

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



**Evaluación de la eficiencia de polímeros naturales en el
proceso de coagulación-floculación en aguas
superficiales.**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal y
Medio Ambiente

Autor:

Bach. Luis Edilson, Reyes Perez

Tumbes,2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



**Evaluación de la eficiencia de polímeros naturales en el
proceso de coagulación-floculación en aguas
superficiales.**

Tesis aprobada en forma y estilo por

Dr. Samuel Pacheco Marchán (Presidente)

A blue ink signature of Dr. Samuel Pacheco Marchán, written over a horizontal line.

 [0009-0003-2381-8606](https://orcid.org/0009-0003-2381-8606)

Mg. José Antonio Silva Chavez (Secretario)

A blue ink signature of Mg. José Antonio Silva Chavez, written over a horizontal line.

 [0000-0001-5763-407X](https://orcid.org/0000-0001-5763-407X)

Mg. John Henry Rimaycuna Ramirez (Vocal)

A blue ink signature of Mg. John Henry Rimaycuna Ramirez, written over a horizontal line.

 [0000-0002-2767-9733](https://orcid.org/0000-0002-2767-9733)

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



**Evaluación de la eficiencia de polímeros naturales en el
proceso de coagulación-floculación en aguas
superficiales.**

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su
contenido y forma

Bach. Luis Edilson Reyes Perez (Autor) _____

Mg. Ing. John Henry Rimaycuna Ramirez (Asesor) _____

 [0000-0002-2767-9733](#)

Mg. Erick Antonio Suarez Peña (Coasesor) _____

 [0000-0003-0137-8251](#)

Tumbes, 2026

Acta de sustentación de tesis



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA



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

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los nueve días del mes de julio de dos mil veintiséis, siendo las Diez horas, con treinta minutos (10:30), de la mañana, de forma presencial en la Oficina de investigación de la Universidad Nacional de Tumbes, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 023-2025/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, **Dr. Samuel Edmundo Pacheco Marchan** (Presidente), **Mg. José Antonio Silva Chávez** (Secretario), **John Henry Rimaycuna Ramirez** (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al **Mg. John Henry Rimaycuna Ramirez**, como **Asesor** y al **Ing. Erick Antonio Suarez Peña**, como **Co-asesor**, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, "**Evaluación de la eficiencia de polímeros naturales en el proceso de coagulación-floculación en aguas superficiales**", para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, presentado por el **Bach. Luis Edilson Reyes Perez**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. LUIS EDILSON REYES PEREZ**; APROBADA, por UNANIMIDAD, con el calificativo MUY BUENO.

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda APTO para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las once horas y veinte minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 9 DE Julio 2026

 Dr. Samuel Edmundo Pacheco Marchan DNI N° 00230333 CODIGO ORCID 0009-0003-2381-8606 Presidente	 Mg. José Antonio Silva Chávez DNI N° 41043173 CODIGO ORCID 0000-0001-5763-4078 Secretario
 John Henry Rimaycuna Ramirez DNI N° 70043386 CODIGO ORCID 0000-0002-2767-9733 Vocal	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
S. académica.

3% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

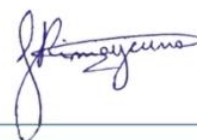
- 2%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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



Mg. John Rimaycuna Ramírez
Orcid: 0000-0002-2767-9733

Fuentes principales

- 2% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	kipdf.com	<1%
2	Trabajos del estudiante	Universidad Continental on 2023-06-27	<1%
3	Internet	1library.co	<1%
4	Internet	hdl.handle.net	<1%
5	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2026-03-31	<1%
6	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Agraria La Molina on 2025-10-02	<1%
8	Publicación	Villasante, Isabel Carmen Rios. "El Impacto de los Vertimientos de Agua Residual ...	<1%
9	Internet	www.unileon.es	<1%
10	Trabajos del estudiante	ISM International Academy on 2022-04-19	<1%

Mg. John Rimaycuna Ramirez
Orcid: 0000-0002-2767-9733

Dedicatoria

A mi madre, Yuri Elizabeth Perez Balladares por ser mi pilar fundamental y brindarme su apoyo incondicional en los ámbitos moral y económico, permitiéndome alcanzar esta meta. A mi familia, por su aliento diario y poder ser el soporte constante en el transcurso de mi formación profesional.

Agradecimiento

- En primer lugar, doy gracias a Dios por darme la oportunidad de seguir con vida, a mis padres, hermano, abuelos, a Astrid Ipanaque por estar siempre conmigo apoyándome en mi camino profesional, al Ing. John Henry Rimaycuna Ramírez y al Ing. Erick Antonio Suarez Peña, asesor y coasesor de esta tesis, gracias por su apoyo y su disposición.
- Al programa Blue Deal, que de la mano con la Autoridad Nacional del Agua – Tumbes, por el valioso financiamiento para la ejecución de esta investigación.
- A la Dirección Regional de Salud, de manera especial al área de saneamiento básico y a sus especialistas de su laboratorio de química y de biología por facilitar sus instalaciones y brindar el soporte técnico indispensable durante el desarrollo de este estudio.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
III. MATERIALES Y MÉTODOS	8
3.1. Tipo de estudio	8
3.2. Hipótesis	8
3.3. Zona de estudio	8
3.4. Esquema metodológico.....	8
3.5. Obtención de los polímeros naturales	9
3.5.1. Polímero de banano	9
3.5.2. Polímero de cascara de papa	10
3.6. Caracterización fisicoquímica de los polímeros	11
3.7. Muestreo de agua	13
3.7.1. Punto de muestreo	13
3.7.2. Recolección de muestras	13
3.7.3. Determinación de los parámetros de campo.....	14
3.7.4. Identificación de las muestras de agua.....	14
3.8. Caracterización inicial de la muestra.....	14
3.8.1. Turbidez	14
3.8.2. Solidos disueltos totales, solidos suspendidos totales y solidos totales	
15	
3.9. Preparación y gelatinización del biocoagulante	15
3.10. Ensayos preliminares de rango de dosis (Pruebas Piloto)	16
3.11. Implementación de los tratamientos (Prueba de Jarras)	16

3.12.	Análisis estadístico de resultados	17
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1.	Rendimiento del polímero (Banano inmaduro y Cáscara de papa).....	18
4.2.	Caracterización fisicoquímica de los polímeros y la solución	18
4.2.1.	Polímero de cascara de papa	18
4.2.2.	Polímero de banano verde.....	19
4.3.	Puntos de muestreos	20
4.4.	Caracterización fisicoquímica del agua del Río Tumbes	20
4.5.	Resultados de la turbidez final	21
4.6.	Porcentaje de remoción de turbidez	23
4.7.	Caracterización fisicoquímica post – tratamiento	25
4.8.	Análisis de varianza	26
4.9.	Prueba de Tukey.....	27
V.	CONCLUSIONES	28
VI.	RECOMENDACIONES	30
VII.	Referencias bibliográficas	31
VIII.	Anexos	36

Índice de tablas

Tabla 1. Rendimiento de polímero por tipo.....	18
Tabla 2. Caracterización del polímero de cascara de papa.....	19
Tabla 3. Caracterización del polímero de banano.....	20
Tabla 4. Georreferenciación del punto de muestreo.....	20
Tabla 5. Caracterización fisicoquímica de la muestra.....	21
Tabla 6. Resultado de turbidez final aplicando polímero de Banano.....	22
Tabla 7. Resultado de turbidez final aplicando polímero de Cascara de papa.....	22
Tabla 8. Resultado de remoción de turbidez aplicando polímero de Banano.....	23
Tabla 9. Resultado de remoción de turbidez final aplicando polímero de Cascara de papa.....	24
Tabla 10. Caracterización fisicoquímica post – tratamiento, banano.....	25
Tabla 11. Caracterización fisicoquímica post – tratamiento, cascara de papa.....	26
Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA), para Banano.....	27
Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA), para Cascara de papa.....	27
Tabla 14. Prueba de Tukey para banano.....	27
Tabla 15. Prueba de Tukey para cascara de papa.....	27

Índice de figuras

Figura 1. Esquema metodológico de la investigación.....	8
Figura 2. Bananos a procesar.....	36
Figura 3. Pelado y cortado de la materia prima.....	36
Figura 4. Secado.....	36
Figura 5. Triturado.....	36
Figura 6. Limpieza y secado.....	37
Figura 7. Molienda del producto final.....	37
Figura 8. Selección y lavado de materia prima.....	37
Figura 9. Cortado y colocación en solución.....	37
Figura 10. Licuado de residuos.....	37
Figura 11. Tamizado y decantación del residuo.....	37
Figura 12. Residuo en estufa.....	38
Figura 13. Producto final.....	38
Figura 14. Porcentaje de humedad.....	38
Figura 15. Porcentaje de cenizas.....	38
Figura 16. Valor de pH.....	38
Figura 17. Poder de hinchamiento y solubilidad.....	38
Figura 18. Capacidad de adsorción de agua.....	39
Figura 19. Agua superficial.....	39
Figura 20. Toma de muestra.....	39
Figura 21. Parámetros de campo.....	39
Figura 22. Preparación del biocogulante.....	39
Figura 23. Adicción del biocogulante.....	39
Figura 24. Mezcla lenta.....	40
Figura 25. Post – sedimentación.....	40
Figura 26. Medición de turbidez final.....	40
Figura 27. Comparación de dosificación de cada polímero.....	24
Figura 28. Comparación de remoción de turbidez de cada tipo de polímero.....	25

Índice de anexos

Anexo 1. Panel fotográfico.....	34
Anexo 2. Mapa de ubicación.....	41
Anexo 3. Prueba de Tukey.....	42

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo de rendimiento del polímero de banano.....	10
Ecuación 2. Cálculo de rendimiento del polímero de cascara de papa.....	11
Ecuación 3. Cálculo de porcentaje de humedad.....	11
Ecuación 4. Cálculo de porcentaje de cenizas.....	12
Ecuación 5. Cálculo de poder de hinchamiento.....	13
Ecuación 6. Cálculo de solubilidad.....	13
Ecuación 7. Cálculo de capacidad de adsorción de agua.....	13
Ecuación 8. Cálculo de cantidad de solidos disueltos y suspendidos.....	15
Ecuación 9. Cálculo de porcentaje de remoción.....	17

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de polímeros naturales, (polímero de banano y cáscara de papa) en el proceso de coagulación-floculación en aguas superficiales del río Tumbes. La metodología consistió en la extracción de los polímeros de banano y cascara de papa, fueron por método seco (11%) y húmedo (4.94%) respectivamente. La recolección de muestras de agua se obtuvo cerca del punto de captación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tumbes, con una turbidez inicial promedio de 867 UNT. Se prepararon soluciones madre de biocoagulantes al 2% mediante activación térmica. Se empleó un diseño experimental de Prueba de Jarras con cuatro tratamientos (T0: 0 mg/L; T1: 900 mg/L; T2: 1000 mg/L y T3: 1100 mg/L) por triplicado, con tiempos de mezcla rápida (250 rpm), lenta (20 rpm) y una sedimentación optimizada de 15 horas monitoreando la estabilidad biológica. Los resultados determinaron que el Tratamiento T2 (1000 mg/L) fue el óptimo para ambos polímeros. El producto de banano alcanzó una remoción máxima del 96.5% (30.5 UNT finales), mientras que el de papa logró un 94.9% (44.6 UNT finales). El análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey confirmaron diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, validando la superioridad del T2. Obteniendo los biopolímeros evaluados constituyen una alternativa sostenible y técnicamente viable para el tratamiento primario de aguas superficiales de alta turbidez, destacando el polímero de banano por su mayor capacidad de clarificación.

