



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS
EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS
SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES
DEL RÍO COATA 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. CLIVER IVAN MAMANI SUMARI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

**APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS
EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS
SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES
DEL RÍO COATA 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. CLIVER IVAN MAMANI SUMARI


PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE


: _____
Dr. ARNALDO YANA TORRES

PRIMER MIEMBRO


: _____
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

SEGUNDO MIEMBRO


: _____
M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS


: _____
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : SANEAMIENTO AMBIENTAL – P22



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1086-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 16 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU-8225 presentado por el (la) Bachiller: **CLIVER IVAN MAMANI SUMARI** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **CLIVER IVAN MAMANI SUMARI**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - **APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **1er Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- * **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **CLIVER IVAN MAMANI SUMARI**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : viernes 26 de septiembre del 2025
- * **HORA** : 14:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

ARTÍCULO CUARTO. - **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo



RESOLUCIÓN DECANAL N° 761-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 24 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 5793 por el señor (a): **CLIVER IVAN MAMANI SUMARI** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 600 - 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 032-2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **CLIVER IVAN MAMANI SUMARI**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Títulado: **APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **MSc. Jesus Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 032-2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **CLIVER IVAN MAMANI SUMARI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Títulado: **APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Oscar V. Mamante Calla
(Escario) (e)
CIP. 33730

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Oscar V. Mamante Calla
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo
interesado (a)



“NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ”

RESOLUCIÓN DECANAL N° 393-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 03 de junio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 3186, presentado por el señor (a) **CLIVER IVAN MAMANI SUMARI** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 305 -2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 018-2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **CLIVER IVAN MAMANI SUMARI** ha presentado su propuesta de investigación titulada: **APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **MSc. Jesus Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 018-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **CLIVER IVAN MAMANI SUMARI**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el Tema Titulada: **APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIANONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. FREDY WILLY MAMANI APACA
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo 2025
Interesado (a)



9% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de fuente excluida

Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 8% 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.



Metadatos complementarios

Título de la Tesis	
APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SOLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RIO COATA 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	CLIVER IVAN MAMANI SUMARI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47837264
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-4796-7047
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8065-6533
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821

Datos de investigación	
Línea de investigación	Saneamiento Ambiental - P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p> País: Perú Departamento: Puno Provincia: Puno Distrito: Coata Coordenadas: Latitud: 14°95'069"S Longitud: 70°07'410"O URL Maps: https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1NlaeOrQ_IhEL3H7NL9QMUVN8nTuWQYw&usp=sharing </p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2025 – Setiembre 2025
URL de disciplinas OCDE	<p> Ingeniería ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00 </p> <p> Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08 </p>
https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html Librería	



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS

 Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo CLIVER IVAN MAMANI SUMARI, identificado con DNI
Nro. 47837264, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
 Programa de Segunda Especialidad,
 Programa de Maestría o Doctorado

"INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL"

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

" APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN
DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL
RÍO COATA 2025 "

Asesorado por: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

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

Juliaca 09 de OCTUBRE del 2025


Firma del Asesor


Firma del Estudiante





DEDICATORIA

A dios por ser nuestro creador y guía



AGRADECIMIENTO

A la universidad andina Néstor

Cáceres Velásquez, mi alma mater



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA..... iii

AGRADECIMIENTO..... iv

ÍNDICE GENERAL v

ÍNDICE DE TABLAS ix

ÍNDICE DE FIGURAS x

RESUMEN xii

ABSTRACT xiii

INTRODUCCIÓN xiv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 1

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 1

 1.2.1. Problema general 1

 1.2.2. Problemas específicos 1

1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN..... 1

 1.3.1. Objetivo general 1

 1.3.2. Objetivos específicos..... 2

1.4. JUSTIFICACIÓN..... 2

1.5. HIPÓTESIS..... 3

 1.5.1. Hipótesis general..... 3

 1.5.2. Hipótesis específica 3

1.6. VARIABLES..... 4

 1.6.1. Variable dependiente..... 4

 1.6.2. Variable independiente..... 4

1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES..... 4



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	5
2.1.1. Antecedentes internacionales	5
2.1.2. Antecedentes nacionales	7
2.1.3. Antecedentes regionales	9
2.2. MARCO TEÓRICO	10
2.2.1. Agua	10
2.2.2. Agua superficial	10
2.2.3. Características del agua superficial	11
2.2.4. Contaminación del agua	12
2.2.5. Principales fuentes de contaminación	12
2.2.5.1. Contaminación por residuos industriales	12
2.2.5.2. Contaminación agrícola	13
2.2.5.3. Aguas residuales urbanas y domésticas	13
2.2.5.4. Contaminación por desechos sólidos	13
2.2.5.5. Contaminación por microplásticos	14
2.2.6. Efectos de la contaminación del agua superficial	14
2.2.6.1. Destrucción de ecosistemas acuáticos	14
2.2.6.2. Turbidez y su impacto en la calidad del agua	14
2.2.6.3. Eutrofización	14
2.2.6.4. Reducción de la calidad del agua potable	15
2.2.6.5. Disminución de la visibilidad y recreación	15
2.2.7. Medidas para combatir la contaminación del agua superficial	16
2.2.7.1. Mejorar las prácticas agrícolas	16
2.2.7.2. Tratamiento Adecuado de Aguas Residuales	16



2.2.7.3.	Uso de coagulantes naturales modificados.....	16
2.2.7.4.	Gestión de desechos sólidos	17
2.2.7.5.	Educación y sensibilización ambiental	17
2.2.8.	Tratamiento de aguas superficiales con coagulantes naturales modificados.....	18
2.2.8.1.	Almidón de Maíz como coagulante natural modificado	18
2.2.8.2.	Mucilago de cactus como coagulante natural modificado	19
2.2.9.	Ventajas de los coagulantes naturales en la remoción de turbidez y solidos suspendidos totales	20
2.2.10.	Prueba de jarras para el tratamiento de aguas	20
2.2.10.1.	Variables importantes en la prueba de jarras.....	21
2.3.	MARCO CONCEPTUAL	22
2.3.1.	Almidón de Maíz.....	22
2.3.2.	Coagulantes modificados	23
2.3.3.	Coagulantes naturales.....	23
2.3.4.	Eficiencia del coagulante	23
2.3.5.	Floculación	23
2.3.6.	Mucílago de Cactus (Opuntia spp)	23
2.3.7.	Sedimentación.....	24
2.3.8.	Solidos suspendidos totales	24
2.3.9.	Turbidez	24
2.3.10.	Tratamiento de aguas.....	24
2.3.11.	Viabilidad técnica.....	24

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
------	----------------------------	----



3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	26
3.4.1. Técnicas.....	26
3.4.2. Instrumentos.....	26
3.4.3. Ubicación de la zona de investigación.....	27
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	27
3.5.1. Población.....	27
3.5.2. Muestra.....	28
3.5.3. Materiales y equipos.....	28
3.5.3.1. Materiales.....	28
3.5.3.2. Equipos.....	29
3.5.3.3. Reactivos.....	29
3.5.4. Procedimiento Metodológico.....	29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RESULTADOS.....	40
4.2. DISCUSIONES.....	62
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS.....	73



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	4
Tabla 2 Puntos de monitoreo	30
Tabla 3 Métodos normalizados para el análisis a aguas potables y residuales	31
Tabla 4 Dosis de Almidón de Maíz	34
Tabla 5 Dosis de Mucilago de Cactus modificado	36
Tabla 6 Características de tratamiento en prueba de jarras	37
Tabla 7 Resultados de la caracterización inicial	40
Tabla 8 Resultados del coagulante Mucilago de Cactus	45
Tabla 9 Resultados de la réplica del coagulante Mucilago de Cactus	46
Tabla 10 Promedio de resultados de tratamiento con Mucilago de Cactus	47
Tabla 11 Resultados del primer tratamiento con Almidón de Maíz	51
Tabla 12 Resultados del primer tratamiento con Almidón de Maíz	52
Tabla 13 Comparación del porcentaje de remoción de coagulantes naturales ...	57



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Almidón de Maíz.....	18
Figura 2 Extracción del Mucilago de cactus	19
Figura 3 Tes de jarras de 6 posiciones.....	21
Figura 4 Ubicación de la zona de monitoreo	27
Figura 5 Aguas superficiales del Río Coata.....	28
Figura 6 Punto de monitoreo	30
Figura 7 Toma de muestras iniciales.....	31
Figura 8 Preparación y modificación del Almidón de Maíz	33
Figura 9 Preparación y modificación del Mucilago de Cactus	36
Figura 10 Tratamiento con Mucilago de Cactus	37
Figura 11 Variación de la Temperatura del Agua en los Puntos de Muestreo del Río Coata	41
Figura 12 Variación de la Turbidez de los puntos de monitoreo en el Río Coata .	42
Figura 13 Distribución de los Sólidos Suspendidos Totales en el Río Coata ..	43
Figura 14 Variación del pH en el Río Coata en Cumplimiento con los ECA....	44
Figura 15 Temperatura del Agua en el Tratamiento con Mucílago de Cactus Comparado con los ECA.....	47
Figura 16 Reducción de la Turbidez en el Tratamiento con Mucílago de Cactus Comparado con los ECA.....	48
Figura 17 Reducción de Sólidos Susp. Totales en el Tratamiento con Mucílago de Cactus Comparado con los ECA.....	49
Figura 18 Variación del pH en el Tratamiento con Mucílago de Cactus Comparado con los ECA.....	50
Figura 19 Promedio de resultados de tratamiento con Almidón de Maíz	52



Figura 20 Temperatura del Agua en el Tratamiento con Almidón de Maíz Comparado con los ECA.....	53
Figura 21 Turbidez del Agua en el Tratamiento con Almidón de Maíz Comparado con los ECA.....	54
Figura 22 Reducción de Sólidos Susp. Totales en el Tratamiento con Almidón de Maíz Comparado con los ECA	55
Figura 23 Variación del pH en el Tratamiento con Almidón de Maíz Comparado con los ECA.....	56
Figura 24 Comparación de la Remoción de Turbidez con Mucílago de Cactus y Almidón de Maíz Modificado con Ácido Fosfórico	58
Figura 25 Comparación de la Remoción de Turbidez con Mucílago de Cactus y Almidón de Maíz Modificado con Ácido Fosfórico	59



RESUMEN

Este estudio tiene como propósito general valorar la efectividad de los coagulantes nativos modificados (almidón de maíz y mucílago de cactus) en la reducción de turbidez y SST en las H₂O del afluyente Coata. La problemática radica en la contaminación del río Coata, con altos niveles de turbidez y SST, que afectan la condición del H₂O y la salubridad de comunidades cercanas. La metodología residió en ejecutar ensayos de coagulación-floculación en el laboratorio, utilizando diferentes dosis de los coagulantes naturales (5, 10, 20 y 30 mg/L) y midiendo la efectividad en la separación de turbidez y SST. Las derivaciones revelaron que el mucílago de cactus alcanzó una separación de 92% en turbidez y 89% en SST en la cuantía de 20 mg/L, siendo significativamente más efectivo que el almidón de maíz, que alcanzó 70.4% en turbidez y 54.8% en SST en la misma dosis. La conclusión es que los coagulantes nativos reformados, especialmente el mucílago de cactus, demostraron ser una opción eficaz, técnica y económicamente viable para el perfeccionamiento de la condición del H₂O en el afluyente Coata, ofreciendo una disyuntiva sostenible y rentable frente a los coagulantes químicos convenidas.

Palabras claves: Almidón de maíz, Coagulantes naturales, Mucílago de cactus, Tratamiento de aguas, Turbidez



ABSTRACT

The overall purpose of this study is to measure the effectivity of modified native coagulants (corn starch and cactus mucilage) in reducing turbidity and TSS in the H₂O of the Coata affluent. The problem lies in the pollution of the Coata River, with high levels of turbidity and TSS, which strike the condition of the H₂O and the toast of nearby communities. The methodology consisted of conducting coagulation-flocculation tests in the laboratory, using different doses of natural coagulants (5, 10, 20, and 30 mg/L) and measuring their effectiveness in separating turbidity and TSS. The results revealed that cactus mucilage achieved a separation of 92% in turbidity and 89% in TSS at a dose of 20 mg/L, being significantly more effective than corn starch, which achieved 70.4% in turbidity and 54.8% in TSS at the same dose. The conclusion is that reformed native coagulants, especially cactus mucilage, proved to be an effective, technically and economically viable option for improving the condition of H₂O in the Coata tributary, offering a sustainable and cost-effective substitute to conventional chemical coagulants.

Keywords: Corn starch, Natural coagulants, Cactus mucilage, Water treatment, Turbidity



INTRODUCCIÓN

El procesamiento del H₂O se ha transformado un asunto de relevancia global a causa del agotamiento de los recursos hídricos y la creciente preocupación por la contaminación ambiental. A este respecto, los coagulantes nativos modificados han emergido como una alternativa adelantada para la purificación de aguas. Estos coagulantes presentan ventajas notables frente a los productos químicos habituales, pues son económicos, biodegradables, no tóxicos, y tienen un impacto ambiental significativamente menor. La efectividad de las sustancias coagulantes nativos en la separación de turbidez y SS ha sido ampliamente investigada, aunque su aplicación industrial sigue siendo limitada, lo que hace necesaria más investigación sobre su viabilidad técnica y económica.

Koul et al. (2022) destacan que, a pesar de la eficiencia de los coagulantes químicos, estos presentan desventajas significativas, como su costo elevado, toxicidad y su impacto perjudicial en el ambiente. En cambio, los coagulantes nativos, como el mucílago de cactus y el almidón de maíz modificado con ácido fosfórico, son opciones más sostenibles que podrían ofrecer soluciones efectivas para el procesamiento de aguas de superficies. En un análisis similar, Choudhary et al. (2019) demuestran que el mucílago de *Opuntia ficus-indica* presenta una remoción de turbidez del 98%, lo que resalta su alto potencial como coagulante natural.

Además, Vidal et al. (2014) analizan el uso de féculas reformadas, como el de malanga, y evidencian su efectividad en la separación de turbidez, alcanzando una separación del 95%, sugiriendo que los almidones modificados pueden ser alternativas viables para la coagulación del agua, especialmente cuando se busca reducir el uso de coagulantes químicos tradicionales. En línea



con esto, Madrid et al. (2025) encontraron que la fécula de maíz es un congelador eficaz, logrando una remoción del 86% de turbidez, similar al uso de sulfato de aluminio, lo que destaca la efectividad económica de los almidones de maíz en el procesamiento de H₂O.

Los coagulantes nativos no solo ofrecen una disyuntiva ecológica, sino también una solución económica para el procesamiento del agua. Investigaciones previas, como las de Stuart & Isabel (2020), señalan que varias especies de plantas, como Aloe vera, Caesalpinia spinosa y Manihot esculenta, han justificado ser elevadamente eficaces en la remoción de turbidez, con eficiencias de hasta 99.45%, posicionándolos como opciones más incondicionales con el ambiente que los coagulantes químicos tradicionales. Igualmente, Vélez et al. (2025) demostraron que el coagulante natural de tuna obtuvo una remoción de turbidez del 98.89%, lo que valida aún más la usanza de coagulantes nativas como una disyuntiva viable a los productos sintéticos.

