    -0.01    0.988  1.33
  2.5                    -7.91     1.26    -6.27    0.000  1.33
TIEMPO
  1                      -1.07     1.26    -0.85    0.400  1.33
  5                       1.37     1.26     1.09    0.284  1.33
AGITACIÓN
  100                  -0.185    0.892    -0.21    0.837  1.00
DOSIS*TIEMPO
  1.0 1                  11.19     1.78     6.27    0.000  1.78
  1.0 5                   2.07     1.78     1.16    0.253  1.78
  2.5 1                  -4.93     1.78    -2.76    0.009  1.78
  2.5 5                  -1.37     1.78    -0.77    0.447  1.78
DOSIS*AGITACIÓN
  1.0 100                 4.02     1.26     3.19    0.003  1.33
  2.5 100                -1.43     1.26    -1.13    0.266  1.33
TIEMPO*AGITACIÓN
  1 100                   0.19     1.26     0.15    0.884  1.33
  5 100                   0.74     1.26     0.59    0.561  1.33
DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN
  1.0 1 100              -5.52     1.78    -3.09    0.004  1.78
  1.0 5 100               8.59     1.78     4.82    0.000  1.78
  2.5 1 100               3.26     1.78     1.83    0.076  1.78
  2.5 5 100              -5.63     1.78    -3.16    0.003  1.78
```

Regression Equation

```
Turbiedad = 38.074 - 0.02 DOSIS_1.0 - 7.91 DOSIS_2.5 + 7.93 DOSIS_5.0
- 1.07 TIEMPO_1
            + 1.37 TIEMPO_5 - 0.30 TIEMPO_10 - 0.185 AGITACIÓN_100
+ 0.185 AGITACIÓN_500
            + 11.19 DOSIS*TIEMPO_1.0 1 + 2.07 DOSIS*TIEMPO_1.0 5
- 13.26 DOSIS*TIEMPO_1.0 10
            - 4.93 DOSIS*TIEMPO_2.5 1 - 1.37 DOSIS*TIEMPO_2.5 5
+ 6.30 DOSIS*TIEMPO_2.5 10
            - 6.26 DOSIS*TIEMPO_5.0 1 - 0.70 DOSIS*TIEMPO_5.0 5
+ 6.96 DOSIS*TIEMPO_5.0 10
            + 4.02 DOSIS*AGITACIÓN_1.0 100 - 4.02 DOSIS*AGITACIÓN_1.0 500
            - 1.43 DOSIS*AGITACIÓN_2.5 100 + 1.43 DOSIS*AGITACIÓN_2.5 500
            - 2.59 DOSIS*AGITACIÓN_5.0 100 + 2.59 DOSIS*AGITACIÓN_5.0 500
            + 0.19 TIEMPO*AGITACIÓN_1 100 - 0.19 TIEMPO*AGITACIÓN_1 500
            + 0.74 TIEMPO*AGITACIÓN_5 100 - 0.74 TIEMPO*AGITACIÓN_5 500
```

```
            - 0.93 TIEMPO*AGITACIÓN_10 100 + 0.93 TIEMPO*AGITACIÓN_10 500
            - 5.52 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 1 100
+ 5.52 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 1 500
            + 8.59 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 5 100
- 8.59 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 5 500
            - 3.07 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 10 100
+ 3.07 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_1.0 10 500
            + 3.26 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 1 100
- 3.26 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 1 500
            - 5.63 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 5 100
+ 5.63 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 5 500
            + 2.37 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 10 100
- 2.37 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_2.5 10 500
            + 2.26 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 1 100
- 2.26 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 1 500
            - 2.96 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 5 100
+ 2.96 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 5 500
            + 0.70 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 10 100
- 0.70 DOSIS*TIEMPO*AGITACIÓN_5.0 10 500


Fits and Diagnostics for Unusual Observations
```

Kruskal-Wallis Test: Turbiedad

```
Kruskal-Wallis Test on Turbiedad

DOSIS     N  Median  Ave Rank      Z
1.0      18   30.50      27.1  -0.15
2.5      18   27.50      17.4  -3.35
5.0      18   48.50      38.1   3.50
Overall  54              27.5

H = 15.64  DF = 2  P = 0.000
H = 15.65  DF = 2  P = 0.000  (adjusted for ties)
```

Comparaciones por parejas de dosis

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada[a]
2,5-1,0	9,694	5,241	1,850	,064	,193
2,5,-5,0	-20,722	5,241	-3,954	,000	,000
1,0-5,0	-11,028	5,241	-2,104	,035	,106

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales.
Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de ,05.
a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.