Palabras claves: Polímeros naturales, biocogulante estabilidad biológica, coagulación, floculación, test de jarras.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the efficiency of natural polymers (banana polymer and potato peel polymer) in the coagulation-flocculation process in surface waters of the Tumbes River. The methodology involved the extraction of banana and potato peel polymers using the dry method (11% yield) and wet method (4.94% yield), respectively. Water samples were collected near the intake point of the Tumbes Drinking Water Treatment Plant, with an average initial turbidity of 867 UNT. Stock biocoagulant solutions were prepared at 2% through thermal activation. A Jar Test experimental design was used with four treatments (T0: 0 mg/L; T1: 900 mg/L; T2: 1000 mg/L; and T3: 1100 mg/L) in triplicate, with rapid mixing (250 rpm), slow mixing (20 rpm), and an optimized sedimentation time of 15 hours while monitoring biological stability. The results determined that Treatment T2 (1000 mg/L) was optimal for both polymers. The banana product achieved a maximum removal of 96.5% (30.5 final UNT), while the potato product achieved 94.9% (44.6 final UNT). Analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test confirmed highly significant differences ($p < 0.05$) between treatments, validating the superiority of T2. In conclusion, the evaluated biopolymers constitute a sustainable and technically viable alternative for the primary treatment of high-turbidity surface waters, with the banana polymer standing out for its higher clarification capacity.

Key Words: Natural polymers, biocoagulant, biological stability, coagulation, flocculation, jar test.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, contar con un suministro de agua potable de calidad, se considera un factor decisivo, ya que este se relaciona de manera directa con la calidad de vida de la población. Pérez, (2017) menciona que la Organización Mundial de la Salud (OMS), asegura que contar con el acceso a una excelente calidad de agua potable, es considerada el motor de salud pública. Además, Cáceres, (2024) hace mención a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) los cuales fueron formulados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), año 2015, en donde se hace hincapié que hasta el 2030 se promueve lograr “Una gestión sostenible del recurso hídrico, su provisión y el saneamiento”, junto a ello se propongan metas de “reducir la contaminación en este vital recurso, mejorando su calidad” (Objetivo 6,3). El Banco Mundial (2021), menciona que, para lograr un desarrollo económico y social, es indispensable disponer de acceso a fuentes de agua de buena calidad, el cual se involucra directamente con la siembra de alimentos, poder generar energía propia, proteger del medio ambiente, y el impulso de la industria y comercio, es por ello que se considera fundamental el acceso a los servicios de Agua Potable y Saneamiento Básico dentro de un país. Sin embargo, aproximadamente un 70% de aguas crudas residuales que son generadas en Latinoamérica, a éstas no se les aplica ningún tratamiento, debido que el agua es extraída, usada y devuelta a los cuerpos de aguas naturales, contaminando estos con sus componentes que llevan (Donoso, 2020).

Cabe recalcar que aún en pleno siglo XXI, el suministro de la calidad de agua potable y saneamiento, refleja un desafío importante al nivel mundial, sin embargo, en aquellos países en vía de desarrollo, como son los de Asia, África, Sudamérica y el Caribe este problema se encuentra con mucha más frecuencia (OMS/UNICEF, 2015), en donde además se menciona que de cada 10 personas que no cuentan con acceso a fuentes mejoradas de agua, 8 de ellos viven en zonas rurales.

El problema de la contaminación en el río Tumbes, por parte de los relaves mineros provenientes del país vecino Ecuador que son vertidos al río Calera y al río Amarillo

sus aguas se encuentran con el río Pindo forman el río Puyango que cuando este entra en tierras peruanas pasa a nominarse Río Tumbes (Puño, 2018), donde producto de ello (García, 2016), logró encontrar algunos agentes contaminantes como lo fueron el plomo, zinc, mercurio y arsénico, siendo el primero encontrado en concentraciones muy altas. Así mismo los desechos sólidos (botellas plásticas, basura, pañales, entre otros) que son arrojados por la población local, sumándole el vertido de aguas residuales crudas de Tumbes las cuales se originan con actividades domésticas como son la preparación de alimentos, lavado de ropa, aseo personal, entre otras, aguas que son transportadas por ductos del sistema de alcantarillado que llegan hasta la zona de rebombeo denominada Coloma (Inga et al, 2021) sin ningún tipo de tratamiento.

El agua cruda proveniente de aguas superficiales como ríos, lagunas, etc. trae consigo múltiples impurezas, polvo, contaminantes y hasta microorganismos que afectarían la salud del ser humano, es por ello que esta debe ser tratada con un proceso de potabilización para que pueda ser consumida por el ser humano, procesos como la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección tienen que estar presentes para lograr la clarificación de estas aguas (Olivero et al, 2013). El uso de polímeros orgánicos se encuentran relacionados con el tratamiento no solo de aguas para la potabilización de uso doméstico sino de también de aguas residuales, tal como lo hicieron Topanta (2020) y Gaspar (2021), siendo el primero quien utilizó la moringa como floculante para darle tratamiento a las aguas residuales florícolas, obteniendo buenos resultados de remoción de parámetros como de coliformes fecales (79,77%), turbidez (90,83%), fosfatos (71,84%), DBO5 (65,84%) y color (62,79%), o como el segundo autor donde a través del método de jarras evalúa la dosificación óptima para la disminución de la turbidez en aguas superficiales haciendo uso de la penca de tuna y sulfato de aluminio, siendo el primero mejor que el segundo con una remoción de 99,62% y 98,41% respectivamente. (Chavez et al, 2019), indica que estos productos (polímeros orgánicos) presentan grandes beneficios, debido que estos ayudan a formar flóculos que logran sedimentarse rápidamente y son de bajo costo, además clasifica a estos en sintéticos y naturales. Si bien es cierto hoy en la actualidad los floculantes sintéticos han logrado establecerse como los insumos principales para el tratamiento de potabilizar las aguas crudas o en tratamiento de aguas residuales. Algunos de estos agentes sintéticos en las plantas de tratamientos más usados es

el sulfato de aluminio, o sulfato de alumbre debido a su gran efectividad y encontrados en menor costo (Nimesha, 2022), Sin embargo, estudios han comprobado que el uso de estos floculantes sintéticos si bien contribuyen con la aclaración de las aguas, también pueden contraer perjuicio a los ecosistemas y a la humanidad (Ceballos & Córdova, 2022). Autores como (Cutipa-Díaz et al., 2024) quien evaluó múltiples investigaciones a gran escala, encontrando que el 60% de los estudios reportan una asociación positiva entre la exposición a altos niveles de aluminio en el agua potable y un mayor riesgo de desarrollar Alzheimer. O como Krupińska (2020), quien menciona que el tratamiento con sales de aluminio genera especies del metal de bajo peso molecular disueltas en el agua las cuales son químicamente más reactivas y se absorben con mucha mayor facilidad en el tracto gastrointestinal humano.

Además de que cuando los lodos generados se vierten directamente a fuentes de agua el aluminio puede lixiviarse, según Macías Parrales et al. (2025) quienes demostraron cómo la contaminación por aluminio proveniente de procesos de potabilización genera una acumulación neta en cuencas hidrográficas, lo cual es tóxico para el crecimiento de organismos bentónicos y acuáticos, alterando ecosistemas enteros.

Por todo lo antes mencionado se piensa probar la aclaración de aguas superficiales para su uso potable libres de partículas que alteren su composición y pueda presentar una posible amenaza contra la salud humana, mediante polímeros orgánicos, destacando el uso de polímero de banano en estado inmaduro (*Musa AAA*) y cáscara de papa (*Solanum tuberosum*).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

En la actualidad, los coagulantes naturales han sido reconocidos como alternativas eficaces y, sobre todo, ambientalmente sostenibles para el tratamiento de aguas superficiales, tales como ríos y arroyos, las cuales constituyen la fuente principal de abastecimiento de agua potable tanto en zonas rurales como urbanas (Abdulkareem et al., 2023). La creciente preocupación por la escasez hídrica ha impulsado la necesidad de optimizar los procesos de potabilización y tratamiento, buscando tecnologías que minimicen el impacto ecológico asociado a los métodos convencionales.

Para el tratamiento de estos efluentes, los coagulantes naturales ofrecen ventajas significativas frente a los químicos tradicionales (como el sulfato de aluminio), destacando un menor costo operativo, una drástica reducción en el volumen de lodos producidos, mayor biodegradabilidad y la eliminación de riesgos de toxicidad residual, como la asociada al aluminio en la salud humana (Al Alwan et al., 2024; Mohammad et al., 2024).

Dentro de los coagulantes naturales, los polímeros juegan un rol fundamental y se clasifican según su origen. Por un lado, existen los de origen vegetal, entre los que destacan las semillas de *Moringa oleifera*, ricas en proteínas catiónicas, y los almidones extraídos de tubérculos como la papa (*Solanum tuberosum*) o la yuca, que actúan mediante largas cadenas de polisacáridos. Por otro lado, se encuentran los de origen animal, siendo el quitosano (derivado de la quitina de crustáceos) el biopolímero más representativo debido a su alta densidad de carga (Al Alwan et al., 2024; Saleem & Bachmann, 2019).

El mecanismo principal de estos materiales ocurre durante el proceso de coagulación-floculación, considerado una de las etapas más críticas en la depuración de aguas.