Por otro lado, Morales (2018) y Camasca (2024) destacan que la diligencia de coagulantes nativos, como el mucílago de cactus y fécula de maíz, no solo es técnico y económico viable, sino también beneficiosa a partir del punto de vista ambiental, pues ayuda a reducir la contaminación por efectos químicos y promueve la usanza de recursos locales.

Este análisis se orienta en valorar la efectividad técnica y económica de los coagulantes naturales modificados en la separación de turbidez y SS en las aguas del afluente Coata, con el propósito de proporcionar una solución más sostenible y económica para el procesamiento del H₂O en la región.

Este estudio se estructura en tres capítulos principales: I. La Introducción, que comprende la problemática, el planteamiento del problema, los objetivos y



la justificación del estudio. II. El Cuerpo Principal, el cual incluye el Marco Teórico con sus antecedentes y bases conceptuales, la Metodología con su diseño y enfoque, y el análisis de Resultados y Discusión. III. Las Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Qué impacto tienen los coagulantes naturales modificados en la reducción de la turbidez y los sólidos suspendidos en las aguas del río Coata?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características físico – químicas del agua, como el pH, la turbidez y los sólidos suspendidos del río Coata?
- ¿Cuál es la eficacia comparativa de los coagulantes naturales modificados (Almidón de Maíz y mucílago de cactus) en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos en las aguas del río Coata?
- ¿Será viable técnica y económicamente aplicar los coagulantes naturales modificados en el tratamiento de aguas del río Coata?

1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la eficacia de los coagulantes naturales modificados en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos en aguas del río Coata 2025



1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de las aguas del río Coata, como turbidez, pH y sólidos suspendidos totales.
- Evaluar y comparar la eficacia de los coagulantes naturales modificados (Almidón de Maíz y mucílago de cactus) en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos en las aguas del río Coata
- Analizar la viabilidad técnica y económica de la aplicación de los coagulantes naturales modificados en el tratamiento de aguas del río Coata.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El procesamiento de aguas con coagulantes nativos modificados ofrece una disyuntiva sostenible y con mejor relación costo-beneficio frente a las prácticas convencionales en la eliminación de turbidez y SS. Las aguas del afluente Coata, debido a su alta carga de contaminantes físicos, simbolizan un desafío para la salubridad pública y el ecosistema local. En este contexto, la investigación sobre la eficacia de coagulantes nativos como la Fécula de Maíz y el mucílago de cactus podría contribuir significativamente al perfeccionamiento de la condición del H₂O, utilizando materiales de bajo costo y con alta disponibilidad local.

Además, la utilización de coagulantes naturales modificados se alinea con las tendencias actuales de sostenibilidad, ya que promueve la usanza de recursos renovables y reduce la subordinación de productos químicos industriales. Este enfoque puede tener un impacto positivo tanto a nivel ambiental, al disminuir la contaminación hídrica, como en la economía local, al generar opciones viables y accesibles para el procesamiento del agua.



La viabilidad técnica y económica de esta investigación resulta crucial, no solo para adelantar en el discernimiento científico sobre la eficacia de estos coagulantes, sino también para fomentar su implementación en comunidades que enfrentan problemas similares de condición de H₂O, promoviendo una misión sostenible de los recursos del H₂O.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

- La aplicación de coagulantes naturales modificados en el tratamiento de las aguas del río Coata será eficaz en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos, mejorando la calidad del agua de manera comparable a los coagulantes tradicionales, con ventajas adicionales en términos de sostenibilidad y costos.

1.5.2. Hipótesis específica

- Las aguas del río Coata presentan altos niveles de turbidez y sólidos suspendidos, los cuales afectan negativamente su calidad, lo que justifica la necesidad de un tratamiento eficiente para mejorar su calidad.
- Los coagulantes naturales modificados (Almidón de Maíz y mucílago de cactus) reducirán significativamente la turbidez y los sólidos suspendidos en las aguas del río Coata, siendo el mucílago de cactus más eficiente que el Almidón de Maíz debido a sus características estructurales y propiedades floculantes superiores.
- La aplicación de los coagulantes naturales modificados será técnicamente viable en el tratamiento de aguas del río Coata y tendrá un costo unitario inferior al de los coagulantes tradicionales, haciendo de esta opción una alternativa económicamente rentable para el tratamiento del agua en la región.



1.6. VARIABLES

1.6.1. Variable dependiente

- Turbidez
- Sólidos suspendidos totales

1.6.2. Variable independiente

- Tipo de coagulante natural modificado
- Concentración del coagulante.
- Tiempo de contacto.

1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida
(Vd) turbidez	Propiedades fisicoquímicas de agua	Medición de la turbidez del agua	NTU
(Vd) Sólidos suspendidos totales	Propiedades fisicoquímicas de agua	Medición de los sólidos suspendidos	mg/L
(Vi) tipo de coagulante natural modificado	Características de coagulante	del Almidón de Maíz y Mucilago de Cactus	Cualitativa
(Vi) Concentración del coagulante	Cantidad de coagulante por volumen de agua	de Dosis de coagulante aplicada	g/L
(Vi) Tiempo de contacto	Tiempo de interacción entre coagulante y agua	Duración del proceso de coagulación	Minutos

Nota: (Vi) Variable independiente (Vd) Variable dependiente



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Koul et al., (2022) el procesamiento de agua está siendo objeto de investigación debido al extenuación de los recursos del H₂O y la preocupación por la contaminación ambiental. Esta revisión se enfoca en los coagulantes nativos y su aplicación en la purificación de H₂O de superficies. Se recopilaron datos de 237 artículos que destacan las ventajas y limitaciones de estos coagulantes. Aunque los coagulantes químicos son eficientes, son costosos, tóxicos y no sostenibles. En cambio, los coagulantes naturales son económicos, biodegradables, no tóxicos y efectivos, con una eficiencia similar a la de los químicos, además de generar menos lodo. Sin embargo, su aceptación y aplicación industrial global aún son bajas, lo que hace necesaria más investigación sobre su modo de acción y comercialización como alternativa sostenible a los productos químicos en el procesamiento de H₂O.

Choudhary et al., (2019) señalan que el mucílago acuoso de *Opuntia ficus-señala* (nopal) se utilizó como bio-coagulante para el preprocesamiento de aguas presuntuosas por arenas bituminosas (OSPW). Las pruebas de coagulación/floculación demostraron una remoción del 98% de turbidez en



OSPW a pH inicial de 7 y 8, utilizando 1500 mg/l del bio-coagulante en 60 min. El compuesto activo en el mucílago incluye una combinación de polisacáridos pectínicos, no polisacáridos y electrolitos naturales, especialmente cationes divalentes como Ca^{+2} y Mg^{+2} . La formación de flóculos grandes y en forma de hilo sugiere un mecanismo de coagulación mediante adsorción y puenteo interpartículas. En un estudio comparativo, el bio-coagulante generó un fango más macizo con menor volumen en contraste con el sulfato de aluminio (alúmina).

Vidal et al., (2014) este estudio plantea el empleo de fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) químicamente alterados como coadyuvantes en la etapa de coagulación-floculación para purificar H₂O. Se produjeron 3 variedades de fécula tratado: entrecruzado, fosfatado y pregelatinizado, partiendo de la fécula en su estado nativo. Se analizó su eficacia para eliminar turbidez y tono en muestras de H₂O de superficies de Tabasco que tenían 400 UNT. Los hallazgos indicaron que la eliminación de turbidez fue similar entre el almidón sin modificar y los tratados. La eficiencia óptima se logró con un 95% de eliminación de turbiedad al emplear 15 mg/L de almidón natural y 35 mg/L de sulfato de aluminio, mientras que la decoloración máxima fue del 99.2% con una dosis de 25 mg/L de fécula fosfatado y 25 mg/L de coagulante. La investigación propone que la incorporación de estos biopolímeros podría disminuir la utilización del sulfato de aluminio en las etapas de clarificación de las plantas potabilizadoras, fomentando así una alternativa más sostenible.

Jiménez & Vladimir (2015) destacan que la fécula, un carbohidrato significativo en la industria, se obtiene principalmente del Maíz, un cultivo versátil y fácil de producir. Aunque su uso en el procesamiento de agua no ha sido ampliamente investigado, sus características de hinchamiento, gelatinización y



retrogradación lo convierten en un coagulante eficaz. Este estudio evaluó su efectividad para eliminar tono y turbidez en el procesamiento de H₂O de la Quebrada Vuelta Larga, que presenta una alta coloración, turbidez moderada y baja alcalinidad. El coagulante se preparó con soda cáustica al 2%, y mediante el Ensayo de Jarras se determinaron las dosis óptimas de Fécula de Maíz, que luego se compararon con el sulfato de Al como coagulante convencional. Los resultados mostraron que el Almidón de Maíz eliminó el 45.64% del color y el 86% de la turbidez, mientras que el sulfato de aluminio alcanzó el 37.68% de remoción de color y el 81.56% de turbidez. Estos hallazgos sugieren que el Almidón de Maíz podría ser una elección factible para el procesamiento de aguas con características similares.

Janna (2021) evaluó el uso de una solución de hojas de *Conocarpus* (CLS) como congelador nativo, en mezcla con alumbre, para el procesamiento de agua. Los experimentos mostraron que la dosis óptima de alumbre para agua con alta turbidez es de 24 mg/l (pH = 5 y 9) Y 18 mg/l (pH = 7). Al usar CLS con alumbre, se logró una reducción de turbidez del 50% al 75% en el rango alto de turbidez. Para agua de baja turbidez, la reducción fue de 62% a 65%, pero fue baja (5%) cuando el pH era 5. El uso de CLS redujo el uso de químicos sintéticos en un 33%, lo que es aprovechable para la potabilización del agua y la integridad sanitaria. Se recomienda realizar más estudios para mejorar el uso de este coagulante natural.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Stuart & Isabel (2020) en su estudio se centra en encontrar alternativas naturales para la floculación y coagulación en el procesamiento de agua superficial, con el objetivo de disminuir el empleo de reactivos químicos, por



ejemplo el sulfato de aluminio. Se evaluaron varias especies de centros, como *Salvia hispanica*, *Agave americana*, *Caesalpinia spinosa*, *Aloe vera* y *Manihot esculenta*, que contienen almidones y mucílagos, para determinar su capacidad de floculación. Los hallazgos mostraron eficiencias de remoción de turbidez que varían entre 46,62% y 99,45%, con algunas especies alcanzando efectividades similares a las de los agentes coagulantes convencionales, tales como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico. En conclusión, los floculantes naturales son efectivos en el procesamiento de H₂O, ofreciendo una disyuntiva sostenible a las sustancias químicas utilizados actualmente.

Alfaro & Walde (2024) el objetivo de este estudio fue instituir el congelador nativo con mayor beneficio para la potabilización de las H₂O del Afluyente Huaura en 2024, utilizando un diseño factorial con dosis de 50, 200 y 100 mg/L y dos prontitudes de conmoción (30 y 50 rpm). Se prepararon coagulantes de tuna y plátano, y se realizaron pruebas de jarras en H₂O del afluyente con turbidez primera de 126 UNT. Los resultados mostraron que el coagulante de tuna a 200 mg/L y 50 rpm presentó una eficiencia del 98.89% en la clarificación del agua, mientras que el coagulante de plátano, a la misma dosis y velocidad, eliminó completamente la turbidez. Los dos coagulantes desempeñaron con los valores del RCACH, demostrando su efectividad en el procesamiento del H₂O.

Camasca (2024) en su estudio tuvo como objetivo controlar la turbidez de las aguas remanentes de los efluentes minero-metalúrgicos de la U.E.A. Retamas precedentemente de su descarga al cuerpo receptor, desempeñando con los LMP. Se aplicaron los métodos de floculación y coagulación en el DAM de la minera aurífera Retamas. Los resultados mostraron que las porciones óptimas de floculante y coagulante lograron una reducción de turbidez del



90.32% y 94.40%. Se observó una reciprocidad significativa entre el nivel de coagulante aplicado y su capacidad de acción de separación de turbidez, así como una relación lineal con la conductividad eléctrica. Los indicadores medidos (pH, turbidez, conductividad eléctrica) no superaron los LMP señalados para el vertimiento de afluentes al río Llacuabamba.

2.1.3. Antecedentes regionales

Quispe & Condori (2020) en el estudio que realizaron indican que en la actualidad, se utilizan congeladores químicos como el sulfato de Al y el cloruro férrico para eliminar la turbidez del H₂O destinada al consumo humano. Sin embargo, estos coagulantes tienen inconvenientes, ya que pueden ser tóxicos si se ingieren a manifestaciones mayores a 0.1 mg/L, lo que podría producir problemas de salud como el Alzheimer, además de ser costosos. El propósito de este apartado fue asemejar coagulantes nativos que puedan servir como disyuntivas para reducir la turbidez en el procesamiento de aguas dulces. Con base en un estudio de la bibliografía existente, se encontró que varios coagulantes naturales, como la tuna, la moringa, la caña fistula, el dale dale, el durazno, el Cedrela odorata y el quitosano, son efectivos en la eliminación de turbidez, siendo algunos más eficientes que otros.

Morales (2018) Las etapas de floculación y coagulación constituyen procesos esenciales en la potabilización del agua. En estas fases se emplean agentes coagulantes, tales como sulfato de Al o sales férricas, con el objetivo de separar las partículas coloidales y suspendidas que causan turbiedad en el medio acuoso. La intención de esta investigación fue valorar la capacidad de acción de la goma de tara como ayudante en la coagulación para reducir la turbidez del H₂O del afluente Ayaviri consignada a la ingesta humana. Aplicando



el test de jarras, se fijó la proporción adecuada de sulfato de aluminio y goma de tara bajo parámetros constantes de turbulencia (15°C), turbidez (175 UNT) y pH (7.73). La combinación ideal fue de 45 mg/L de sulfato de Al y 15 mg/L de goma de tara, logrando reducir la turbidez a 1.14 UNT. La investigación Verificó que la goma de tara es un agente coadyuvante eficiente como complemento del sulfato de Al para reducir la turbidez del H₂O.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Agua

El agua, cuya fórmula química es H₂O, es un líquido esencial en los procesos biológicos, constituido por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (Manuel, 2023). Es un fluido incoloro, inodoro y sin sabor perceptible en su grafía pura, y es un solvente universal, lo que significa que disuelve muchas sustancias. El H₂O cubre alrededor del 71% de la superficie de la tierra y constituye una parte esencial de todos los organismos vivos (Chaquea, 2017).