Este proceso consiste en la adición de agentes que desestabilizan las cargas eléctricas —generalmente negativas— de las partículas coloidales en suspensión. Los polímeros naturales actúan mediante dos mecanismos principales: la neutralización de carga, donde los polímeros catiónicos reducen las fuerzas de repulsión entre partículas; y el puente químico (interparticle bridging), donde las cadenas poliméricas largas se adsorben simultáneamente en varias partículas, formando aglomerados de mayor tamaño y peso denominados "flóculos", los cuales sedimentan con rapidez (Ang et al., 2020; Jorge et al., 2024).

Para evaluar la eficiencia de estos biopolímeros, la prueba de jarras (Jar Test) se mantiene como la técnica de laboratorio estandarizada. Este método permite simular los procesos de mezcla rápida (coagulación), mezcla lenta (floculación) y sedimentación, facilitando la determinación de la dosis óptima de coagulante y las condiciones hidráulicas ideales para cada tipo de agua (Taípe & Paucar, 2024). Post sedimentación, podemos obtener los valores de turbidez donde Romero (2005), hace la afirmación que este parámetro hace referencia al efecto óptico que causa el paso de los rayos luminosos, los cuales logran pasar ante una muestra de agua, esta turbidez se debe a la gran variedad de materiales que se encuentran en suspensión, ya sean materiales coloidales u partículas gruesas, arcilla, limo, materia inorgánica y orgánica, organismos planctónicos y microorganismos.

Además de analizar algunos parámetros como los sólidos disueltos totales (SDT) los cuales representan la porción de sólidos que atraviesan el filtro y permanecen en solución (sales, minerales, metales, etc.). Los sólidos suspendidos totales quienes corresponden a la fracción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio. Los sólidos totales es el parámetro que representa la suma de las materias orgánicas e inorgánicas, disueltas y suspendidas en el agua (Patiño, 2024).

Investigaciones previas respaldan la viabilidad de estas alternativas. Por ejemplo, Carrasquero et al., (2021) utilizaron un coagulante natural obtenido de cascara de papa y residuos de plátano para tratar aguas turbias sintéticas. Para el caso de Méndez et al., (2022), quienes analizaron al plátano y banano como coagulantes – floculantes para el tratamiento de agua cruda del río Guatapurí, Colombia. Sus resultados demostraron que el uso de polímeros nativos, mejora sustancialmente la calidad del efluente, validando su potencial como sustituto eco-amigable en el tratamiento de aguas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de estudio

Aplicada y experimental

3.2. Hipótesis

Los polímeros naturales a base de banano y cascara de papa son eficientes en el proceso de coagulación-floculación de aguas superficiales.

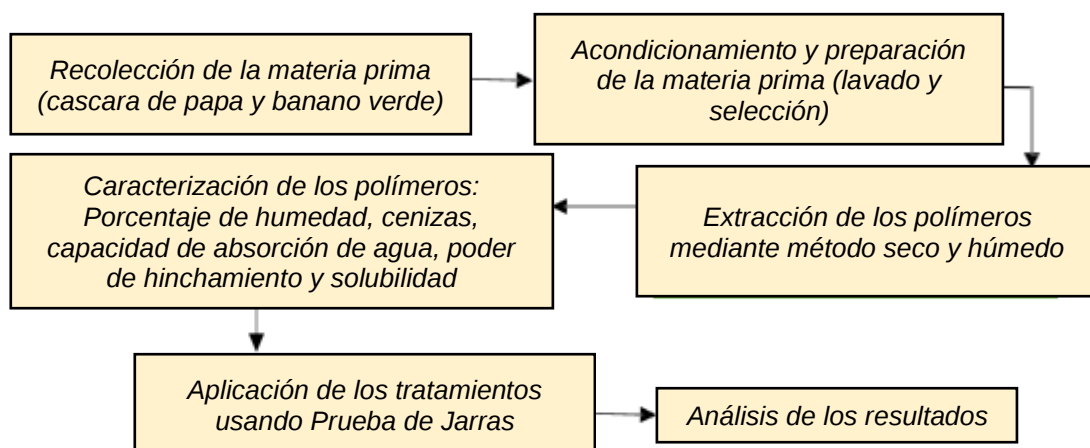
3.3. Zona de estudio

La sede Ciudad Universitaria S/N Pampa Grande de la Universidad Nacional de Tumbes, específicamente en el laboratorio Ambiental, donde se procesó el Banano en estado inmaduro y cascara de papa con la finalidad de extraer el polímero, así mismo en la segunda fase de la investigación, las muestras de agua fueron recolectadas cerca del punto de captación de la PTAP de Tumbes, los tratamientos y aplicaciones fueron dados en el laboratorio de química de la Dirección Regional de Salud del área de saneamiento básico.

3.4. Esquema metodológico

Figura 1.

Esquema metodológico de la investigación.



3.5. Obtención de los polímeros naturales

3.5.1. Polímero de banano

El polímero del banano verde fue extraído mediante el método seco, para ello se procedió a realizar de la siguiente manera (Méndez et al, 2022):

Obtención y Adecuación de Materia Prima: Se recolectaron 15 kg de banano (*Musa AAA.*) en estado de inmadurez fisiológica (verdes) y considerados descartes industriales, fue adquirida en el centro poblado de Becerra, Distrito de Pampas de Hospital (Tumbes) ver en (Figura 02).

Se efectuó el lavado del banano seleccionado con agua corriente para la remoción de impurezas superficiales y la eliminación de bananos que no cumplen los parámetros físicos o fitosanitarios. Posteriormente, se procedió a la operación de pelado manual y se realizó cortes transversales de aproximadamente 0,5 cm de espesor (Figura 3), para ser procesadas en lotes de 250 g.

Secado y Triturado (Método Seco): La extracción del polímero se realizó mediante deshidratación en estufa (marca Binder, modelo ED 115) donde se colocaron los cortes de 0.5 cm a 60 °C durante 24 horas (Figura 4). Los residuos obtenidos se trituraron en seco en una licuadora (marca Oster) (Figura 5).

Limpieza y Secado: El polímero obtenido del banano verde se lavó con agua destilada, en cada lavado se sometió a un proceso de sedimentación por gravedad durante 2 horas. Se decantó el sobrenadante, se repitió la operación de lavado y sedimentación en tres ciclos consecutivos para garantizar la eliminación de impurezas solubles.

El producto húmedo fue deshidratado en una estufa de convección (marca Memmert, modelo UN 55) a 60 °C durante 15 horas. (Figura 6).

Proceso y almacenamiento: El producto seco fue sometido a molienda manual en mortero (Figura 7) para la reducción de aglomerados. El tamizado se realizó en malla Tyler N° 200 (75

µm). El producto obtenido se pesó y se envasó en bolsas herméticas de polietileno (tipo Ziploc) para su almacenamiento a temperatura ambiente.

El rendimiento se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$\%RB = \frac{\text{Peso del polímero seco (g)}}{\text{Peso del banana pelado (g)}} * 100 \text{ (ECU 1)}$$

Fuente: *Dávila, (2014).*

3.5.2. Polímero de cascara de papa

El polímero que se extrajo de la cascara de papa, por medio del método húmedo, descrito por (Bravo and Chavarría, 2020):

Obtención de Materia Prima: Se recolectaron 15 kg de cáscara de papa provenientes de un establecimiento de comida rápida en la ciudad de Tumbes. Este material, considerado un residuo de post-procesamiento, fue trasladado al Laboratorio Ambiental de la Universidad Nacional de Tumbes para su procesamiento.

Preparación del Residuo post-procesamiento: La materia prima se sometió a un proceso de lavado con abundante agua desionizada para la eliminación de impurezas y partículas extrañas (Figura 8). Posteriormente, se realizó cortes manuales para facilitar la etapa de trituración. Las muestras se fraccionaron en lotes de 250 g.

Tratamiento Antioxidante: Con el objetivo de prevenir la oxidación de los compuestos fenólicos, los cortes se sumergieron en una solución de metabisulfito de sodio al 0,1 % (pH 4,5) utilizando agua destilada como vehículo. El material se mantuvo en condiciones controladas de temperatura a 40 °C durante 4 horas en una estufa (Figura 9).

Desintegración Mecánica: La trituración se efectuó en una licuadora (marca Oster) empleando una relación materia/solvente prima de 1:2. El proceso duró 5 minutos, aplicando una velocidad de cizallamiento alta, durante los primeros 3 minutos para optimizar la liberación de los gránulos de polímero (Figura 10).

Tamizado y limpieza: La suspensión se filtró a través de un tamiz Tyler N° 200 (apertura de 75 µm).

El producto resultante se sometió a sedimentación por gravedad durante un periodo de 2 horas. El sobrenadante fue removido y el sedimento se lavó en tres ciclos sucesivos para garantizar la pureza del polímero (Figura 11).

Secado y Refinado: El polímero purificado se sometió a secado térmico en una estufa (marca Memmert, modelo UN 55) a 60 °C por 15 horas, (Figura 12). El producto deshidratado fue pulverizado en un mortero, tamizado en malla N° 200 (apertura de 75 µm), para ser almacenado en envases herméticos de polietileno (Figura 13).

El rendimiento se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$\%RCP = \frac{\text{Peso del polímero seco (g)}}{\text{Peso de la cascara de papa (g)}} * 100 \text{ (ECU 2)}$$

Fuente: *Dávila, (2014).*

3.6. Caracterización fisicoquímica de los polímeros

Para ambos casos, se decidió realizar la medición de los siguientes parámetros:

Porcentaje de Humedad: Para la determinación del contenido de humedad, se empleó el método gravimétrico (*Bravo, & Chavarría, 2020*) mediante secado por convección térmica en la estufa marca Memmert. El procedimiento inició con el acondicionamiento de las placas Petri a 130 °C durante dos horas, para eliminar la humedad residual del recipiente y depositar 3 g de muestra en cada placa y se sometieron a un proceso de deshidratación a 135 °C por dos horas. Tras el tratamiento térmico, las muestras se retiraron y se estabilizaron a temperatura ambiente durante 15 minutos, para luego realizar su pesaje (Figura 14), para obtener el porcentaje de humedad mediante la siguiente ecuación.

$$\%Humedad = \frac{\text{Peso de la Muestra} - \text{Peso de muestra después de la estufa}}{\text{Peso de la Muestra}} * 100 \text{ (ECU 3)}$$

Fuente: *Bravo & Chavarría (2020).*

Porcentaje de Cenizas: La determinación del contenido de cenizas se realizó mediante el método de calcinación, utilizando una mufla (marca Hobersal). El procedimiento inició con el acondicionamiento de los crisoles

en estufa a 105 °C durante dos horas.

Se pesaron por triplicado las muestras de 1 g para cada variante de polímero, las cuales fueron sometidas a una pre-calcinación en una cocina eléctrica durante 25 minutos (Figura 15), las muestras se incineraron en la mufla a 600 °C por dos horas hasta obtener cenizas de aspecto homogéneo con tonalidades grises o blanquecinas.

Los crisoles se enfriaron dentro del equipo antes de proceder al pesaje para el cálculo del porcentaje de cenizas mediante la siguiente expresión matemática:

$$\%Cenizas = \frac{\text{Peso de Muestra después de la mufla}}{\text{Peso de la Muestra}} * 100 \text{ (ECU 4)}$$

Fuente: *Bravo & Chavarría (2020)*.

Valor de pH: Para la obtención del valor de pH, se realizó mediante el método potenciométrico, donde se pesaron 5 gramos de los polímeros de banano y cascara de papa, se separaron en vasos precipitados de vidrio, estos se enrazaron con agua destilada hasta llegar a 30 mL, para después colocar un agitador magnético a 300 rpm durante 30 min. Se procedió a realizar la lectura con el potenciómetro (marca WTW, modelo Multi 360 IDS) (Figura 16).

Poder de Hinchamiento, Solubilidad y Capacidad de adsorción de agua:

El Índice de Solubilidad en Agua (S), el Poder de Hinchamiento (PH) y capacidad de absorción de agua (CAA), se determinaron mediante una acondicionó al método de Martínez et al, (2019). Para el análisis, se pesaron en la balanza (marca ADAM, modelo SAB 12i), 0.5 g de polímero (M_0) en tubos cónicos para centrífuga de 10 mL y se les adicionó 8.0 mL de agua destilada. Las suspensiones se calentaron a 80 °C en un baño maría por 30 min. Con agitación constante para inducir la gelatinización. Luego se enfriaron a temperatura ambiente para realizar la centrifugación a 3000 rpm durante 10 min. (M_1). El sobrenadante puesto en placas de vidrio para ser colocado la estufa a 90°C durante 4 horas (M_2). Los valores del poder de hinchamiento, solubilidad y la capacidad de absorción de agua se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones (Figuras 17, 18 y 19):

$$PH = \frac{M_1 \text{ gel (g)}}{(M_0 \text{ polímero} - M_2 \text{ sobrenadante seco (g)}) (g)} \text{ (ECU 5)}$$

$$S (\%) = \frac{M_2 \text{ sobrenadante seco (g)}}{M_0 \text{ polímero (g)}} * 100 \text{ (ECU 6)}$$

$$CAA = \frac{M_1 \text{ gel (g)}}{M_0 \text{ polímero (g)}} \text{ (ECU 7)}$$

3.7. Muestreo de agua

3.7.1. Punto de muestreo

Se tomó en consideración el punto de captación de agua superficial de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en la ciudad de Tumbes (Río Tumbes). Georreferenciado por el Este: 560298 y Norte: 9604860 (Anexo 2).

3.7.2. Recolección de muestras

Las muestras se recolectaron de manera directa a 50 centímetros de la orilla. Se extrajo una muestra representativa de 25 litros utilizando un recipiente volumétrico (balde) y usando un colador de plástico para evitar el paso de algunos residuos de gran tamaño (basura) (Figura 20), la muestra fue dispuesta en un recipiente mayor para ser trasladada inmediatamente al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional de Tumbes. Del volumen total, 1 litro se destinó para la medición de parámetros de caracterización inicial en laboratorio y los 24 litros restantes se utilizaron para las pruebas de tratabilidad (prueba de jarras).

a. Consideraciones generales:

- El recipiente de 25 litros utilizado fue previamente lavado para evitar cualquier tipo de contaminación.
- El recurso hídrico obtenido para los análisis fue superficial.
- Se completó la ficha de registro de campo para la muestra recolectada y se adhirió la etiqueta de identificación correspondiente en el recipiente.
- Su transporte fue a temperatura ambiente hasta el laboratorio de química de la Dirección Regional de Salud

del área de saneamiento básico.

3.7.3. Determinación de los parámetros de campo

La medición in situ se realizó utilizando un equipo multiparámetro (marca Hanna, modelo HI98196). Los electrodos de lectura se introdujeron en una muestra representativa del agua superficial en un recipiente (Figura 21), para registrar los valores iniciales de pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, salinidad y temperatura.

3.7.4. Identificación de las muestras de agua

Antes de la recolección, el envase fue codificado mediante rotulado claro y resistente al agua, considerando la siguiente información:

- Número de muestra.
- Código de identificación (punto de muestreo).
- Origen de la fuente (coordenadas o referencia).
- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Tipo de análisis requerido.
- Nombre del responsable del muestreo.

3.8. Caracterización inicial de la muestra

Con la finalidad de establecer la línea base y conocer las condiciones físicas y químicas que presentaba el agua cruda antes del tratamiento, se evaluaron los siguientes parámetros: turbidez, pH, sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad. En cuanto a los parámetros de campo se siguió la metodología descrita en el punto 3.7.3.

3.8.1. Turbidez

Para la determinación de la turbidez inicial, se utilizó el método nefelométrico empleando un turbidímetro (marca Lovibond, modelo TB 211 IR), debidamente calibrado. La muestra fue homogeneizada mediante agitación suave antes de su análisis, evitando la formación de burbujas de aire. Posteriormente, se vertió en la celda de vidrio del equipo, verificando la ausencia de residuos o rayones que pudieran interferir con la refracción de la

luz. La lectura se registró directamente en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).

3.8.2. Solidos disueltos totales, solidos suspendidos totales y solidos totales

Se tomaron 80 ml de la muestra del río, la cual se pasó por una bomba de vacío quien contenía un papel filtro WHATMAN 41 previamente puesto en estufa a 80 °C por 10 minutos y pesado, la solución que pasó el filtro fue recibida en un vaso precipitado de 100 ml previamente secado en estufa a 105 °C y pesado.

Una vez pasada toda la muestra el papel filtro se colocó en estufa a 105°C por 10 minutos y se pesó para poder calcular la cantidad de solidos suspendidos totales (SST). El vaso precipitado fue puesto a la misma temperatura hasta evaporación completa, se pesó para calcular solidos disueltos totales (SDT), el resultado obtenido de estos fue usados en la Ecuación 8 (ECU 8), y la suma de estos es la cantidad de solidos totales.

$$SST/SDT = \frac{(W2 + W1)gr * 1000 mg * 1000 ml}{V ml * 1 g * 1 L} \text{ ECU (8)}$$

Dónde:

W1: Peso del papel filtro/vaso precipitado

W2: Peso del papel filtro/vaso precipitado + residuo

V: Volumen de muestra utilizada

Fuente: *Díaz, (2025)*.

3.9. Preparación y gelatinización del biocoagulante

Para la activación de las propiedades floculantes de los polímeros extraídos, se preparó una solución al 2% (p/v) el mismo día de los ensayos para evitar su degradación biológica. La preparación consistió en disolver 6 g del polímero en 50 ml de agua destilada a temperatura ambiente. Posteriormente, esta suspensión se vertió de manera continua sobre 250 ml de agua destilada en punto de ebullición, manteniendo una agitación térmica constante hasta alcanzar la completa gelatinización y homogeneización de la mezcla, evidenciada por la formación de un gel translúcido (Figura 22).

3.10. Ensayos preliminares de rango de dosis (Pruebas Piloto)

Con el propósito de acotar el rango de estudio para el diseño experimental definitivo, se llevaron a cabo pruebas piloto de tratabilidad en las instalaciones del laboratorio de la Dirección Regional de Salud (DIRESA). Se evaluaron dosis exploratorias de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml del polímero natural.

Asimismo, se realizó un monitoreo continuo de 24 horas post-adición del biocoagulante para observar el comportamiento cinético de los flóculos y la estabilidad del sistema. Durante este seguimiento, se identificó que a partir de las 19 horas de reposo comenzaba la formación de microburbujas en la interfase y el ascenso de partículas sedimentadas, indicios claros de un proceso de fermentación o descomposición biológica del almidón. Ante esta evidencia, se determinó que el tiempo óptimo de sedimentación máxima es de 15 horas, garantizando la mayor remoción de turbidez antes de que se presenten fenómenos de inestabilidad biológica en la muestra.

3.11. Implementación de los tratamientos (Prueba de Jarras)

Las pruebas de tratabilidad se realizaron mediante la metodología de Jar Test, empleando un equipo de 6 paletas con vasos de precipitado de 2 litros (marca Phipps & Bird), sin embargo, las pruebas fueron realizadas usando la mitad de la capacidad de los vasos. Con base en los resultados de las pruebas piloto en DIRESA, se definieron los siguientes tratamientos: T0 (Testigo - 0 ml), T1 (45 ml), T2 (50 ml) y T3 (55 ml), equivalentes a 0, 900, 1000 y 1100 mg/L, respectivamente.

La dinámica de fluidos para el proceso de coagulación-floculación se dividió en tres fases operativas:

- **Mezcla rápida (Coagulación):** Adición del biocoagulante con agitación a 250 rpm durante 2 minutos (Figura 23).
- **Mezcla lenta (Floculación):** Reducción de la velocidad a 20 rpm durante 20 minutos para favorecer el crecimiento del flóculo (Figura 24).
- **Sedimentación:** Reposo absoluto a 0 rpm durante un periodo de 15 horas (Figura 25).

Finalizada la fase de sedimentación, se procedió a la extracción del

sobrenadante para la medición de los parámetros físicos y químicos finales, descartando los primeros 20 ml. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada nivel de dosificación y para cada tipo de biocoagulante evaluado (Figura 26).

Asimismo, se aplicará la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de remoción de turbidez final.

$$REMOCIÓN (\%) = \frac{(TURBIDEZ_{Inicial} - TURBIDEZ_{Final})}{TURBIDEZ_{Inicial}} * 100 \text{ ECU (9)}$$

Fuente: *Prieto & Salvador (2021)*.