El H₂O se presenta naturalmente en sus 3 fases: estado sólido (como hielo), estado líquido y estado gaseoso (en forma de vapor). Este elemento resulta esencial para el funcionamiento de los sistemas biológicos, así como para las actividades industriales, agropecuarias y para la salud y comodidad de las personas. En los seres humanos, el agua es crucial para el transporte de nutrimentos, la digestión, la regulación del temple corporal, y muchas otras funciones vitales (Ramírez, 2021).

2.2.2. Agua superficial

El agua de superficie es aquella que se halla en la superficie de la Tierra en forma de afluentes, lagos, arroyos, embalses, humedales, y océanos. Es una de las primordiales fuentes de H₂O dulce disponible para la ingesta humana, la



agronomía, la industria, y otras actividades. Esta agua se origina principalmente de la precipitación (lluvia, nieve, granizo), el deshielo de glaciares, y la escorrentía de aguas subterráneas (Villanueva, 2022).

2.2.3. Características del agua superficial

a. Características físicas

Las particularidades físicas del H₂O se refieren a sus propiedades que afectan directamente su apariencia y calidad visual, sin que haya alteración en la constitución química del H₂O (Villalobos, 2020).

- Turbidez
- Color
- Temperatura
- Sólidos suspendidos totales
- Olor y sabor

b. Características químicas

Las características químicas del agua se refieren a los compuestos y elementos disueltos en el agua que afectan su composición y su calidad para diversos usos (Villalobos, 2020).

- pH
- OD
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Metales Sólidos
- Nutrientes (Nitratos, Nitritos, Fosfatos)
- Conductividad Eléctrica
- Cloruros

c. Características biológicas

Las características biológicas del agua hace referencia a la existencia de organismos vivos en el H₂O, los cuales podrían ser indicadores de la salubridad del ecosistema marítimo y de la condición del H₂O (Villalobos, 2020).

- Microorganismos Patógenos
- Fitoplancton
- Zooplancton
- Macrófitas Acuáticas
- Bacterias Coliformes

2.2.4. Contaminación del agua

La polución del agua superficial es la avería de la condición del H₂O que ocurre cuando sustancias contaminantes, provenientes de diversas fuentes, ingresan a ríos, lagos, arroyos, embalses, humedales y otros cuerpos de agua. Esta contaminación puede poseer efectos perjudiciales sobre el ecosistema acuático y sobre la salubridad humana, ya que muchas veces el agua superficial es utilizada como fuente de abastecimiento para consumo, riego y otros fines (Madrid et al., 2025).

2.2.5. Principales fuentes de contaminación

2.2.5.1. Contaminación por residuos industriales

Las industrias pueden liberar productos químicos, metales pesados, aceites y detergentes al agua a través de sus vertidos. Estas sustancias son altamente tóxicas y pueden afectar la fauna y flora acuática, además de hacer el H₂O no idónea para ingesta humana (Vélez et al., 2025).

2.2.5.2. Contaminación agrícola

- **Fertilizantes y pesticidas:** La aplicación desmedida de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) en las diligencias agrícolas puede derivar en su arrastre por escorrentía hacia cuerpos de H₂O de superficies. Los compuestos con elevada reunión de N y P pueden desencadenar fenómenos de eutrofización, una sobre fertilización del H₂O que estimula la proliferación algal desmedida y la correspondiente caída en los niveles de oxígeno disponible para los organismos acuáticos, impactando severamente la biodiversidad y el equilibrio de los ambientes acuáticos (Díaz, 2013).
- **Sedimentos:** El desgaste del suelo causada por la agronomía y la deforestación también puede llevar grandes cuantías de sedimentos al H₂O, lo que acrecienta la turbidez y dificulta los procesos de procesamiento (Díaz, 2013).

2.2.5.3. Aguas residuales urbanas y domésticas

El vertido de aguas remanentes sin procesar o de forma escasa tratada, provenientes de hogares, hospitales, fábricas, etc., es una de las primordiales fuentes de polución del H₂O de superficie. Estas aguas contienen bacterias, virus, materia orgánica y sustancias químicas que pueden ser peligrosos para la salubridad humana y el entorno (Laurento, 2024).

2.2.5.4. Contaminación por desechos sólidos

Los restos sólidos, como dúctiles, botellas, papel, metales y demás materiales, son comúnmente arrojados en afluentes y lagos, especialmente en áreas urbanas. Estos materiales no solo contaminan el agua, sino que también afectan la biodiversidad acuática al obstaculizar el paso del agua y dañar los hábitats naturales (Tejada, 2019).

2.2.5.5. Contaminación por microplásticos

Los microplásticos son fragmentos plásticos menores a 5 mm de tamaño que provienen de la descomposición de plásticos más grandes. Estos microplásticos están presentes en muchas fuentes de agua superficial debido al acopio de restos dúctiles que terminan en ríos y océanos (Tejada, 2019).

2.2.6. Efectos de la contaminación del agua superficial

2.2.6.1. Destrucción de ecosistemas acuáticos

Los contaminantes, incluidos los sólidos suspendidos que contribuyen a la turbidez, alteran el equilibrio de los ecosistemas marítimos. Las corporaciones marítimas, como peces, insectos y centros acuáticos, pueden verse afectados directamente. La turbidez elevada impide que la luz penetre en el H₂O, conmoviendo la fotosíntesis de los centros acuáticos, que son fundamentales para la cadena alimentaria acuática. Esto puede disminuir la producción primaria y afectar a todo el ecosistema acuático (Morales, 2018).

2.2.6.2. Turbidez y su impacto en la calidad del agua

La turbidez es uno de los indicadores más significativos para evaluar la condición del H₂O. Un aumento en la turbidez, provocado por partículas en suspensión (como sedimentos, residuos agrícolas, metales pesados y materia orgánica), puede hacer que el H₂O sea impropia para la ingesta humana sin procesamiento conveniente. Las partículas suspendidas pueden alojar patógenos y contaminantes, lo cual acrecienta el peligro de padecimientos dados por el H₂O, como disentería, cólera y hepatitis (Morales, 2018).

2.2.6.3. Eutrofización

La turbiedad se asocia igualmente con el fenómeno de eutrofización, el cual consiste en una sobrecarga de nutrientes (especialmente compuestos



nitrogenados y fosforados) que estimula la proliferación desmedida de fitoplancton y algas en los ecosistemas acuáticos. Aunque la turbidez en sí misma no es la causa directa de la eutrofización, las partículas suspendidas contribuyen a la acumulación de nutrientes en el agua. Esta sobrecarga de nutrientes puede ocasionar un crecimiento desmedido de algas que, a su vez, somete el oxígeno disuelto en el H₂O, afectando la vida acuática y generando zonas muertas (RAPAL, 2010).

2.2.6.4. Reducción de la calidad del agua potable

La turbiedad constituye un parámetro fundamental que señala la existencia de materiales suspendidos en el H₂O, los cuales no solamente impactan negativamente su apariencia, sino que además complican significativamente su purificación para uso potable. La presencia de partículas suspendidas hace que los métodos convencionales de purificación, como la filtración y la coagulación, sean menos eficientes. Además, las partículas en suspensión pueden proteger a los microbio patógenos de la acción de los antisépticos, lo cual aumenta el peligro de padecimientos dados por el H₂O (Vélez et al., 2025).

2.2.6.5. Disminución de la visibilidad y recreación

En cuerpos de agua donde la turbidez es alta, la visibilidad bajo el agua se reduce significativamente. Esto afecta diligencias recreativas como el buceo, la pesca y el turismo, que dependen de un ambiente acuático limpio y claro. Además, la turbidez puede obstruir el camino de la luminaria solar a las capas más profundas del H₂O, afectando la existencia acuática y la salubridad del ecosistema (Vélez et al., 2025).



2.2.7. Medidas para combatir la contaminación del agua superficial

2.2.7.1. Mejorar las prácticas agrícolas

La aplicación desmedida de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) en el sector agrícola constituye una de las fuentes más relevantes de deterioro ambiental de la condición de las aguas de superficies. Para mitigar el arrastre de estos compuestos hacia los recursos hídricos, resulta imperativo adoptar técnicas de cultivo sostenible, entre las que destacan la dosificación precisa de fertilizantes, la implementación de sistemas de agricultura de conservación y la gestión integral de los desechos agropecuarios.

2.2.7.2. Tratamiento Adecuado de Aguas Residuales

Asegurar que todas las aguas remanentes, tanto urbanas como técnicas, sean tratadas precedentemente de su derramamiento en las entidades de H₂O es fundamental. Esto incluye el uso de sistemas de procesamiento primario, secundario y terciario para eliminar contaminantes químicos, biológicos y sólidos suspendidos, reduciendo así la contaminación de las aguas superficiales.

2.2.7.3. Uso de coagulantes naturales modificados

El procesamiento de aguas con coagulantes naturales modificados ha surgido como una estrategia efectiva para la remoción de turbidez y los SS en aguas de superficies polucionadas. Los coagulantes nativos como la Fécula de Maíz de Opuntia son modificados químicamente para mejorar su eficiencia en la congelación, lo que permite mover eficazmente átomos y contaminantes del H₂O (Carvajal, 2023).



a. Ventajas de los coagulantes naturales modificados

- **Bajo costo:** A menudo son más económicos que los coagulantes químicos sintéticos, lo cual los hace una opción seductora para su implementación en grandes volúmenes de procesamiento de H₂O.
- **Biodegradabilidad:** Son amigables con el medio ambiente, ya que se descomponen de manera natural y no dejan residuos tóxicos.
- **Eficiencia en la remoción de turbidez:** Los coagulantes naturales modificados pueden ser igual de efectivos que los productos químicos como el sulfato de Al en la reducción de turbidez, especialmente en H₂O superficiales contaminadas.
- **Sostenibilidad:** Al provenir de fuentes cambiables (como algas y plantas), estos coagulantes contribuyen a las sostenibilidades de los procesos de procesamiento de aguas.

2.2.7.4. Gestión de desechos sólidos

La gestión apropiada de los restos sólidos es decisiva para prevenir que estos lleguen a los cuerpos de H₂O. Efectuar sistemas de reciclaje, recolección y procesamiento de residuos sólidos evitaría que plásticos, metales y otros desechos contaminen los ríos, lagos y embalses (Vega, 2023).

2.2.7.5. Educación y sensibilización ambiental

Fomentar la educación sobre la trascendencia del cuidado del H₂O y las prácticas sostenibles es clave para reducir la contaminación. Las comunidades deben ser conscientes de efectos de sus diligencias en la condición del H₂O y ser educadas sobre cómo reducir el impacto ambiental (Vélez et al., 2025).

2.2.8. Tratamiento de aguas superficiales con coagulantes naturales modificados

2.2.8.1. Almidón de Maíz como coagulante natural modificado

La Fécula de Maíz es un polisacárido natural extraído del grano de Maíz, utilizado como congelador nativo modificado en el procesamiento de H₂O. En su forma modificada, el Almidón de Maíz puede ser tratado químicamente para mejorar su capacidad de coagulación, favoreciendo la eliminación de turbidez y SS en el H₂O. A través de procesos de modificación, como la oxidación o el entrecruzamiento, se mejoran los patrimonios de la fécula, tales como su solubilidad, viscosidad y capacidad de formación de flóculos. Estos flóculos permiten la aglutinación y sedimentación de los átomos suspendidos, optimando significativamente la claridad del H₂O. El Almidón de Maíz modificado es biodegradable, de bajo costo, y brinda una disyuntiva ecológica a los congeladores químicos habituales como el sulfato de Al (Carvajal, 2023).

Figura 1

Almidón de Maíz



Nota: Extraído de (FENGCHEN, 2020)

2.2.8.2. Mucilago de cactus como coagulante natural modificado

El mucílago de cactus, particularmente el de especies como *Opuntia ficus-señala* (nopal), es un polisacárido nativo encontrado en las células de los cactus. Este mucílago, al ser modificado, se utiliza como congelador nativo para el procesamiento de H₂O. Los procesos de modificación del mucílago de cactus, tales como la extracción y purificación, mejoran su capacidad para formar flóculos, lo que facilita la remoción de turbidez y SS. El mucílago de cactus modificado actúa como un agente floculante eficiente, atrapando los átomos suspendidos en el H₂O y permitiendo su precipitación. Además, es un material biodegradable, económico, y cortés con el ambiente, lo cual lo transforma en una alternativa sostenible a los productos químicos convencionales. Este coagulante natural se destaca por su capacidad de tratar aguas con alta turbidez, fundamentalmente en regiones en la que los recursos hídricos son restringidos o se busca una solución ecológica (Bedoya & Clemente, 2024).

Figura 2

Extracción del Mucilago de cactus



Nota: Extraído de (Blanco et al., 2019)



2.2.9. Ventajas de los coagulantes naturales en la remoción de turbidez y sólidos suspendidos totales

- **Eficiencia:** Los coagulantes nativos modificados, como la Fécula de Maíz , el mucílago de cactus y la moringa, han confirmado ser elevadamente efectivos para someter la turbidez y los sólidos suspendidos, alcanzando rendimientos comparables a los de los coagulantes sintéticos tradicionales (Koul et al., 2022).
- **Costo bajo:** Son generalmente más baratos que los productos químicos convencionales, lo cual los hace asequibles para colectividades con recursos restringidos o para grandes volúmenes de procesamiento (Koul et al., 2022).
- **Bajo impacto ambiental:** Al ser biodegradables y no tóxicos, los coagulantes nativos son una opción sostenible para el procesamiento de H₂O, reduciendo la acumulación de sustancias químicas en el ambiente y el costo de disposición de residuos (Koul et al., 2022).
- **Disponibilidad local:** Muchos de estos coagulantes naturales provienen de fuentes locales y renovables, como el Maíz , la moringa y el cactus, lo que permite su uso en diversas regiones sin depender de productos importados (Koul et al., 2022).