3.12. Análisis estadístico de resultados

Los ensayos experimentales se ejecutaron por triplicado para garantizar la validez y reproducibilidad de los datos, registrando los promedios aritméticos. Los resultados de los parámetros físicos y químicos (antes y después de la aplicación de los tratamientos) fueron tabulados y sometidos a procesamiento estadístico de Análisis de Varianza (ANOVA) de un solo factor y seguidamente una prueba de Tukey para determinar el nivel de significancia en las eficiencias de remoción.

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el desarrollo de esta investigación (último trimestre del 2025 y primer trimestre del 2026), se lograron obtener los siguientes resultados en cuanto:

4.1. Rendimiento del polímero (Banano inmaduro y Cáscara de papa)

El rendimiento obtenido para el almidón de banano verde fue del 11.00%, significativamente superior al de la cáscara de papa, que alcanzó un 4.94%. Esta diferencia sugiere que el banano inmaduro es una fuente más eficiente de materia prima para la extracción de polímeros naturales. En el contexto de los coagulantes, un mayor rendimiento facilita la escalabilidad del proceso de producción para el tratamiento de aguas.

Tabla 1

Rendimiento de polímero por tipo.

Tipo	Metodología (autor)	Cantidad usada (g)	Cantidad obtenida de polímero (g)	Rendimiento (%)
Banano en estado inmaduro	Vía seca (Méndez et al, 2022)	1000	110	11.00
Cascara de papa	Vía húmeda (Bravo and chavarría, 2020)	1000	49.38	4.94

Este comportamiento es respaldado por Hernández (2004) quien señala que obtuvo un rendimiento de 11.17%. Sin embargo, el valor obtenido para la cáscara de papa es competitivo si se compara con estudios de Gebrechristos y Chen (2018), quienes obtuvieron rendimientos variables entre 8% y 12% dependiendo del método de aislamiento, validando que el 4.94% es un valor aceptable para un proceso sin modificación enzimática.

4.2. Caracterización fisicoquímica de los polímeros y la solución

4.2.1. Polímero de cascara de papa

Este polímero presenta un alto contenido de cenizas (24.04%), lo

que indica una alta presencia de minerales residuales de la cáscara. El pH se mantiene neutro (7.19), lo cual es ideal para no alterar drásticamente el equilibrio químico del agua a tratar. Su capacidad de adsorción (5.04) y poder de hinchamiento (5.08) sugieren una estructura capaz de interactuar con partículas suspendidas.

Tabla 2

Caracterización del polímero de cascara de papa.

Parámetro	$\bar{X}$	D.E
Humedad	14.667	0.67
Cenizas	24.044	3.18
pH	7.193	0.08
Solubilidad	0.728	0.06
Poder de Hinchamiento	5.080	0.16
Capacidad de Adsorción	5.043	0.16

$\bar{X}$ = Promedio obtenido de 3 repeticiones D.E = Desviación estandar

El alto contenido de cenizas en el polímero de cáscara de papa coincide con lo reportado por Muniz et al. (2023) sobre la caracterización de almidones residuales, donde la presencia de minerales es significativamente mayor en las cáscaras que en la pulpa. Respecto a su aplicación, Gebrechistos y Chen (2018) demostraron que los bio-floculantes a base de cáscara de papa funcionan eficazmente mediante el mecanismo de 'puenteo' gracias a su estructura polimérica, lo cual se correlaciona con la capacidad de adsorción (5.04 g/g) observada en este estudio, permitiendo la aglomeración de partículas coloidales.

4.2.2. Polímero de banano verde

El producto de banano verde destaca por un poder de hinchamiento (6.14) y una capacidad de adsorción (6.05) superiores a los de la papa. El contenido de cenizas es mucho menor (2.29%), indicando un polímero más puro. Su pH ligeramente ácido (6.02) es característico de frutos inmaduros ricos en ácidos orgánicos.

Tabla 3*Caracterización del polímero de banano.*

Parámetro	$\bar{X}$	D.E
Humedad	8.26	1.51
Cenizas	2.294	0.221
pH	6.020	0.265
Solubilidad	1.428	0.106
Poder de Hinchamiento	6.144	0.081
Capacidad de Adsorción	6.056	0.086

$\bar{X}$ = Promedio obtenido de 3 repeticiones D.E = Desviación estandar

El producto de banano verde presentó una capacidad de adsorción superior (6.05 g/g) y un mayor poder de hinchamiento (6.14 g/g). Estos resultados se alinean con la investigación de Kakoi et al. (2016), quienes utilizaron almidón de banano como coagulante primario, encontrando que su alta amilosa y estructura granular favorecen la adsorción de partículas turbias. Asimismo, el pH ligeramente ácido (6.02) es consistente con lo hallado por Inyinbor et al. (2019) en coagulantes derivados de biomasa de *Musa paradisiaca*. En cuanto al valor de humedad 8.26% es respaldado por Hidalgo, J., et al. (2020), quienes obtuvo un valor de 8.15%.

4.3. Puntos de muestreos

El punto de muestreo considerado para el agua superficial, fue georreferenciado, con las siguientes coordenadas:

Tabla 4*Georreferenciación del punto de muestreo.*

Muestra	UTM WGS 84 17 S	
	Este	Norte
Agua Superficial	560298	9604860

4.4. Caracterización fisicoquímica del agua del Río Tumbes

En la tabla 5, se muestran los resultados de los análisis de la muestra recolectada.

Tabla 5*Caracterización fisicoquímica de la muestra.*

Parámetro	Unidad	Resultado
Turbidez	UNT	875.60
Salinidad	‰	0.46
Potencial de iones hidrógeno (pH)	Unidades de pH	7.64
Sólidos totales disueltos	mgSTD/L	842.50
Sólidos totales en suspensión	mgSTS/L	558.90
Sólidos totales	mgST/L	1401.38
Conductividad eléctrica	μS/cm	951.00

De los parámetros resultantes en comparación con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, con Decreto Supremo N° 004 – 2017 – MINAM, de acuerdo a la categoría 1 (Población y Recreacional), subcategoría A (Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable), columna A2 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional), los sólidos totales (1401.38) y turbidez (951), son aquellos que se encuentran muy por encima de la norma vigente menciona sólidos totales (1000) y turbidez (100). Asimismo, de acuerdo al Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA, el LMP para turbidez debería ser de 5 UNT.

Al comparar los valores antes mencionados con la Dirección Regional de Salud Tumbes (DIRESA). (2025). En donde el parámetro de Turbidez fue de 452 UNT en la entrada de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) con Cod. Muestra (M-766), evaluado con fecha (5/12/24) podemos apreciar el grado de turbidez que se encuentra en aguas naturales superficial.

4.5. Resultados de la turbidez final

En la tabla 6 y 7, se muestran los resultados de turbidez en UNT, que se obtuvieron después de 15 horas de la aplicación de las dosis.

Tabla 6

Resultado de turbidez final aplicando polímero de Banano.

Repetición	Tratamiento			
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
R ₁	115.00	59.00	30.70	40.80
R ₂	116.00	59.80	30.60	41.10
R ₃	113.00	59.10	30.20	40.90
Promedio	114.67	59.30	30.50	40.93
D.E	1.528	0.436	0.265	0.153

D. E = Desviación estandar

Tabla 7

Resultado de turbidez final aplicando polímero de Cascara de papa.

Repetición	Tratamiento			
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
R ₁	90.00	46.40	44.30	47.70
R ₂	93.30	46.80	44.60	47.40
R ₃	92.70	46.10	44.80	47.00
Promedio	92.00	46.43	44.57	47.37
D.E	1.758	0.351	0.252	0.351

D. E = Desviación estandar

En la figura 2, al aplicar los dos tipos de polímeros siendo el banano (*Musa AAA*) y cascara de papa (*Solanum tuberosum*), se observa el bajo grado de turbidez de agua extraída del río Tumbes, utilizando distintas dosificaciones (900, 1000 y 1100) mg/L de cada polímero. Obteniendo una reducción de turbidez con el polímero de banano y los valores más bajos se obtuvieron aplicando una dosis de 1000 mg/L para ambos tipos de polímero (30.50 UNT y 44.57 UNT) Banano y cascara de papa respectivamente.

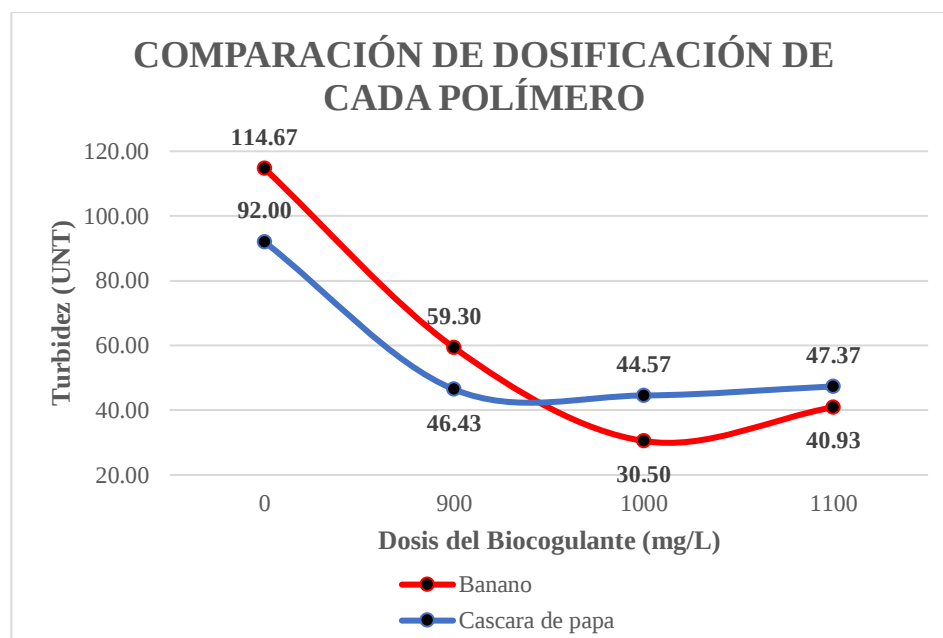
Al comparar estos valores con el D.S N° 031-2010-SA, donde el LMP para turbidez es de 5 UNT. Estos no cumplen con la normativa.

En cuanto a otros autores como Ticona (2025), quien aplicó a una muestra de agua del Río Caplina en Tacna de 272.20 UNT iniciales, almidón de plátano llegando a obtener entre 5.39 y 6.57 UNT finales, o como Julio, et al. (219), quienes trataron una muestra de agua del río Magdalena, Colombia, de 210 UNT. Usando médula de banano, logrando obtener valores de 68.10 – 71.00 UNT. Según Varkey. (2020), logró obtener valores finales de 3 – 5 UNT usando semillas de moringa para tratar agua de río de

turbidez iniciales de 35 – 200 UNT.

Los resultados presentados por esta investigación respaldan un mejor desempeño de los productos aplicados en comparación con la medula de banana, almidón de plátano y semillas de moringa.

Figura 27



4.6. Porcentaje de remoción de turbidez

Los porcentajes de remoción de turbidez fueron calculados con la ecuación 9, descrita en el índice 3.11. Basándose como turbidez inicial reportada por la caracterización fisicoquímica (875.6 UNT), como turbidez final los valores obtenidos en la tabla 6 y 7 por tratamiento y repeticiones.

En la tabla 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos de remoción de turbidez luego de aplicar la fórmula para calcular los valores en porcentaje.

Tabla 8

Resultado de remoción de turbidez aplicando polímero de Banano.

Repetición	Tratamiento			
	T0	T1	T2	T3
R1	86.87	93.26	96.49	95.34
R2	86.75	93.17	96.51	95.31
R3	87.09	93.25	96.55	95.33
Promedio	86.90	93.23	96.52	95.33
D.E	0.174	0.050	0.030	0.017

D.E = Desviación estandar

Tabla 9

Resultado de remoción de turbidez aplicando polímero de Cascara de papa.

Repetición	Tratamiento			
	T0	T1	T2	T3
R1	89.72	94.70	94.94	94.55
R2	89.34	94.65	94.91	94.59
R3	89.41	94.73	94.88	94.63
Promedio	89.49	94.70	94.91	94.59
D.E	0.201	0.040	0.029	0.040

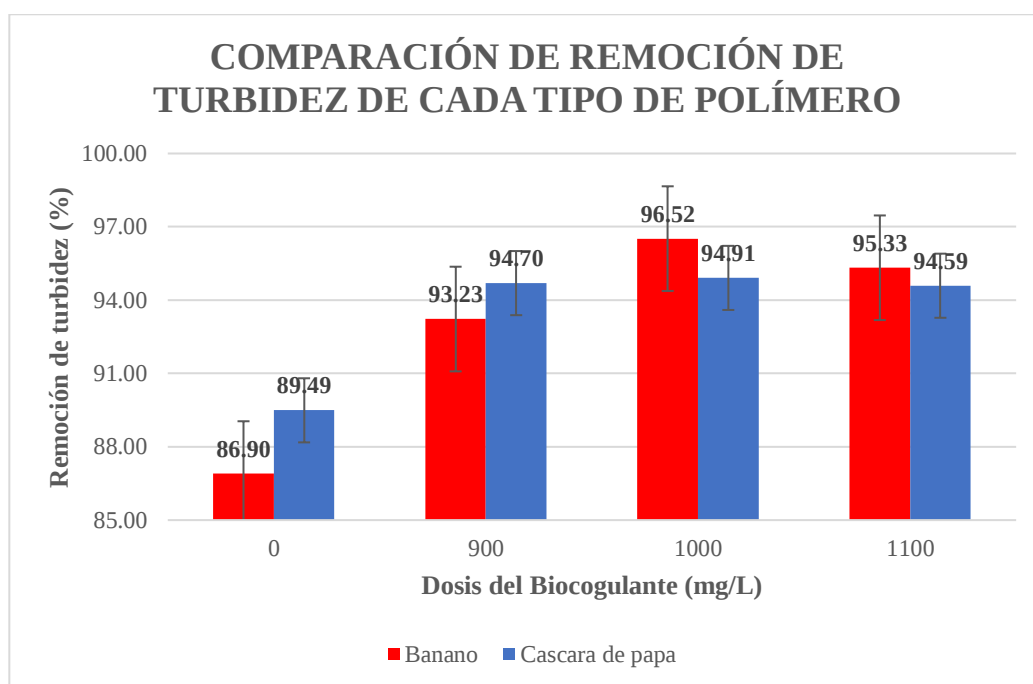
D.E = Desviación estandar

En la figura 3, se muestra una comparación en cuanto al porcentaje de remoción de turbidez, al utilizar ambos polímeros (banano y cascara de papa) aplicando el tratamiento 2, se obtuvo la mejor efectividad con 96.52% y 94.91% respectivamente. Destacando el polímero de banano, el cual resultó obtener un porcentaje de remoción más alto, que en comparación con el polímero extraído de cascara de papa.

Según Carrasquero et al., (2021), en su estudio realizado en Venezuela, donde se utilizó un coagulante natural extraído de cascara de papa obteniendo un porcentaje de remoción del 99.6 %, de acuerdo a la muestra de agua fue un agua turbia sintética (ATS) de 200 UNT, utilizando una dosis al 1% de 50 mg/L. Méndez et al., (2022), quienes analizaron al banano como coagulante – floculante para darle tratamiento a las aguas crudas del río Guatapurí, en Colombia, utilizando agua turbia sintética. Se menciona que lograron remover 99.3% de una turbidez inicial de 576 UNT aplicando una dosis de 5 ppm, partiendo de una solución madre al 10%.

Lemma & Wamolo. (2024), obtuvieron un porcentaje de remoción de turbidez de 81.32 y 83.64% aplicando polvo de cascara de plátano y de semilla de Moringa, respectivamente. Otro resultado ante la aplicación de Cactus Opuntia ficus – indica por fue Choudhary & Neogi. (2019) quienes obtuvieron un porcentaje de remoción de 88.00%. Ante ello el porcentaje de remoción de turbidez presentado en este estudio supera a los productos antes mencionados.

Figura 28



4.7. Caracterización fisicoquímica post – tratamiento

En la tabla 10 y 11, encontramos los resultados acerca de los parámetros fisicoquímicos, después de los tratamientos aplicados.

Tabla 10

Caracterización fisicoquímica post – tratamiento, banano.

Tratamiento	Rep.	Dosis de polímero de Banano (ml)	pH	Cond. (U/cm)	TDS (ppm)	Sal.	SD (mg/L)	SS (mg/L)	ST (mg/L)
T0	R1	-	7.65	934	467	0.46	854.13	86.13	940.25
	R2	-	7.75	928	464	0.45	893.75	85.38	979.12
	R3	-	7.75	928	464	0.45	872.50	83.25	955.75
T1	R1	45	7.07	893	447	0.44	615.63	48.75	664.38
	R2	45	7.04	890	445	0.44	540.00	51.62	591.62
	R3	45	7.05	892	446	0.44	566.25	60.25	626.50
T2	R1	50	7.15	882	442	0.43	588.12	11.88	600.00
	R2	50	7.08	890	445	0.43	633.75	9.25	643.00
	R3	50	7.04	875	437	0.43	588.87	3.75	592.62
T3	R1	55	7.41	880	440	0.43	743.37	11.13	754.50
	R2	55	7.38	871	436	0.42	786.37	41.87	828.25
	R3	55	7.37	877	439	0.43	688.12	25.63	713.75

Tabla 11*Caracterización fisicoquímica post – tratamiento, Cascara de papa.*

Tratamiento	Rep.	Dosis de polímero de C. Papa (ml)	pH	Cond. (U/cm)	TDS (ppm)	Sal.	SD (mg/L)	SS (mg/L)	ST (mg/L)
T0	R1	-	7.82	822	411	0.40	702.13	135.75	837.88
	R2	-	7.70	814	407	0.39	697.13	140.50	837.63
	R3	-	8.16	815	406	0.41	710.88	157.63	868.50
T1	R1	45	7.56	785	392	0.38	567.25	77.63	644.87
	R2	45	7.42	782	391	0.38	574.00	84.50	658.50
	R3	45	7.49	777	389	0.38	565.62	70.25	635.87
T2	R1	50	7.31	779	390	0.38	546.37	18.37	564.75
	R2	50	7.30	777	388	0.38	532.88	22.25	555.13
	R3	50	7.28	788	394	0.38	535.75	24.63	560.37
T3	R1	55	7.75	759	379	0.38	627.38	62.87	690.25
	R2	55	7.66	767	383	0.38	620.71	88.38	709.09
	R3	55	7.69	766	382	0.38	610.37	82.62	693.00

Los resultados obtenidos de los parámetros de pH, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales, para ambos tipos de polímeros, estos se encuentran relacionados de manera directa al grado de remoción de turbidez, de acuerdo al T2, los valores son menores a comparación del T1 y T3.

Para el caso de la conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (TDS) encontrado con multiparámetro, se observó una reducción de las unidades de parámetros ante la aplicación de los tratamientos T1, T2 y T3, no existe un patrón como tal.

El valor de salinidad ante la aplicación de los tratamientos reduce el valor ante comparación de T₀, siendo su valor 0.38 constante para todos los tratamientos.

4.8. Análisis de varianza

En la tabla 12 y 13, se muestra el resultado del análisis de varianza (ANOVA), efectuado de un factor, a un nivel de confianza del 95%, siguiendo el modelo de Boqué, R., & Maroto, A. (2004).

Tabla 12*Análisis de varianza (ANOVA), para Banano.*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>PC</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1275.623	2	637.814	6753.329	8.7545E-11	5.14325285
Dentro de los grupos	0.567	6	0.094			
Total	1276.196	8				

Tabla 13*Análisis de varianza (ANOVA), para Cascara de papa.*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>PC</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	12.196	2	6.098	59.011	0.00011323	5.14325285
Dentro de los grupos	0.62	6	0.103			
Total	12.816	8				

Dónde:**SC:** Suma de cuadrados**GL:** Grados de libertad**PC:** Promedio de cuadrados**4.9. Prueba de Tukey**

Debido que la prueba anterior (ANOVA), permitió la posibilidad de realizar una prueba de Tukey, en la tabla 14 y 15, se presentan los resultados de la prueba de Tukey a un nivel de confianza del 95%, siguiendo el modelo de Wong. (2010).