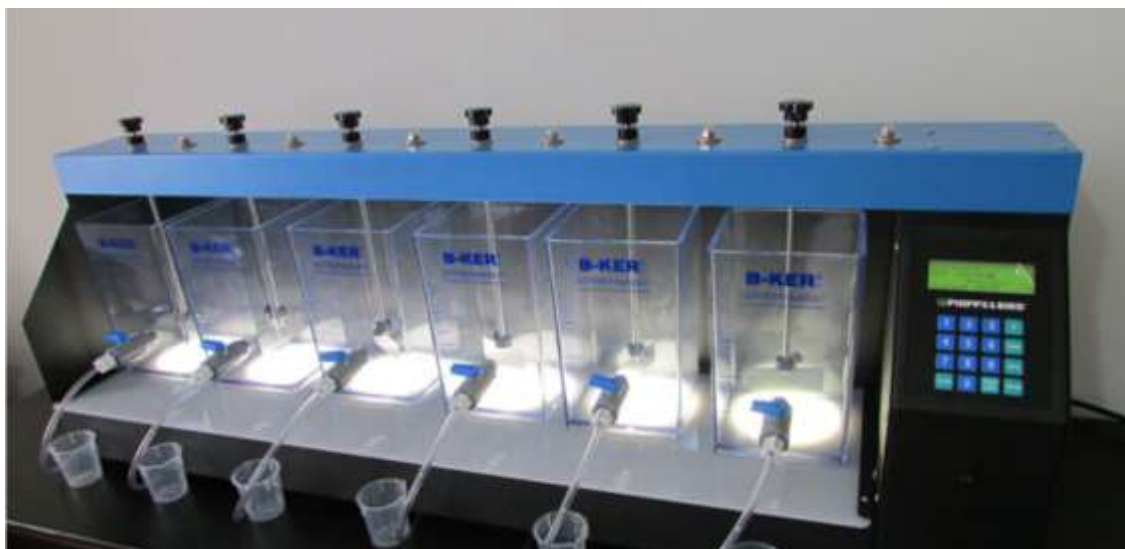
2.2.10. Prueba de jarras para el tratamiento de aguas

El ensayo de jarras constituye un procedimiento normalizado en la ingeniería de aguas, empleado para establecer la dosificación precisa de agentes coagulantes y floculantes en condiciones experimentales. Esta técnica replica a escala de laboratorio las etapas de coagulación-floculación, facilitando el análisis de la funcionalidad de los coagulantes en la depuración del agua de turbiedad y materia suspendida. En la presente investigación, dicho ensayo se

aplica para valorar la eficacia de coagulantes de origen natural modificados, específicamente almidón de maíz tratado y mucílago de nopal, en la clarificación de aguas con alta carga de sólidos (Zevallos et al., 2020).

Figura 3

Tes de jarras de 6 posiciones



Nota: Extraído de (Zevallos et al., 2020).

2.2.10.1. Variables importantes en la prueba de jarras

A. Dosis de coagulación

La cuantía de coagulantes son una de las inconstantes más importantes en la prueba de jarras. Se probaron diferentes manifestaciones de coagulantes naturales modificados (en este caso, Almidón de Maíz y mucílago de cactus) para determinar la cantidad más efectiva para la separación de turbidez y SST en el H₂O. La cuantía se mide en mg/L, y se busca la cantidad que logre la mayor eficiencia en la eliminación de partículas suspendidas



B. Velocidad de agitación rápida (coagulación)

La agitación rápida es necesaria para mercantilizar de forma uniforme el coagulante en el H₂O. En la prueba de jarras, esta fase se ejecuta a velocidades de 100-300 rpm durante 1-2 minutos. La agitación vertiginosa facilita el derramamiento del coagulante, permitiendo que las partículas coloidales se aglutinen (coagulen) para formar flóculos más grandes.

C. Velocidad de agitación lenta (floculación)

Después de la coagulación, se procede a la agitación lenta, que se realiza entre 20 y 50 rpm durante un tiempo de 15 a 30 minutos. Este paso permite que los flóculos formados se aglomeren aún más, favoreciendo la alineación de flóculos más grandiosas que puedan ser corridamente removidos durante el sedimentación.

D. Tiempo de sedimentación

El tiempo de sedimentación es fundamental para permitir que los flóculos desarrollados a lo largo de la floculación se asienten en el fondo del frasco. Este tiempo generalmente varía entre 30 y 60 minutos, dependiendo de la cantidad de flóculos y la turbidez inicial del H₂O.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Almidón de Maíz

El Almidón de Maíz es un polisacárido extraído del Maíz que puede ser utilizado como congelador nativo para el procesamiento de H₂O. Su capacidad para coagular partículas se puede mejorar mediante modificaciones químicas o físicas (Acevedo et al., 2013).



2.3.2. Coagulantes modificados

Los congeladores modificados son coagulantes naturales que han sido alterados, generalmente mediante procesamientos físicos, químicos o térmicos, para mejorar su capacidad de coagulación y aumentar su eficiencia en el procesamiento del agua (Carvajal, 2023).

2.3.3. Coagulantes naturales

Los floculantes de procedencia biológica o mineral son agentes que neutralizan la carga de los coloides en suspensión en el agua, promoviendo su unión en partículas de mayor tamaño. Un ejemplo común es el mucílago de cactus (Quispe et al., 2018).

2.3.4. Eficiencia del coagulante

La efectividad del coagulante hace referencia a la cabida de un coagulante para someter la turbidez y los SS en el H₂O en un corto período de tiempo y con una mínima cantidad de sustancia (Pardo et al., 2020).

2.3.5. Floculación

La floculación es la etapa posterior a la congelación, donde los coágulos previamente formados se aglomeran para crear partículas de mayor tamaño, facilitando su remoción por métodos de decantación o filtrado (Aguilar, 2022).

2.3.6. Mucílago de Cactus (*Opuntia spp*)

El mucílago de cactus es una sustancia glutinosa extirpada de las hojas de cactus (*Opuntia spp.*), que se ha utilizado como coagulante natural debido a su alto contenido en polisacáridos, los cuales poseen la cabida de aglomerar partículas en el H₂O (Vega, 2023).



2.3.7. Sedimentación

La sedimentación son los procesos físicos en la que los átomos sólidas suspendidas en el H₂O, que han formado flóculos, se asientan debido a la gravedad, permitiendo que el agua se clarifique (Fernandez, 2022).

2.3.8. Solidos suspendidos totales

Los SST son átomos sólidos que se hallan pasmadas en el H₂O y que no se disuelven. Estas partículas pueden ser removidas a través de procesos de coagulación y filtración (Mirabal, 2024).

2.3.9. Turbidez

La turbidez es un parámetro que cuantifica la opacidad del agua, la cual se ve alterada por materiales en suspensión como partículas, organismos microscópicos y demás poluciones. Su unidad de medición es la NTU (Nephelometric Turbidity Units) (Marcó et al., 2024).

2.3.10. Tratamiento de aguas

La potabilización del agua es el conjunto de operaciones destinadas a remover agentes contaminantes de tipo químico, físico y microbiológico, con el fin de garantizar su inocuidad para el consumo de las personas y su utilización en procesos industriales (Silvan et al., 2012).

2.3.11. Viabilidad técnica

La viabilidad técnica es la capacidad de un método o tecnología de ser implementado de manera efectiva y eficiente en una situación práctica, tomando en consideración las condiciones particulares, así como el tipo de H₂O, el equipo disponible y el conocimiento técnico (Quispe & Condori, 2020).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El actual estudio corresponde al tipo de investigación aplicada, pues se centra en la solución de un problema práctico relacionado con la condición del H2P del afluente Coata. Por medio de la evaluación de la efectividad de los coagulantes nativos modificados (Almidón de Maíz y mucílago de cactus) en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos, se busca aportar una solución efectiva al procesamiento de aguas remanentes en esta región.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El actual estudio posee un carácter descriptivo y explicativo. Inicialmente, se detallan los atributos fisicoquímicos del agua del afluente Coata, incluyendo parámetros como la turbiedad, el potencial de hidrógeno y la reunión de sólidos en suspensión. A través de la medición y el análisis de estas medidas, se pretende conseguir un panorama detallado de la condición del H2O en la zona de estudio. En segundo lugar, el estudio tiene un enfoque explicativo, pues busca valorar y comparar la efectividad de los coagulantes naturales modificados, estableciendo la relación causa-efecto entre el uso de estos coagulantes y la mejora en las propiedades fisicoquímicas del agua.



3.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio se enmarca en un paradigma cuantitativo, ya que empleará técnicas de experimentación para la recolección de información numérica relativa a la turbiedad, los SS y la dosificación de los coagulantes utilizados. A través de técnicas estadísticas, se analizarán los resultados obtenidos para comprobar la efectividad de los coagulantes nativos modificados en el procesamiento de H₂O del afluente Coata. La compilación de datos se realizará mediante la medición precisa de las variables de interés, permitiendo un análisis objetivo y cuantificable de los efectos del procesamiento.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.4.1. Técnicas

- Técnica observacional
- Técnica de análisis físico químico
- Técnica de coagulación y floculación

3.4.2. Instrumentos

- Protocolos de recolección y análisis de muestras
- Cadena custodia
- Medidor

3.4.3. Ubicación de la zona de investigación

Figura 4

Ubicación de la zona de monitoreo



Nota: Google earth

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. Población

La urbe de estudio está conformada por las aguas de superficie del afluente Coata, situado en Puno, Perú, que presentan características de turbidez y SS derivados de actividades antropogénicas y fenómenos nativos. Se seleccionaron tres puntos representativos del cauce del afluente: uno en la zona H₂O arriba, otro en la zona intermedia con influencia de actividades urbanas y agrícolas, y el tercero en la zona aguas abajo, cercana a la desembocadura, con el propósito de valorar la variabilidad de las propiedades fisicoquímicas en el transcurso del curso del afluente.

Figura 5

Aguas superficiales del Río Coata



3.5.2. Muestra

La muestra de este análisis está conformada por volúmenes de H₂O recolectados en los tres puntos estratégicos previamente mencionados a lo largo del río Coata. Los nuestros fueron obtenidas en recipientes infecundos de 2 L, asegurando la representatividad de las aguas en diferentes tramos del río. El proceso de recolección se realizó bajo condiciones estandarizadas, con una frecuencia determinada según el diseño experimental, y las muestras fueron conservadas a una temperatura de 4 °C para su posterior análisis en el laboratorio, garantizando así su integridad y la trazabilidad mediante un estricto protocolo de cadena de custodia.

3.5.3. Materiales y equipos

3.5.3.1. Materiales

- Vasos precipitados de 1000mL, 500 mL, 250 mL clase A
- Viales de cuarzo
- Placas Petri
- Matraz quitazato de 1000mL



- Micropipeta de 5000 μ L
- Espátula

3.5.3.2. Equipos

- Tes de jarras marca BIRD
- Turbidímetro HACH 2100
- Estufa marca MEMERTH
- Balanza analítica de precisión 0.0001g marca ADAM
- Multiparámetro HACH 2200 Hqd
- Bomba de vacío marca ROCKER
- Agitador magnético marca ADAM

3.5.3.3. Reactivos

- Almidón de Maíz
- Mucilago de Cactus
- Ácido fosfórico
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Agua destilada
- Acetona 30% (limpieza de viales)

3.5.4. Procedimiento Metodológico

Objetivo específico 1: Determinar las características fisicoquímicas de las aguas del río Coata, como turbidez, pH y sólidos suspendidos totales.

Con el fin de establecer los parámetros fisicoquímicos del H₂O del afluente Coata, en particular la turbiedad, el potencial de hidrógeno y los SST, se realizará un muestreo exhaustivo en tres estaciones de monitoreo distribuidas a lo largo de su trayectoria. Los puntos de muestra fueron seleccionados para representar diferentes tramos del río, considerando la influencia de actividades urbanas,

agrícolas y naturales. Los puntos de muestreo son los siguientes: Punto 1 (aguas arriba), Punto 2 (zona intermedia con influencia humana) y Punto 3 (aguas abajo), cerca de la desembocadura.

Figura 6

Punto de monitoreo



Tabla 2

Puntos de monitoreo

Código	Ubicación	Coordenada
P – 1	Rio Coata/San Román/Puno	E: 397475.23 N: 82899218.10
P – 2	Rio Coata/San Román/Puno	E: 3974361.124 N: 82899361.205
P – 3	Rio Coata/San Román/Puno	E: 3965734.221 N: 8288712.482

Para la toma de muestra se ejecutó con las sugerencias del protocolo de muestra (ANA, 2017) y con los métodos regulados para el estudio de aguas dulces y remanentes.

Las muestras de H₂O se recolectaron en recipientes adecuados para cada parámetro considerado. La recolección se realizó en la mañana para minimizar la variabilidad diurna de las condiciones del agua. Los muestreos se transportaron al recinto de Condición Ambiental de la EPISA en condiciones controladas de temperatura (4 °C) y se siguió las recomendaciones de laboratorio como el llenado de la cadena de custodia para avalar la integridad de las muestras y la trazabilidad.

Figura 7

Toma de muestras iniciales



Tabla 3

Métodos normalizados para el análisis a aguas potables y residuales

PARÁMETROS FÍSICOS		
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO
Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo
Solidos totales en suspensión	mg/L	SM 2540 D solidos totales en suspensión secados a 103 -105 °C
Turbidez	NTU	SM - 2130 Método nefelométrico
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	SM 4500 – H

Nota: (APHA, 2017) estándar method



Control de calidad

Se tomaron muestras duplicadas en cada punto de muestreo para verificar la consistencia de los hallazgos. Además, se utilizaron materiales de referencia y soluciones estándar para calibrar los equipos de medición. Cualquier medición fuera de los rangos esperados será revisada y, en caso necesario, el procedimiento será repetido para aseverar la calidad y exactitud de los datos obtenidos.

Objetivo específico 2: Evaluar y comparar la eficacia de los coagulantes naturales modificados (Almidón de Maíz y mucílago de cactus) en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos en las aguas del río Coata

El segundo objetivo de este trabajo radica en examinar y comparar la efectividad de los coagulantes nativos modificados (Almidón de Maíz y mucílago de cactus) en la clarificación del agua y SST en H₂O del afluente Coata.

1. Modificación del Almidón de Maíz con ácido fosfórico

La modificación de la Fécula de Maíz se realizará mediante fosforilación, utilizando ácido fosfórico para introducir grupos fosfato en las moléculas de almidón, mejorando sus propiedades floculantes. El procedimiento es el siguiente:

A. Preparación de la solución de ácido fosfórico: Diluir 5 g de ácido fosfórico concentrado en 95 mL de H₂O destilada para conseguir una solución al 5% de ácido fosfórico.

B. Mezcla del Almidón con ácido fosfórico: Añadir 100 g de Almidón de Maíz seco a un recipiente limpio. Agregar lentamente la solución de ácido fosfórico

preparada anteriormente y agitar de manera constante para asegurar una buena distribución.

Figura 8

Preparación y modificación del Almidón de Maíz



C. Reacción: Colocar la mezcla en un baño termostático o sobre una placa calefactora y calentar a una temperatura constante de 70-80°C durante 2 horas para permitir que se produzca la fosforilación.

D. Neutralización: Una vez transcurrido el tiempo de reacción, el pH de la mezcla será ácido. Neutralizar con una solución diluida de NaOH hasta alcanzar un pH cercano a 7

E. Lavado y secado: Lavar la mezcla con agua purificada para remover los subproductos y el exceso de ácido. Luego, secar el Almidón fosforilado en un horno o secador de aire caliente a 50°C hasta obtener un polvo seco.

F. Dosis de tratamiento

Tabla 4

Dosis de Almidón de Maíz

N°	Código	Dosis (mg/L)
1	M – 1	5
2	M – 2	10
3	M – 3	20
4	M – 4	30



2. Modificación del Mucílago de Cactus con ácido fosfórico

A. Preparación de la solución de ácido fosfórico

Se dispone una solución de ácido fosfórico al 5% diluyendo 5 g de ácido fosfórico concentrado en 95 mL de H₂O condensada. Esta solución se utilizará para la modificación del mucílago de cactus.