Tabla 14*Prueba de Tukey para banano*

Tratamiento	(Dosis mg/L)	Media	Grupo (Tukey)
T ₁	900	59.30	a
T ₂	1000	30.50	b
T ₃	1100	40.93	c

Tabla 15*Prueba de Tukey para cascara de papa*

Tratamiento	(Dosis mg/L)	Media	Grupo (Tukey)
T ₁	900	46.43	a
T ₂	1000	44.57	b
T ₃	1100	47.37	c

V. CONCLUSIONES

1. La aplicación de polímeros naturales obtenidos a partir de residuos locales (pulpa de banano inmaduro *Musa AAA* y cáscara de papa *Solanum tuberosum*) es técnicamente viable y altamente eficiente para el proceso de coagulación-floculación en aguas superficiales. Los ensayos demostraron que ambos biopolímeros tienen la capacidad de clarificar matrices hídricas con cargas coloidales críticas, presentándose como alternativas ecológicas, sostenibles y de bajo impacto ambiental.
2. La extracción de polímero por vía seca a partir de banano inmaduro y por vía húmeda de cáscara de papa fue de 11.00% y 4.94% respectivamente. La caracterización funcional determinó que el biopolímero de banano posee un perfil sobresaliente como floculante debido a su elevado poder de hinchamiento y capacidad de adsorción, lo que facilita una mayor captura de partículas. Por su parte, el biopolímero de cáscara de papa destacó por un mecanismo de coagulación por neutralización debido a su contenido mineral y ofrece la ventaja de la menor solubilidad.
3. La caracterización fisicoquímica inicial estableció que el agua superficial del Río Tumbes presenta parámetros de pH, conductividad eléctrica y salinidad estables y conformes a la normativa nacional. Sin embargo, se identificó que la turbidez (875.60 UNT) y los sólidos totales superan críticamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA - D.S. N° 004-2017-MINAM) y los Límites Máximos Permisibles (LMP - D.S. N° 031-2010-SA), lo cual validó técnicamente la necesidad imperativa de implementar un tratamiento primario de clarificación.
4. La evaluación de los tratamientos determinó que la dosificación más efectiva para ambos biopolímeros es de 1000 mg/L (Tratamiento T2). El polímero de banano demostró una capacidad superior al lograr una remoción máxima de turbidez del 96.52% (reduciendo a 30.50 UNT finales a las 15 horas),

mientras que el polímero de cáscara de papa alcanzó una eficiencia del 94.80% (44.57 UNT finales), los tratamientos optimizados lograron reducir drásticamente la carga coloidal y estabilizaron los demás parámetros fisicoquímicos (como la neutralización del pH y la reducción de sólidos disueltos) dentro de los rangos de los ECA vigentes, manteniendo ambos tratamientos una alta estabilidad y reproducibilidad experimental (desviaciones estándar < 0.35 UNT).

VI.RECOMENDACIONES

- Realizar experimentos con diferentes valores de turbidez con la finalidad de encontrar el rango de efectividad de los polímeros.
- Combinar los biocogulantes con dosis mínimas de coagulantes químicos, para descubrir el potencial que tienen estos polímeros como coadyuvantes
- Investigar el efecto ante una variación de diferentes tiempos y niveles de rpm, con el fin de determinar si una agitación más o menos intensa ayuda a una mejor dispersión de los biocogulantes.
- Mantener un control estricto de la temperatura de gelatinización (activación) del polímero, para evitar desnaturalización de este.
- Caracterizar química y biológica a los lodos generados por los biocogulantes y darles un valor agregado a estos.
- Considerar la modificación química de los polímeros antes de ser utilizados, con el fin de aumentar la densidad de carga positiva del producto.
- Ampliar el estudio otros residuos/productos ricos en almidón que se encuentren dentro o alrededor de la ciudad de Tumbes.
- Analizar la vida útil de los polímeros.
- Tener en cuenta el periodo máximo de efectividad de los polímeros una vez aplicado, en caso se opte por otras alternativas de residuos/productos naturales sin previa modificación.

VII. Referencias bibliográficas

- Abdulkareem, M. A., Omotunde, O. T., Momoh-Salami, T. M., Bamikole, O. J., & Olajide, T. H. (2023). Bacteriological and Physicochemical Analysis of Surface Water; Implications on Public Health. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 51(4), 42879-42884.
- Al Alwan, B. A., et al. (2024). Eco-friendly solutions: A comprehensive review of natural coagulants for sustainable water treatment. *Water Science and Technology*, 89(4), 885–906.
- Ang, W. L., & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121267.
- Banco Mundial (2021). El agua en Chile: elemento de desarrollo y resiliencia.
- Bravo, A. F. V., & Chavarría, M. A. C. (2020). Extracción y caracterización del almidón de papa (*solanum tuberosum*) variedad leona blanca. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 10(2), 26-34.
- Boqué, R., & Maroto, A. (2004). El análisis de la varianza (ANOVA) 1. Comparación de múltiples poblaciones. *Téc. Lab*, 294, 680-683.
- Cáceres, V. L. (2024). La regulación jurídica de la calidad del agua en la provincia de Buenos Aires, Argentina: tensiones y variedad de criterios.
- Carrasquero, S. J., Flores, S. M., Perche, E. D. F., Ferrer, P. M. P., Leal, J. C. M., & Montiel, A. R. D. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90-99.
- Cevallos, N., Burgos, G., & Córdova, A. (2022). Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 16 (2), 54-68.
- Chchavecevallosaves-Chaves, E. (2025). Aplicación del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) en la evaluación de calidad del agua en el río Ocloro,

San José, Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha, ág-59.

Chavez Melgarejo, J. E., Cunaique Huancas, I. J., & Pinco Mendo, J. E. (2019). Proceso de obtención y evaluación de la eficiencia del almidón del plátano de seda (*Musa acuminata* AAA) para la coagulación–floculación de las aguas superficiales del Río Puchca–Ancash a nivel de laboratorio.

Choudhary, M., Ray, M. B., & Neogi, S. (2019). Evaluation of the potential application of cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a bio-coagulant for pre-treatment of oil sands process-affected water. *Separation and Purification Technology*, 209, 714-724.

Cutipa-Díaz, Y. M., et al. (2024). Exposure to Aluminum in Drinking Water and the Risk of Developing Alzheimer's Disease: A Bibliometric Analysis and Systematic Evaluation. *Water*, 16(17), 2386. MDPI.

Dávila, F. V. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de investigación Universitaria*, 3(2).

D.S. N° 004-2017-MINAM

D.S. N° 031-2010-SA

Diaz Gonzalez, G. M (2025). Verificación del método gravimétrico standard methods 2540 c edition 24, asociado a la determinación de sólidos disueltos totales en muestras de agua natural y residual bajo condiciones del laboratorio de aguas de la Universidad de Córdoba.

Dirección Regional de Salud Tumbes. (2025). Informe N° 183-2025/GOB. REG.TUMBES- GRDS – DIRESA–DSBHAZ: Interpretación de resultados de análisis de muestras de agua para consumo humano, aguas superficiales y subterráneas de doce distritos de la región Tumbes, recolectadas en octubre, noviembre y diciembre del 2024.

Donoso, G., & Sanin, M. E. (2020). Análisis crítico de las políticas aplicadas en Latinoamérica en el sector agua y saneamiento. Análisis crítico de las políticas aplicadas en Latinoamérica en el sector agua y saneamiento.

García, L. E. G. (2016). Estudio de la concentración del plomo en el agua del Río Tumbes Periodo 2012–2015 como causa de la minería aurífera y su relación con la salud de los pobladores del Caserío de Rica Playa–Tumbes-2016 (Doctoral disertación, Universidad Nacional de Tumbes).

Gaspar Cahuana, F. (2021). Reducción de la turbidez de las aguas del río Shullcas,

utilizando penca de Tuna y Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación para el tratamiento de agua potable.

- Gebrechristos, H. Y., & Chen, W. (2018). Utilization of potato peel as a eco-friendly flocculant for turbidity removal of muddy water. *Applied Water Science*, 8, 1-9 y 8,83.
- Hernánadez J. 2004. Obtención de Jarabe Fructosado a Partir de Almidón de Plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). [Tesis en línea]. [Tesis en Maestría de Ciencias]. Yautepec. Morelos: Maestría en Desarrollo de Productos Bióticos. Instituto Politécnico Nacional: 89 pp.
- Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domesticas. @ limentech, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(2).
- Hidalgo, J., Macas, J., Pazmiño, K., & Chuiza, M. (2020). Obtención de almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.). In En: Book of Proccedings VII International congress application, transport and fluid storage in industrial process, hydrocarbons and environment.(VII ICATS 2020), Ecuador.
- Hussain, S., et al. (2020). Potato peel waste: A potential source for starch production and its industrial applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Lemma, M., Kalsido, AW, & Wamolo Wotee, M. (2024). Eliminación de la turbidez y los sólidos disueltos totales del agua de río mediante coagulantes naturales derivados de la cáscara de plátano y la semilla de *Moringa stenopetala*. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society* , 73 (7), 1467-1493.
- Inga, M. I. N., Garcia, A. C. V., Niquen, Y. A. H., & Inga, A. G. G. N. (2021). Impactos ambientales generados por vertimiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Tumbes-Perú. *RECIAMUC*, 5(3), 222-232.
- Inyinbor, A. A., et al. (2019). Water treatment using *Musa paradisiaca* (Plantain) peel as a primary coagulant. *Water Resources and Industry*.
- Jorge, M. C. B., Dornelas Simões, K. C., do Amaral, A. G., Roveri, M. C. B., & Schneider, R. M. (2024). Raw sewage treatment by coagulation/flocculation and ozonization. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 1-13.
- Julio, A. S., Silva, A. N., Mercado, I., Vergara, A. F., & Eraso, M. J. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 131-138.
- Kakoi, B., et al. (2016). Banana pith as a natural coagulant for pollen laden water

- treatment. *Ecological Engineering*, 95, 218-223.
- Krupińska, I. (2020). Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health. *Molecules*, 25(3), 641.
- Macías Parrales, M. M., et al. (2025). Aluminum contamination in the Carrizal River sub-basin and its impact on the water purification process and public health. *Journal of Ecological Engineering*, 26, 183-189.
- Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., & Velezmoro, C. (2019). Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) var. 'única'. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 338-351.
- Méndez-Cantillo, N., Rodríguez-Díaz, Y. J., & Rodríguez-Jiménez, D. M. (2022). Análisis del plátano y banano (*Musa paradisiaca* L.) como coagulante para el tratamiento de afluentes. *Información tecnológica*, 33(6), 125-134.
- Mohammad Ali, N. F. H., Megat Hanafiah, M. A. K., Saleh, S. H., Mohd Ali, M. T., & Ibrahim, S. (2024). A review of biomass-based natural coagulants for water pollution remediation: impact of properties and coagulation operational parameters. *AUIQ Complementary Biological System*, 1(2), 31-45.
- Nimesha, S., Hewawasam, C., Jayasanka, D. J., Murakami, Y., Araki, N., & Maharjan, N. (2022). Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 8(1), 101-116.
- Olivero Verbel, R. E., Mercado Martínez, I. D., & Montes Gazabón, L. E. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción+ limpia*, 8(1), 19-27.
- OMS/UNICEF Joint Water Supply, & Sanitation Monitoring Programme. (2015). Progress on sanitation and drinking water: 2015 update and MDG assessment. World Health Organization.
- Romero, J. A. *Calidad del Agua. Colombia*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Tercera Edición. 2005
- PATÍÑO, E. Y. (2024). Informe Plan De Práctica.
- Pérez Carrillo, S. (2017). *Calidad del agua y salud pública en Colombia: un diagnóstico de las atenciones médicas atribuibles a la mala calidad del agua*.
- Prieto Abad, L., & Salvador Sampertegui, W. (2021). Eficiencia de Remoción de Turbidez del Agua del Canal El Progreso Mediante Coagulación-Floculación