B. Mezcla del mucílago con ácido fosfórico

Se pesarán 100 g de mucílago de cactus seco, que será el material base para la modificación. El mucílago de cactus se añadirá a un recipiente limpio y



adecuado, donde se incorporará lentamente la solución de ácido fosfórico preparada previamente. La mezcla debe agitarse constantemente para asegurar una distribución homogénea del ácido fosfórico en el mucílago.

C. Reacción de fosforilación

La mezcla se colocará en un baño termostático o en una placa calefactora, donde se mantendrá a una temperatura constante de 70-80°C durante un período de 2 horas. Durante este tiempo, el ácido fosfórico reaccionará con los componentes del mucílago, introduciendo grupos fosfato en la estructura molecular del mucílago, lo que mejorará sus propiedades floculantes.

D. Neutralización de la mezcla

Una vez transcurrido el tiempo de reacción, la mezcla tendrá un pH ácido. Para neutralizar la mezcla, se añadirá una solución diluida de NaOH hasta alcanzar un pH cercano a 7, que es el pH óptimo para el uso de coagulantes.

E. Lavado del producto modificado

Después de la neutralización, la mezcla será lavada con agua destilada para erradicar cualquier exceso de ácido fosfórico y otros subproductos de la reacción. Este paso es esencial a fin de confirmar que el mucílago modificado esté libre de impurezas que puedan interferir con su funcionamiento como coagulante.

F. Secado del mucílago modificado

Finalmente, el mucílago modificado se secará a una temperatura de 50°C en un horno o secador de aire caliente hasta obtener un polvo seco. Este polvo será el coagulante natural modificado que se utilizará en las pruebas para evaluar su eficacia en la reducción de turbidez y SS en las H₂O del afluyente Coata.

Figura 9*Preparación y modificación del Mucilago de Cactus***G. Dosis del Mucilago de Cactus****Tabla 5***Dosis de Mucilago de Cactus modificado*

N°	Código	Dosis (mg/L)
1	C – 1	5
2	C – 2	10
3	C – 3	20
4	C – 4	30

H. Cálculo de la eficiencia

La efectividad del procesamiento se calculó mediante la fórmula:

$$\text{Eficiencia}(\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

- C_i representa la reunión inicial del indicador (precedentemente del procesamiento)

- Cf representa la reunión final del indicador (posteriormente del procesamiento).

Esta fórmula permite determinar el porcentaje de reducción de contaminantes, principalmente SS turbidez, como indicadores directos de la clarificación del agua.

I. Tratamiento en prueba de jarras

El procesamiento se ejecutó en el test de jarras con base en las siguientes especificaciones

Tabla 6

Características de tratamiento en prueba de jarras

Agitación	Revoluciones por minuto (RPM)	por Tiempo (min)	Tiempo de sedimentación
Rápida	120	2	40 minutos
Lenta	80	40	

Figura 10

Tratamiento con Mucilago de Cactus





Objetivo específico 3: Analizar la viabilidad técnica y económica de la aplicación de los coagulantes naturales modificados en el tratamiento de aguas del río Coata.

1. Viabilidad técnica

A. Evaluación de la eficacia de los coagulantes naturales modificados

- Se realizará un análisis comparativo de la efectividad de los coagulantes naturales modificados en la depuración del agua del afluente Coata mediante la reducción de turbidez y SST.
- Se medirán los indicadores de SST y turbidez antes y después de la aplicación de los coagulantes modificados, utilizando los métodos normalizados descritos en el objetivo específico 1.
- Los coagulantes modificados se aplicarán a diferentes concentraciones en los muestreos de H₂O y se determinará el punto de dosis óptima para cada coagulante en función de su capacidad para reducir turbidez y SST.

B. Pruebas de operatividad

- Se evaluará la facilidad de uso y la estabilidad de los coagulantes modificados a lo largo del proceso. Esto incluirá la capacidad de los coagulantes para mantener su efectividad en condiciones variables del agua, como el pH, el temple, y la existencia de compuestos orgánicos.
- Se analizarán los tiempos de floculación y sedimentación, comparando estos tiempos con los establecidos por otros coagulantes comerciales para asegurar la efectividad en el proceso.

C. Análisis de calidad del agua tratada:

- Se realizarán pruebas adicionales para aseverar que el H₂O procesada efectúe con los parámetros de condición requeridos para su ingesta o uso



agrícola, según los estándares nacionales e internacionales sobre la condición del H₂O.

2. Viabilidad Económica

A. Cálculo de los costos de producción de los coagulantes

- Se calcularán los costes involucrados en la producción de los coagulantes modificados, incluyendo los costes de las materias primas (Almidón de Maíz, mucílago de cactus, ácido fosfórico, etc.), costos operativos de modificación, y el tiempo de trabajo necesario para la producción de cada coagulante.
- Se realizará una comparación de costos entre los coagulantes naturales modificados y los coagulantes comerciales disponibles en el mercado.

B. Evaluación de la eficiencia económica

- Se evaluará la cantidad de coagulante necesario para tratar un volumen determinado de agua, y se calculará el coste de procesamiento por m³ de H₂O.
- Se analizará el costo-beneficio de aplicar los coagulantes naturales modificados, comparando los costos con los beneficios en términos de condición del H₂O procesada.

3. Análisis y Presentación de Resultados

A. Análisis de los resultados técnicos y económicos

Se evaluará la aptitud económica de efectuar a gran escala la aplicación de los coagulantes naturales modificados en las zonas adyacentes al río Coata. Esto contendrá un estudio de los costes activos, el impacto en la infraestructura local y la sostenibilidad a largo plazo del uso de estos coagulantes en comparación con los productos comerciales.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RESULTADOS

Objetivo específico 1: Determinar las características fisicoquímicas de las aguas del río Coata, como turbidez, pH y solidos suspendidos totales.

Los resultados obtenidos de la determinación inicial se plasman en la siguiente tabla

Tabla 7

Resultados de la caracterización inicial

PARÁMETRO	UNIDAD	P - 1	P - 2	P - 3
Temperatura	°C	14.3	14.6	14.8
Turbidez	NTU	8.5	37.5	12.5
Solidos suspendidos totales	mg/L	38.6	150.3	42.8
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.3	7.8	7.5

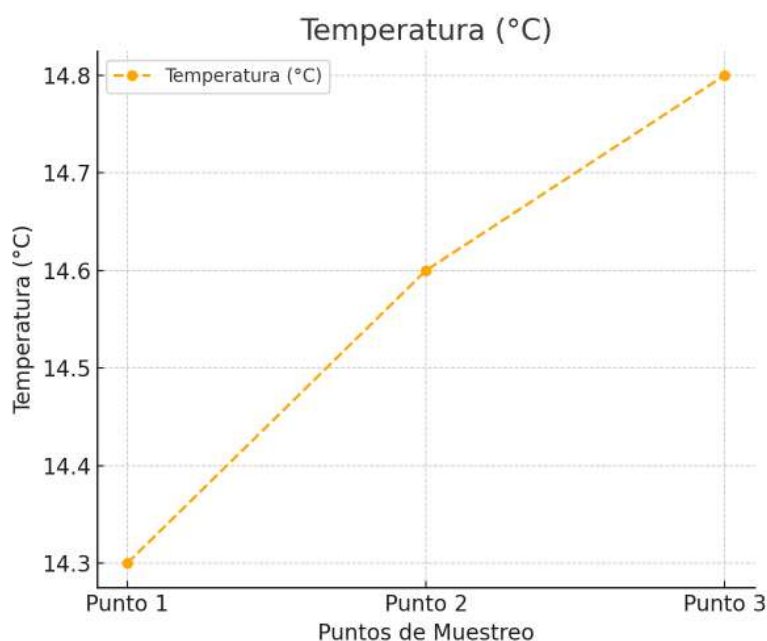
1. Temperatura

Se puede ver que el temple del H₂O se mantiene constante a lo largo del río, con ligeras variaciones de 14.3°C a 14.8°C. Estos valores son representativos de un cuerpo de agua con un clima templado. La ligera variación en la temperatura entre los puntos de muestra está relacionada con el dominio de factores naturales, como la exposición al sol, la profundidad del agua y el flujo

de corrientes. En general, los temples no son lo competentemente elevadas como para provocar una variación significativa en las patrimonios fisicoquímicas del H₂O, ya que se conservan adentro de los rangos que no conmueven de manera considerable los procesos biológicos del río.

Figura 11

Variación de la Temperatura del Agua en los Puntos de Muestreo del Río Coata



La condición térmica del agua en los tres sitios de recolección de muestras es constante, con una ligera variación entre 14.3°C y 14.8°C. Estos valores están dentro del rango autorizado por los ECA, indicando que no hay alteraciones térmicas significativas.

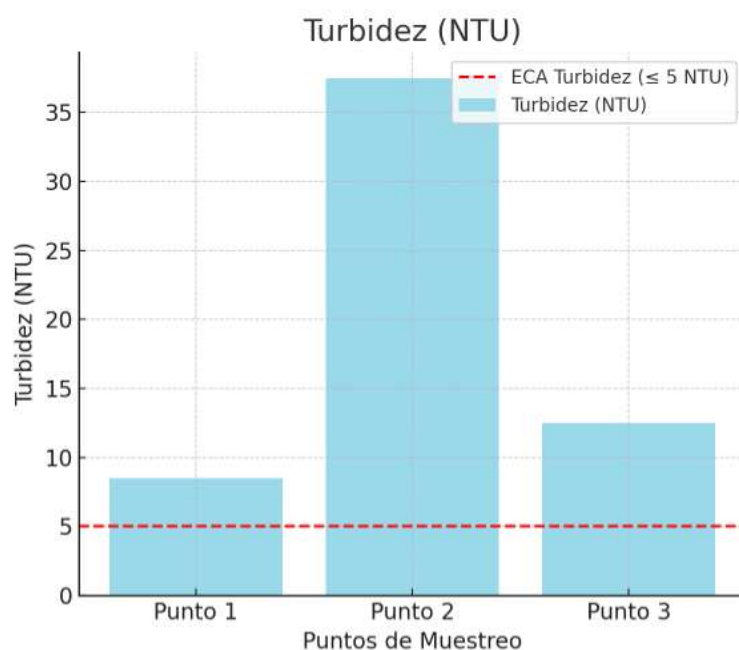
2. Turbidez

La turbidez varió entre los 3 puntos de muestra. En el **Punto 1** (aguas por encima), la turbidez fue baja (8.5 NTU), indicando un menor contenido de sedimentos. En el **Punto 2** (zona intermedia con influencia humana), aumentó significativamente a 37.5 NTU, lo que sugiere que las diligencias humanas, como la agronomía y la urbanización, incrementan los sedimentos y contaminantes en

el agua. En el Punto 3 (aguas abajo), la turbidez disminuyó a 12.5 NTU, posiblemente debido a la sedimentación natural. La variabilidad en la turbidez refleja el impacto de las diligencias humanas en la condición del H₂O a lo largo del río.

Figura 12

Variación de la Turbidez de los puntos de monitoreo en el Río Coata



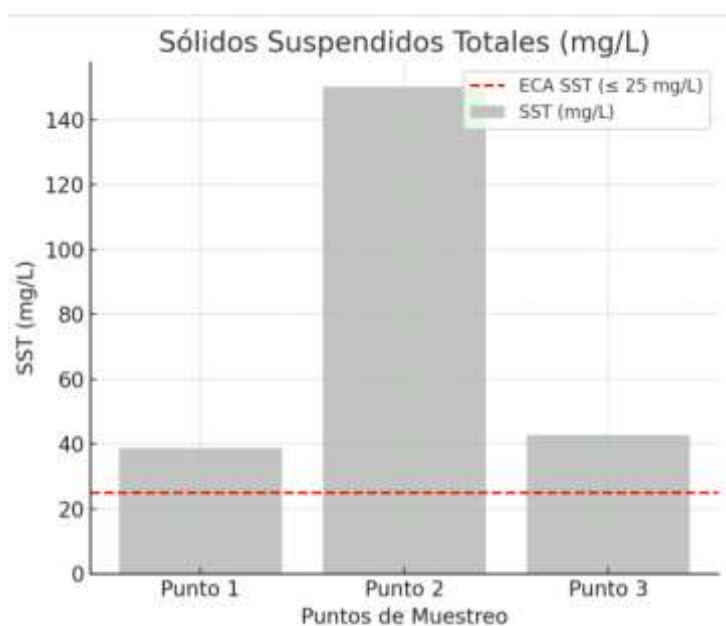
El gráfico muestra una variabilidad significativa en la turbidez a lo largo del río. En el Punto 1, la turbidez es baja (8.5 NTU), pero en el Punto 2, alcanza 37.5 NTU, superando considerablemente el límite establecido por los ECA para H₂O superficiales, que es de 5 NTU. Este aumento en la turbidez en la zona intermedia podría estar relacionado con diligencias humanas, como la agricultura y la urbanización, que contribuyen al arrastre de sedimentos. En el Punto 3, la turbidez disminuye a 12.5 NTU, lo que sugiere que los sedimentos se están sedimentando naturalmente antes de la desembocadura del río.

3. Sólidos suspendidos totales

Los SST muestran una tendencia similar a la turbidez. En el Punto 1, los SST son bajos (38.6 mg/L), indicando aguas más limpias. En el Punto 2, los SST aumentan significativamente a 150.3 mg/L, lo que refleja el impacto de las diligencias humanas, como la Urb. y la agronomía, que incrementan el arrastre de sedimentos. Finalmente, en el Punto 3, los SST disminuyen a 42.8 mg/L, posiblemente debido a la sedimentación natural de los sólidos a medida que el agua avanza hacia la desembocadura del río.

Figura 13

Distribución de los Sólidos Suspendidos Totales en el Río Coata



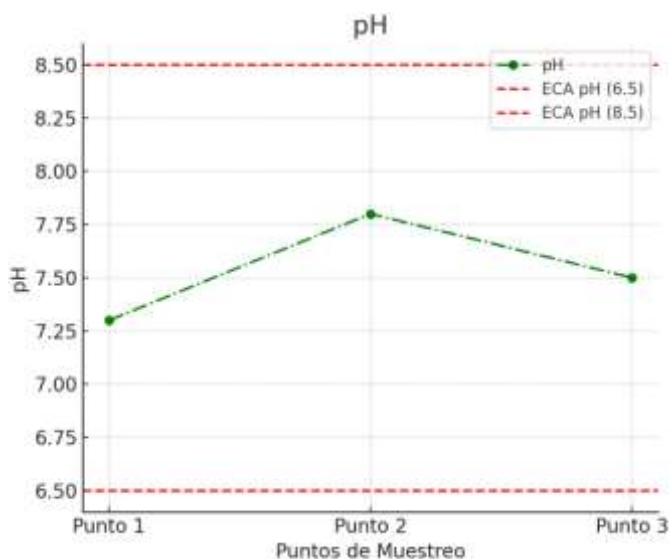
El gráfico muestra que en el Punto 1, los SST son bajos (38.6 mg/L), indicando aguas más limpias. En el Punto 2, los SST aumentan significativamente (150.3 mg/L), lo que sugiere un mayor arrastre de sedimentos debido a actividades humanas. En el Punto 3, los SST disminuyen (42.8 mg/L), lo que indica que los sólidos se sedimentan naturalmente antes de la desembocadura del río.

4. Potencial de hidrogeno

Los valores de pH en los diversos puntos de muestra se mantienen dentro del rango ligeramente alcalino, con valores de 7.3 en el Punto 1, 7.8 en el Punto 2, y 7.5 en el Punto 3. Estos valores están dentro del rango privilegiado para agua dulce (6.5 a 8.5), lo que señala que el agua del río Coata no presenta acidez ni alcalinidad excesiva que pueda afectar los procesos biológicos. La ligera variación en el pH entre los puntos podría estar relacionada con la influencia de contaminantes o la existencia de vegetación acuática que puede conmovir el equilibrio ácido-base del H₂O. El aumento del pH en el Punto 2 podría estar asociado con la influencia de aguas de escorrentía de áreas agrícolas o industriales que aportan compuestos básicos al agua.

Figura 14

Variación del pH en el Río Coata en Cumplimiento con los ECA



El gráfico de pH muestra que los valores en los tres puntos de muestreo (Punto 1: 7.3, Punto 2: 7.8, Punto 3: 7.5) están dentro del margen aceptable según normativa por la norma actual de los ECA para aguas superficiales, que establece un pH entre 6.5 y 8.5. Esto enseña que el H₂O del afluente Coata tiene

un equilibrio ácido-base adecuado para los usos humanos y ecológicos, sin presentar niveles de acidez o alcalinidad que puedan afectar negativamente los ecosistemas acuáticos ni el consumo humano.

Objetivo específico 2: Evaluar y comparar la eficacia de los coagulantes naturales modificados (Almidón de Maíz y mucílago de cactus) en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos en las aguas del río Coata

a. Coagulante Mucilago de Cactus modificado con ácido fosfórico 5%

Tabla 8

Resultados del coagulante Mucilago de Cactus

PARÁMETRO	UNIDAD	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4
Temperatura	°C	14.6	14.7	14.5	14.7
Turbidez	NTU	12.0	8.4	3.3	8.8
Sólidos suspendidos totales	mg/L	90.5	46.3	15.7	18.4
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.0	6.8	6.5	6.1

Los resultados con el coagulante de mucílago de cactus muestran que las dosis intermedias (C-3) fueron las más efectivas en la disminución de turbidez (3.3 NTU) y SST (15.7 mg/L). Las dosis más altas (C-4) y más bajas (C-1) tuvieron una reducción menos eficiente. Además, el pH disminuyó ligeramente con las dosis más altas, aunque se mantuvo dentro del rango aceptable. Esto indica que el mucílago de cactus es eficaz en dosis intermedias, pero dosis altas pueden afectar el pH.

Tabla 9*Resultados de la réplica del coagulante Mucilago de Cactus*

PARÁMETRO	UNIDAD	RC - 1	RC - 2	RC - 3	RC - 4
Temperatura	°C	15.5	15.5	15.4	15.5
Turbidez	NTU	14.6	9.4	2.7	6.7
Solidos suspendidos totales	mg/L	95.4	41.2	17.2	22.2
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.2	7.0	6.7	6.3

Los hallazgos conseguidos en la réplica con el congelador de mucilago de cactus muestran que la temperatura se mantiene constante entre 15.4°C y 15.5°C, indicando condiciones térmicas estables. En cuanto a la turbidez, la mayor reducción se observa en RC-3 (2.7 NTU), lo que sugiere que esta dosis fue la más eficaz en la eliminación de partículas suspendidas. Las dosis RC-1 (14.6 NTU) y RC-4 (6.7 NTU) tienen una reducción menos pronunciada, lo que sugiere que dosis intermedias fueron más eficaces en la depuración del H₂O. Los SST muestran mejores resultados en RC-3 (17.2 mg/L), con una notable reducción respecto a RC-1 (95.4 mg/L). Finalmente, el pH disminuye ligeramente con las dosis más altas, alcanzando 6.3 en RC-4, lo que sugiere una leve acidificación sin afectar gravemente la calidad del agua. En resumen, las dosis intermedias de coagulante son más eficaces en la reducción de turbidez y SST, pero las cuantías más elevadas pueden afectar ligeramente el pH.

Tabla 10

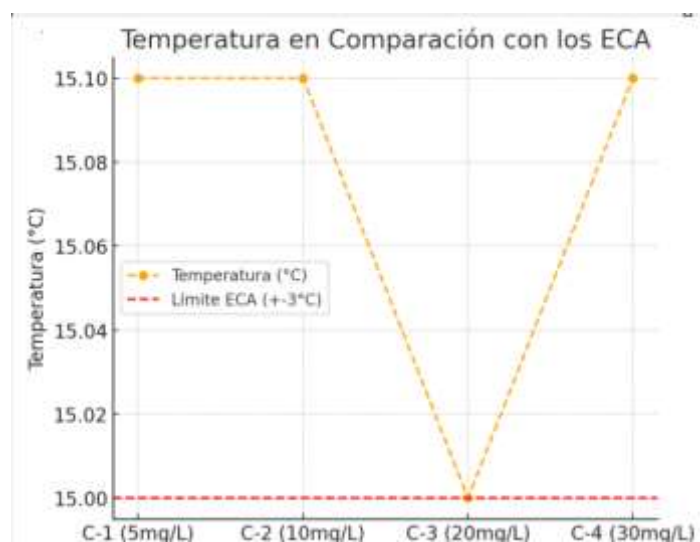
Promedio de resultados de tratamiento con Mucilago de Cactus

PARÁMETRO	UNIDAD	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4
Temperatura	°C	15.1	15.1	15.0	15.1
Turbidez	NTU	13.3	8.9	3.0	7.8
Sólidos suspendidos totales	mg/L	93.0	43.8	16.5	20.3
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.1	6.9	6.6	6.2

- Temperatura (°C):** Los resultados de temperatura se mantienen estables, con valores que oscilan entre 15.0°C y 15.1°C en todas las dosis. Esta estabilidad térmica indica que la temperatura no varió significativamente durante el procesamiento, lo cual sugiere que no influye en la eficacia del coagulante mucilago de cactus modificado con ácido fosfórico.

Figura 15

Temperatura del Agua en el Tratamiento con Mucilago de Cactus Comparado con los ECA



La Figura de Temperatura muestra que las variaciones en la temperatura del agua con el coagulante de mucilago de cactus son mínimas, con valores que oscilan entre 15.0°C y 15.1°C. Estos valores se conservan dentro del rango de

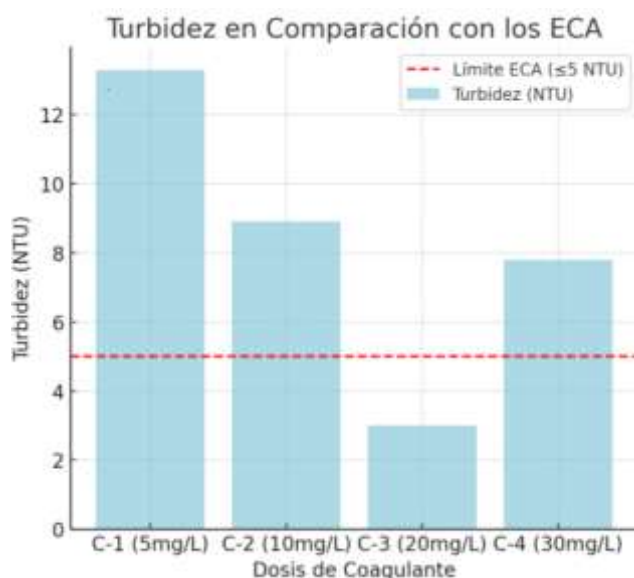
variación permitido por los ECA, que permiten una variación de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ respecto a la temperatura natural. Esto sugiere que el procesamiento no afecta significativamente la temperatura del agua, lo cual es real para la condición del H₂O procesada.

- **Turbidez (NTU):** La turbidez muestra una notable reducción con las dosis del coagulante. La C-3 (20 mg/L) presenta la mayor reducción con 3.0 NTU, lo que indica que esta dosis fue la más eficaz para eliminar las partículas suspendidas del agua. Las dosis más bajas (C-1 (5 mg/L)) y más altas (C-4 (30 mg/L)) muestran una reducción moderada, con valores de 13.3 NTU y 7.8 NTU, respectivamente. Esto sugiere que la dosis intermedia es la más eficiente en la clarificación del agua.

Figura 16

Reducción de la Turbidez en el Tratamiento con Mucílago de Cactus

Comparado con los ECA



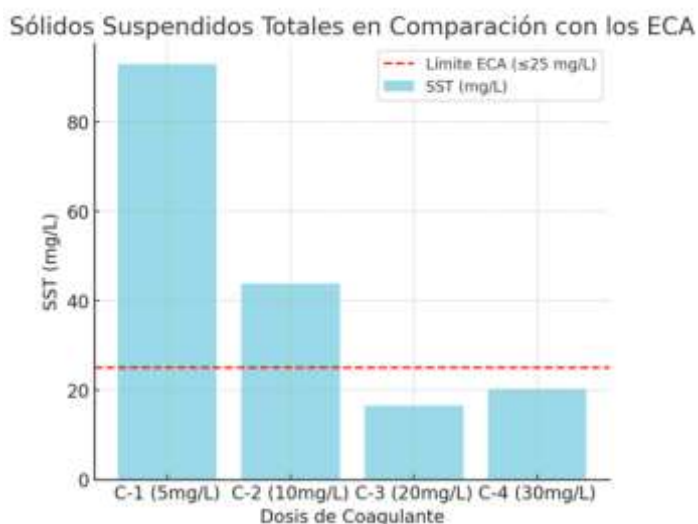
La Figura de Turbidez muestra que la cuantía de 20 mg/L (C-3) fue la más eficaz en la disminución de turbidez, alcanzando un valor de 3.0 NTU, que está cerca de los límites recomendados. Las dosis más bajas (C-1) y más altas (C-4)

muestran reducciones menos pronunciadas, con valores de 13.3 NTU y 7.8 NTU, respectivamente, lo que indica que dosis intermedias son más efectivas para eliminar las partículas suspendidas.

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/L):** Los SST también presentan una reducción significativa a medida que acrecienta la cuantía del coagulante. La dosis de C-3 (20 mg/L) muestra la mayor eficacia en la reducción de SST, con 16.5 mg/L, seguida por C-2 (10 mg/L) con 43.8 mg/L. Las dosis más bajas (C-1) y más altas (C-4) presentan reducciones menores, con 93.0 mg/L y 20.3 mg/L, proporcionalmente. Esto confirma que las cuantías intermedias son más efectivas en la eliminación de sólidos suspendidos.

Figura 17

Reducción de Sólidos Susp. Totales en el Tratamiento con Mucílago de Cactus Comparado con los ECA



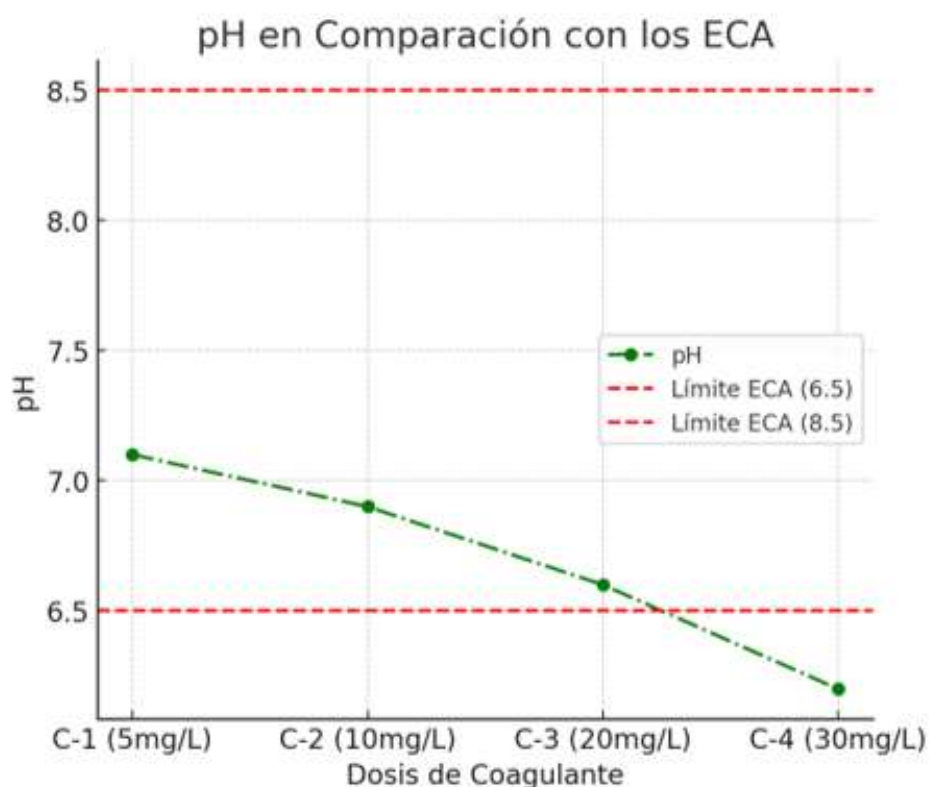
La Figura de Sólidos Suspendidos Totales (SST) muestra que la cuantía de 20 mg/L (C-3) es la más eficiente en la disminución de SST, con un valor de 16.5 mg/L, lo que muestra una mayor efectividad en la eliminación de SS. Las dosis más bajas (C-1) y más altas (C-4) presentan valores más altos de SST, 93.0

mg/L y 20.3 mg/L, relativamente, lo cual implica que las dosis intermedias son más eficaces en la eliminación de sólidos.

- **Potencial de hidrogeno (pH):** El pH muestra una ligera disminución con el aumento de la dosis de coagulante, con valores que varían de 7.1 en C-1 (5 mg/L) a 6.2 en C-4 (30 mg/L). Aunque el pH disminuye a medida que aumenta la dosis, todos los valores se mantienen dentro del rango autorizado para la calidad del agua (6.5 a 8.5), por lo que no se observa un impacto negativo significativo en el equilibrio ácido-base del agua.