- del Almidón de Plátano y Yuca, Jaén, 2019.
- Puño, N. (2018). Plan de manejo ambiental del recurso hídrico de la cuenca del río Puyango Tumbes. *Manglar*, 13(2), 53-61.
- Saleem, M., & Bachmann, R. T. (2019). A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 72, 281–297.
- Taípe Pérez, A. M., & Paucar Romero, M. (2024). Análisis de la eficiencia de remoción de turbidez y materia orgánica con el sulfato de aluminio y la opuntia ficus-indica de las aguas residuales del camal Santo Domingo de Guzmán del distrito de Sicaya, Huancayo-2023.
- Telenchano, P., & Idalicia, F. (2018). Obtención del polisacárido (almidón) de la cáscara de *Musa paradisiaca* L., como coagulante natural para el tratamiento del río monjas.
- Ticona, L. R. G. A. (2025). Eficiencia del almidón de plátano en la remoción de turbidez del agua del río Caplina, Tacna. *Ciencia y Educación*, 6(7.1), 139-146.
- Topanta Taípe, D. S. (2020). Evaluación de la eficiencia de la *Moringa oleífera* como floculante para el tratamiento de aguas residuales.
- Varkey, A. J. (2020). Purification of river water using *Moringa Oleífera* seed and copper for point-of-use household application. *Scientific African*, 8, e00364.
- Wong-González, E. (2010). ¿ Después de un análisis de variancia qué? Ejemplos en ciencia de alimentos. *Agronomía mesoamericana*, 21(2), 349-356.

VIII. Anexos

Anexo 1.

Panel fotográfico



Figura 2 – Bananos a procesar



Figura 3 – Pelado y troceado de la materia prima



Figura 4 – Secado



Figura 5 – Triturado



Figura 6 – Limpieza y secado



Figura 7 – Molienda del producto final



Figura 8 – Selección y lavado de materia prima



Figura 9 – Cortado y colocación en solución



Figura 10 – Licuado de residuos



Figura 11 – Tamizado y decantación del residuo



Figura 12 – Residuo en estufa



Figura 13 – Producto final



Figura 14 – Porcentaje de Humedad



Figura 15 – Porcentaje de cenizas

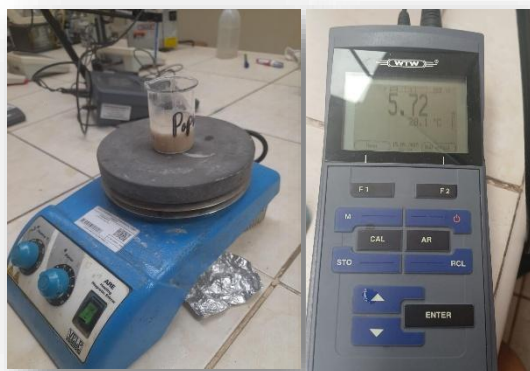


Figura 16 – Valor de pH



Figura 17 – Poder de Hinchamiento y solubilidad



Figura 18 – Capacidad de adsorción de agua



Figura 19 – Agua superficial



Figura 20 – Toma de muestra



Figura 21 – Parámetros de campo



Figura 22 – Preparación del biocoagulante



Figura 23 – Adición del biocoagulante



Figura 24 – Mezcla lenta

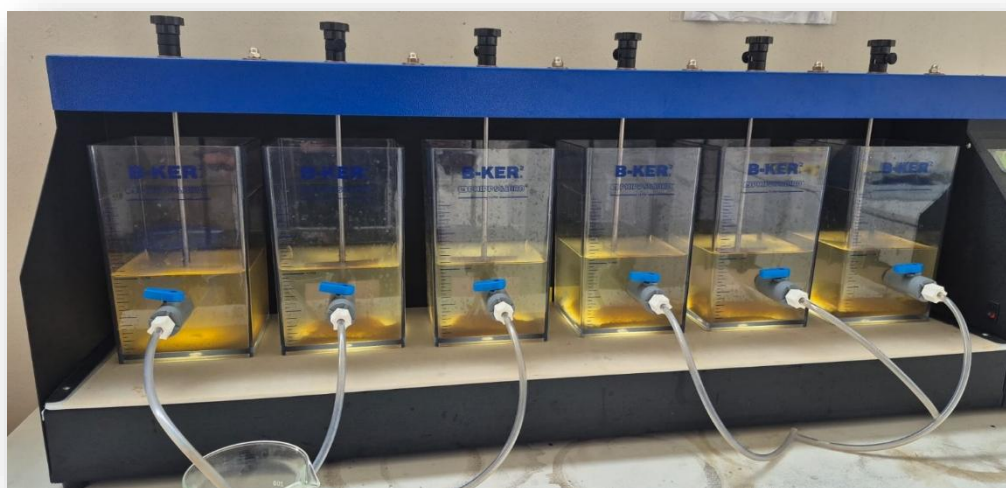


Figura 25 – Post - sedimentación



Figura 26 – Medición de turbidez final

Anexo 2.

Mapa de ubicación.



Anexo 3.

Tabla de Tukey.

TABLA 8: Cuantiles de la distribución de Tukey $q(n, m)$

$\alpha = 0.05$	n													
m	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	6.08	8.33	9.80	10.88	11.73	12.43	13.03	13.54	13.99	14.40	14.76	15.09	15.39	15.67
3	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.15	10.35	10.52
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.60	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.66
5	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17	7.32	7.47	7.60	7.72
6	3.46	4.34	4.90	5.30	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30	6.43	6.55	6.66	6.76
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48
9	3.20	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.59	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.39	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65
16	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59
17	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46
20	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43
21	2.94	3.56	3.94	4.21	4.42	4.60	4.74	4.87	4.98	5.08	5.17	5.25	5.33	5.40
22	2.93	3.55	3.93	4.20	4.41	4.58	4.72	4.85	4.96	5.06	5.14	5.23	5.30	5.37
23	2.93	3.54	3.91	4.18	4.39	4.56	4.70	4.83	4.94	5.03	5.12	5.20	5.27	5.34
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32
25	2.91	3.52	3.89	4.15	4.36	4.53	4.67	4.79	4.90	4.99	5.08	5.16	5.23	5.30
26	2.91	3.51	3.88	4.14	4.35	4.51	4.65	4.77	4.88	4.98	5.06	5.14	5.21	5.28
27	2.90	3.51	3.87	4.13	4.33	4.50	4.64	4.76	4.86	4.96	5.04	5.12	5.19	5.26
28	2.90	3.50	3.86	4.12	4.32	4.49	4.62	4.74	4.85	4.94	5.03	5.11	5.18	5.24
29	2.89	3.49	3.85	4.11	4.31	4.47	4.61	4.73	4.84	4.93	5.01	5.09	5.16	5.23
30	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21
31	2.88	3.48	3.84	4.09	4.29	4.45	4.59	4.71	4.81	4.90	4.99	5.06	5.13	5.20
32	2.88	3.48	3.83	4.09	4.28	4.45	4.58	4.70	4.80	4.89	4.98	5.05	5.12	5.18
33	2.88	3.47	3.83	4.08	4.28	4.44	4.57	4.69	4.79	4.88	4.97	5.04	5.11	5.17
34	2.87	3.47	3.82	4.07	4.27	4.43	4.56	4.68	4.78	4.87	4.96	5.03	5.10	5.16
35	2.87	3.46	3.81	4.07	4.26	4.42	4.56	4.67	4.77	4.86	4.95	5.02	5.09	5.15
36	2.87	3.46	3.81	4.06	4.25	4.41	4.55	4.66	4.76	4.85	4.94	5.01	5.08	5.14
37	2.87	3.45	3.80	4.05	4.25	4.41	4.54	4.66	4.76	4.85	4.93	5.00	5.07	5.13
38	2.86	3.45	3.80	4.05	4.24	4.40	4.53	4.65	4.75	4.84	4.92	4.99	5.06	5.12
39	2.86	3.45	3.79	4.04	4.24	4.39	4.53	4.64	4.74	4.83	4.91	4.98	5.05	5.11
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.73	4.82	4.90	4.98	5.04	5.11
41	2.86	3.44	3.79	4.03	4.23	4.38	4.51	4.63	4.73	4.82	4.90	4.97	5.04	5.10
42	2.85	3.44	3.78	4.03	4.22	4.38	4.51	4.62	4.72	4.81	4.89	4.96	5.03	5.09
43	2.85	3.43	3.78	4.03	4.22	4.37	4.50	4.62	4.72	4.80	4.88	4.96	5.02	5.08
44	2.85	3.43	3.78	4.02	4.21	4.37	4.50	4.61	4.71	4.80	4.88	4.95	5.02	5.08
45	2.85	3.43	3.77	4.02	4.21	4.36	4.49	4.61	4.70	4.79	4.87	4.94	5.01	5.07
46	2.85	3.42	3.77	4.01	4.20	4.36	4.49	4.60	4.70	4.79	4.87	4.94	5.00	5.06
47	2.85	3.42	3.77	4.01	4.20	4.36	4.48	4.60	4.69	4.78	4.86	4.93	5.00	5.06
48	2.84	3.42	3.76	4.01	4.20	4.35	4.48	4.59	4.69	4.78	4.86	4.93	4.99	5.05
49	2.84	3.42	3.76	4.00	4.19	4.35	4.48	4.59	4.69	4.77	4.85	4.92	4.99	5.05
50	2.84	3.42	3.76	4.00	4.19	4.34	4.47	4.58	4.68	4.77	4.85	4.92	4.98	5.04