Figura 18

Variación del pH en el Tratamiento con Mucílago de Cactus Comparado con los ECA



La Figura de pH muestra una ligera disminución del pH con el acrecentamiento de la cuantía del coagulante de mucílago de cactus, alcanzando su valor más bajo en C-4 (6.2). No obstante esta reducción, los

parámetros permanecen dentro del intervalo establecido por los ECA (6.5 - 8.5), lo que demuestra que el proceso de procesamiento no altera de manera significativa el equilibrio del pH del agua.

b. Coagulante Almidón de Maíz modificado con ácido fosfórico 5%

Tabla 11

Resultados del primer tratamiento con Almidón de Maíz

PARÁMETRO	UNIDAD	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Temperatura	°C	13.2	13.0	13.3	13.2
Turbidez	NTU	27.8	18.5	10.5	12.8
Solidos suspendidos totales	mg/L	120.5	90.4	65.4	82.0
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	6.8	6.9	6.7	6.3

Los resultados obtenidos con el coagulante natural de Almidón de Maíz modificado con ácido fosfórico muestran una ligera variabilidad en la temperatura (13.0°C - 13.3°C) que no influye en la eficacia del coagulante. En cuanto a la turbidez, se observa una disminución significativa con la dosis de 20 mg/L (M3), alcanzando el valor más bajo de 10.5 NTU, lo que indica una mayor eficacia en la eliminación de partículas suspendidas, mientras que las cuantías de 5 mg/L (M1) y 30 mg/L (M4) tienen una reducción más moderada. En términos de SST, la dosis de 20 mg/L (M3) también muestra la mayor eficacia (65.4 mg/L), mientras que las dosis más bajas y más altas presentan valores más altos. Finalmente, el pH muestra una ligera disminución en las dosis más altas, con el valor más bajo en M4 (6.3), aunque sigue estando dentro del rango aceptable para la calidad del agua. Estos resultados sugieren que las dosis intermedias de coagulante son más efectivas para reducir turbidez y SST, mientras que las altas dosis pueden afectar ligeramente el pH sin representar un riesgo significativo.

Tabla 12*Resultados del primer tratamiento con Almidón de Maíz*

PARÁMETRO	UNIDAD	RM - 1	RM - 2	RM - 3	RM - 4
Temperatura	°C	14.2	14.1	14.0	14.3
Turbidez	NTU	23.5	16.9	11.6	13.3
Solidos suspendidos totales	mg/L	132.4	98.4	70.4	87.4
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.2	7.0	6.8	6.4

Los resultados obtenidos con el coagulante de Almidón de Maíz modificado con ácido fosfórico muestran una ligera variabilidad en la temperatura, que se mantiene entre 14.0°C y 14.3°C, sin afectar significativamente los resultados. La turbidez reduce en la medida que acrecienta la cuantía, siendo la RM3 (20 mg/L) la más eficaz con 11.6 NTU, mientras que RM1 (5 mg/L) y RM4 (30 mg/L) muestran una reducción más moderada. En los SST, la dosis de 20 mg/L (RM3) también muestra la mayor eficacia (70.4 mg/L), y las dosis más altas y bajas son menos eficientes. El pH disminuye ligeramente a medida que se incrementa la dosis, alcanzando 6.4 en RM4, pero sigue estando dentro del rango aceptable para la calidad del agua. Estos resultados indican que las dosis intermedias son más efectivas para reducir la turbidez y los SST, mientras que dosis más altas pueden afectar el pH.

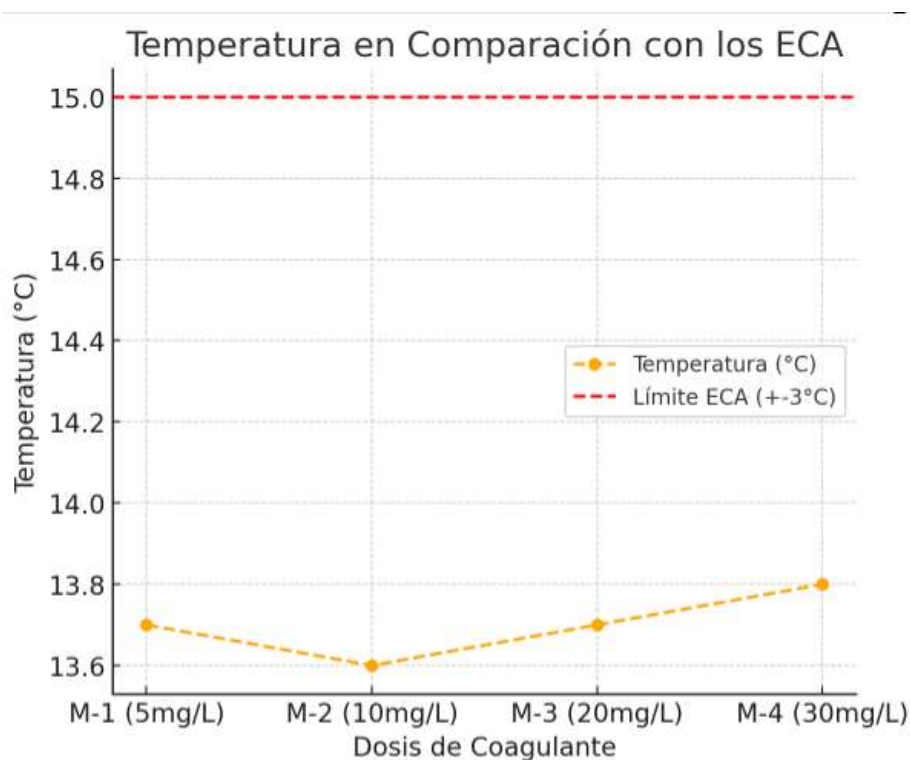
Figura 19*Promedio de resultados de tratamiento con Almidón de Maíz*

PARÁMETRO	UNIDAD	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Temperatura	°C	13.7	13.6	13.7	13.8
Turbidez	NTU	25.7	17.7	11.1	13.1
Solidos suspendidos totales	mg/L	126.5	94.4	67.9	84.7
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.0	7.0	6.8	6.4

- **Temperatura (°C):** Los resultados de temperatura muestran una ligera variabilidad entre 13.6°C y 13.8°C, lo que indica que la temperatura se mantuvo constante a lo largo del procesamiento con almidón de maíz modificado con ácido fosfórico, sin permutas significativos que consiguieran afectar los resultados de la eficiencia del coagulante.

Figura 20

Temperatura del Agua en el Tratamiento con Almidón de Maíz Comparado con los ECA

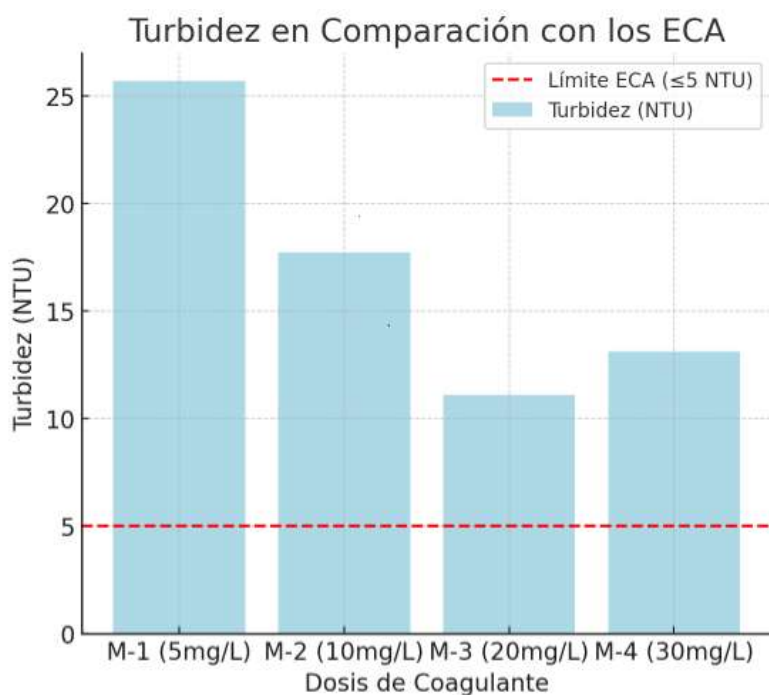


La Figura de Temperatura muestra que los valores de temperatura del agua durante el procesamiento con almidón de maíz modificado con ácido fosfórico se mantienen constantes, oscilando entre 13.6°C y 13.8°C, lo que indica una ligera variabilidad que no afecta significativamente el procesamiento. Estos valores están dentro del rango reconocido por los ECA, que permiten una variación de $\pm 3^{\circ}\text{C}$, sugiriendo que el coagulante no tiene un impacto térmico negativo en el agua.

- **Turbidez (NTU):** La turbidez muestra una reducción clara en la medida que acrecienta la cuantía del coagulante, con la dosis de 20 mg/L (M-3) siendo la más eficaz, alcanzando un valor de 11.1 NTU. Las dosis más bajas (M-1, 5 mg/L) y más altas (M-4, 30 mg/L) muestran reducciones moderadas de 25.7 NTU y 13.1 NTU, respectivamente, lo que sugiere que las dosis intermedias son las más efectivas para excluir los átomos suspendidos en el H₂O.

Figura 21

Turbidez del Agua en el Tratamiento con Almidón de Maíz Comparado con los ECA

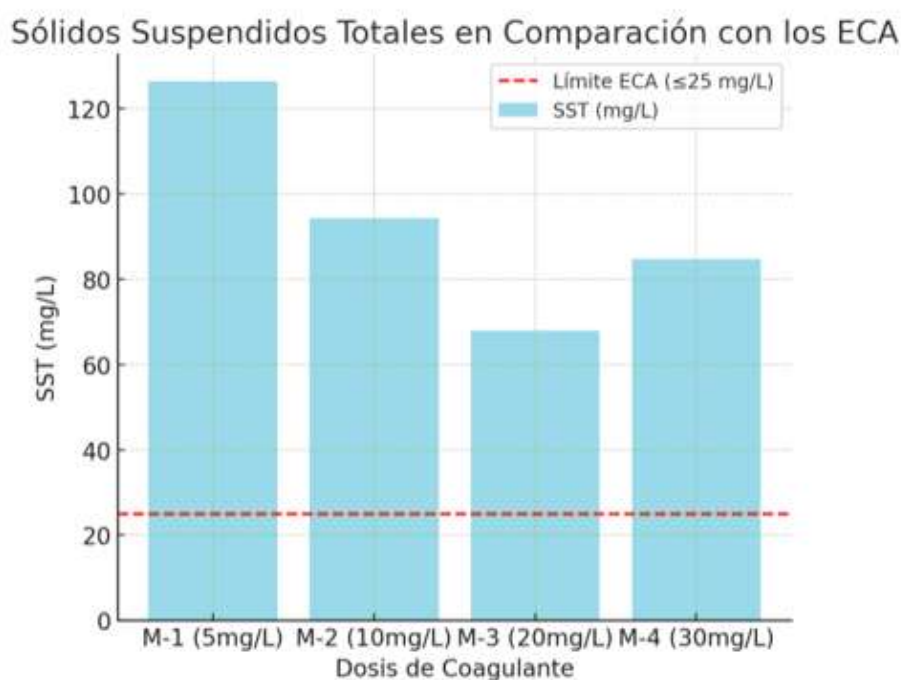


El gráfico de turbidez muestra que la cuantía de 20 mg/L (M-3) es la más eficiente en la deflación de turbidez, consiguiendo un valor de 11.1 NTU. Sin embargo, todos los valores de turbidez siguen siendo superiores al límite recomendado por los ECA (≤ 5 NTU), lo que sugiere que, aunque la dosis intermedia es más eficiente, no se alcanza el estándar de calidad deseado para este parámetro.

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/L):** Los SST también disminuyen con el aumento de la dosis, alcanzando la mayor reducción en M-3 (20 mg/L) con 67.9 mg/L. Las dosis más bajas (M-1, 5 mg/L) y más altas (M-4, 30 mg/L) muestran valores de 126.5 mg/L y 84.7 mg/L, relativamente, lo cual implica que las dosis intermedias son las más efectivas para eliminar los sólidos suspendidos.

Figura 22

Reducción de Sólidos Susp. Totales en el Tratamiento con Almidón de Maíz Comparado con los ECA

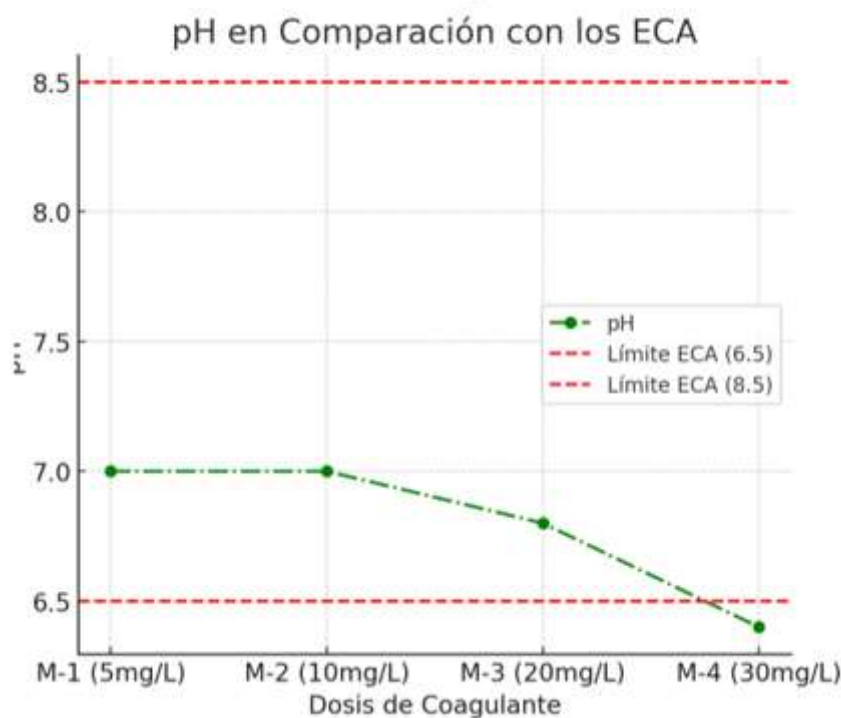


En el gráfico de SST, la dosis de 20 mg/L (M-3) muestra la mayor eficacia en la deflación de SS (67.9 mg/L). Las cuantía más elevada y bajas (30 mg/L - M-4 y 5 mg/L - M-1) muestran una reducción menos eficiente. A pesar de la reducción, todos los valores siguen por encima del límite ECA para los SST (≤ 25 mg/L), lo cual muestra que el coagulante no logra reducir completamente los sólidos suspendidos al nivel deseado.

- **Potencial de hidrogeno (pH):** El pH muestra una ligera disminución con el aumento de la cuantía de congelador, con valores de 7.0 en M-1 y M-2, y 6.8 en M-3, alcanzando el valor más bajo de 6.4 en M-4. Pese de la disminución, los valores se conservan adentro del rango permitido para la calidad del agua, lo que indica que el procesamiento no genera un impacto negativo significativo en el equilibrio ácido-base del agua.

Figura 23

Variación del pH en el Tratamiento con Almidón de Maíz Comparado con los ECA



El gráfico de pH muestra que, con el acrecentamiento de la cuantía de congelador, el pH tiende a disminuir ligeramente, alcanzando el valor más bajo de 6.4 en la dosis de 30 mg/L (M-4). Empero, todos los valores se mantienen adentro del rango permitido por los ECA (6.5 a 8.5), lo que indica que el coagulante no afecta elocuentemente el equilibrio ácido-base del agua.

c. Comparación de la eficiencia de coagulantes

Tabla 13

Comparación del porcentaje de remoción de coagulantes naturales

COAGULANTE NATURAL MUCILAGO DE CACTUS MODIFICADO CON ACIDO FOSFORICO AL 5%					
PARÁMETRO	UNIDAD	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4
Turbidez	%	64.5	76.3	92.0	79.2
Solidos suspendidos					
totales	%	38.1	70.9	89.0	86.5

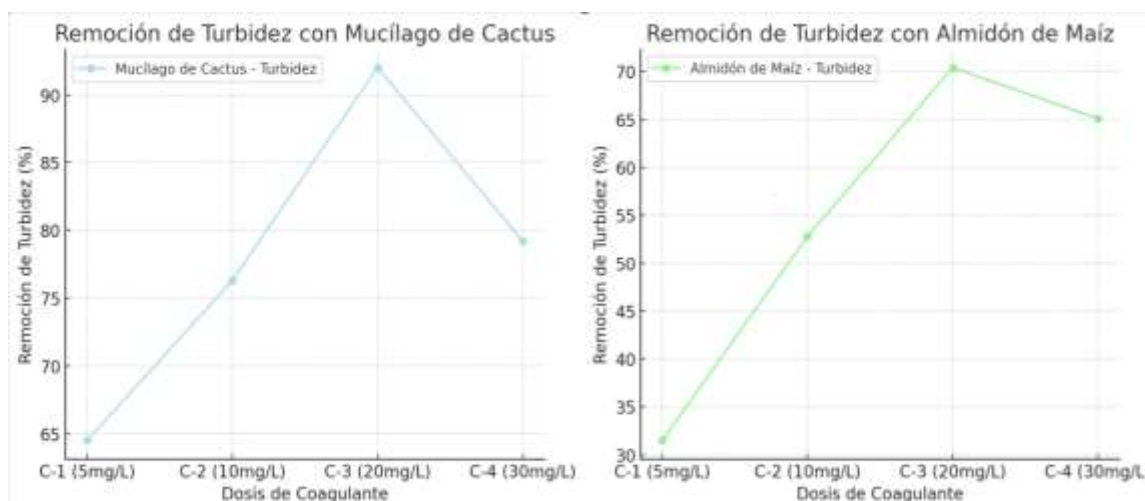
COAGULANTE NATURAL ALMIDON DE MAIZ MODIFICADO CON ACIDO FOSFORICO AL 5%					
PARÁMETRO	UNIDAD	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Turbidez	%	31.5	52.8	70.4	65.1
Solidos suspendidos					
totales	%	15.8	37.2	54.8	43.6

- **Turbidez:** Los hallazgos enseñan que el coagulante de mucílago de cactus posee una mayor eficiencia en la separación de turbidez en cotejo con el almidón de maíz modificado con ácido fosfórico. El mucílago de cactus muestra altos porcentajes de separación: la cuantía de 20 mg/L (C-3) alcanza una separación del 92.0%, con las cuantías de 5 mg/L (C-1) y 30 mg/L (C-4) también mostrando buenos resultados (64.5% y 79.2%, respectivamente). En cambio, el almidón de maíz tiene una remoción más baja, con el 20 mg/L (M-3) mostrando una remoción del 70.4%, pero las dosis más bajas (M-1, 5 mg/L) y más altas (M-4, 30 mg/L) presentan remociones de 31.5% y 65.1%,

respectivamente. Esto sugiere que el mucílago de cactus es más eficiente en reducir la turbidez en el agua, especialmente a dosis intermedias.

Figura 24

Comparación de la Remoción de Turbidez con Mucílago de Cactus y Almidón de Maíz Modificado con Ácido Fosfórico



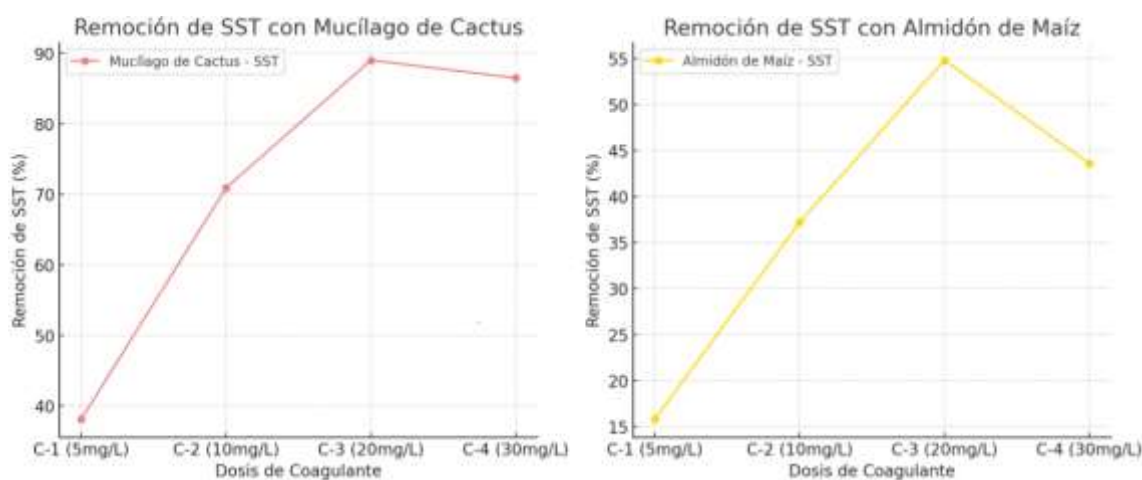
Según los gráficos que se muestran el mucílago de cactus demuestra ser más eficaz en la separación de turbidez en cotejo con la fécula de maíz modificado con ácido fosfórico. En la cuantía de 20 mg/L (C-3), el mucílago de cactus logra una remoción del 92%, mientras que el almidón de maíz alcanza solo 70.4%. Aunque ambas dosis más altas (30 mg/L) muestran una remoción significativa, el mucílago de cactus mantiene una mayor eficacia a través de todas las dosis aplicadas. Esta mayor eficiencia del mucílago de cactus se debe a sus propiedades naturales floculantes y su capacidad para adsorber partículas suspendidas. Los polisacáridos del mucílago favorecen la alineación de flóculos que se precipitan rápidamente, y su alta área superficial facilita la captación de partículas finas. Además, su viscosidad es ideal para mejorar la coagulación sin generar resistencia, lo que lo hace efectivo incluso a dosis más bajas. En

contraste, el almidón de maíz modificado con ácido fosfórico requiere dosis más altas para lograr una separación similar de turbidez.

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Con respecto a los SST, el mucílago de cactus también muestra una mayor eficiencia que el almidón de maíz. El mucílago de cactus alcanza una remoción del 89% en la dosis de 20 mg/L (C-3), con un buen desempeño también en las cuantías de 30 mg/L (C-4) y 10 mg/L (C-2), con 86.5% y 70.9%, respectivamente. En contraste, el almidón de maíz tiene una remoción significativamente menor, alcanzando solo 54.8% en la dosis de 20 mg/L (M-3) y 43.6% en la cuantía de 30 mg/L (M-4). Esto muestra que el mucílago de cactus es más eficaz para eliminar SS en el H₂O en comparación con el almidón de maíz modificado con ácido fosfórico.

Figura 25

Comparación de la Remoción de Turbidez con Mucílago de Cactus y Almidón de Maíz Modificado con Ácido Fosfórico



Los gráficos de sólidos suspendidos totales (SST) muestran que el mucílago de cactus es más efectivo en su separación en comparación con la fécula de maíz modificado con ácido fosfórico. En la cuantía de 20 mg/L (C-3), el mucílago de cactus logra una remoción del 89%, mientras que el almidón de



maíz alcanza solo un 54.8%. El mucílago de cactus es más eficaz a causa de sus propiedades floculantes naturales y su cabida para formar flóculos rápidamente sedimentables, mientras que el almidón de maíz requiere dosis más altas para lograr una remoción similar.

Objetivo específico 3: Analizar la viabilidad técnica y económica de la aplicación de los coagulantes naturales modificados en el tratamiento de aguas del río Coata.

Con el fin de alcanzar el objetivo planteado, se realizó una investigación minuciosa de la viabilidad técnica y mercantil del uso de los coagulantes nativos modificados (almidón de maíz y mucílago de cactus) en el procesamiento de aguas del río Coata.

a. Análisis Técnico

El análisis técnico incluyó pruebas de laboratorio y de campo para valorar la efectividad de los congeladores nativos en la separación de turbidez y SST. Los hallazgos enseñaron que el mucílago de cactus fue más efectivo que el almidón de maíz modificado con ácido fosfórico, especialmente a dosis intermedias, alcanzando una remoción del 92% en turbidez y 89% en SST en la dosis de 20 mg/L (C-3). En comparación, el almidón de maíz mostró una remoción de 70.4% en turbidez y 54.8% en SST en la misma dosis.

Conjuntamente, se evaluaron las particularidades del H₂O del río Coata, como la turbidez, los SST y el pH, para determinar cómo los coagulantes naturales interactúan con estas propiedades. El análisis reveló que ambos coagulantes fueron efectivos en el perfeccionamiento de la condición del H₂O, pero el mucílago de cactus mostró una mayor capacidad de floculación y sedimentación de las partículas



b. Análisis Económico

En cuanto a la viabilidad económica, se realizaron estimaciones de los costes de elaboración y aplicación de los coagulantes naturales. Se consideraron los costos de extracción, modificación y procesamiento del mucílago de cactus y almidón de maíz, así como los costos operativos asociados con el procesamiento de H₂O. Los hallazgos indicaron que, aunque el mucílago de cactus tiene costos ligeramente más altos debido a su recolección, sigue siendo competitivo en comparación con los coagulantes comerciales, que requieren procesos más costosos y el uso de productos químicos sintéticos.

También se compararon los costos de procesamiento a gran escala, demostrando que el uso de coagulantes naturales no solo es más económico a largo plazo, sino que también tiene un impacto ambiental positivo, ya que reduce la sumisión de productos químicos industriales y fomenta la usanza de recursos locales.



4.2. DISCUSIONES

En el análisis de los hallazgos conseguidos en este estudio y la revisión de los antecedentes disponibles, se puede ver que el mucílago de cactus y el almidón de maíz modificado con ácido fosfórico son coagulantes nativos eficaces en la separación de turbidez y SST, lo cual concuerda con análisis anteriores sobre el uso de coagulantes naturales. Según Koul et al. (2022), los congeladores nativos muestran ventajas significativas sobre los coagulantes químicos, como ser económicos, biodegradables y no tóxicos, características que fueron corroboradas en esta investigación al obtener altas eficiencias en la deflación de turbidez y los SST, con el mucílago de cactus mostrando la mayor eficiencia comparado con el almidón de maíz. Estos resultados son consistentes con el estudio de Choudhary et al. (2019), donde el mucílago de *Opuntia ficus-indica* consiguió una separación del 98% de turbidez, lo que respalda la alta cabida floculante de los mucílagos nativos. En este estudio, el mucílago de cactus consiguió una separación de turbidez del 92%, lo que demuestra su alta capacidad como opción frente a los coagulantes tradicionales.

Además, los datos de esta evaluación son consistentes con los hallazgos de Vidal et al. (2014), quienes sugieren que los almidones modificados como el de malanga tienen un rendimiento similar a los congeladores químicos tradicionales en la separación de turbidez, lo que se refleja en la capacidad del almidón de maíz modificado, que alcanzó una remoción del 70.4% en turbidez, y 54.8% en SST, demostrando su efectividad, aunque inferior al mucílago de cactus.

En cuanto a la viabilidad económica, los resultados coinciden con los planteamientos de Jiménez & Vladimir (2015), quienes destacan que el almidón



de maíz, al ser un recurso abundante y de bajo costo, puede ser una elección viable y mercantil para el procesamiento de agua, ya que ofrece un rendimiento comparable al sulfato de Al. Sin embargo, en este estudio, se evidenció que, aunque el almidón de maíz es económico, el mucílago de cactus mostró una mayor efectividad técnica en la separación de turbidez y SST, lo que podría justificar un pequeño incremento en su costo, ya que su eficiencia podría llevar a una merma en la magnitud de coagulante necesario para el procesamiento del H₂O.

El análisis técnico y económico también se relaciona con los estudios de Stuart & Isabel (2020) y Alfaro & Walde (2024), que han demostrado que los coagulantes naturales no solo son efectivos, sino también sostenibles y con un mínimo impacto ambiental en cotejo con los químicos tradicionales. Este enfoque sostenible es respaldado por la alta eficiencia del mucílago de cactus, que se posiciona como una alternativa viable no solo en términos de efectividad, sino también como una opción más ecológica y rentable.

Finalmente, los estudios realizados por Quispe & Condori (2020) y Morales (2018) subrayan la importancia de buscar alternativas locales a los congeladores químicos, y en este argumento, el mucílago de cactus representa una opción prometedora, especialmente en regiones con ingreso limitado a productos químicos y donde los recursos naturales locales pueden ser aprovechados para optimar la condición del H₂O.

En resumen, los hallazgos conseguidos en esta investigación confirman que los coagulantes naturales modificados, especialmente el mucílago de cactus, ofrecen una solución segura y sostenible para el procesamiento de H₂O.



CONCLUSIONES

PRIMERA: La usanza de coagulantes naturales modificados como el mucílago de cactus y el almidón de maíz es eficaz en la reducción de turbidez y SS en el afluyente Coata. El mucílago de cactus demostró ser más eficiente, y ambos coagulantes son técnicamente viables y económicamente rentables, ofreciendo una solución sostenible y rentable para optimar la condición del H₂O en la región.

SEGUNDA: Los hallazgos enseñan que las H₂O del afluyente Coata enseñan una turbidez elevada, especialmente en la zona intermedia, con valores de 37.5 NTU y sólidos suspendidos totales más altos en ese punto (150.3 mg/L), lo que refleja el impacto de las diligencias humanas. La temperatura y el pH se conservaron dentro de los rangos normales, lo que enseña una calidad de agua moderada en términos generales.

TERCERA: El mucílago de cactus demostró ser más eficiente que la fécula de maíz modificado en la erradicación de turbidez y SST. En la dosis de 20 mg/L, el mucílago de cactus alcanzó 92% en turbidez y 89% en SST, mientras que el almidón de maíz alcanzó solo 70.4% en turbidez y 54.8% en SST, evidenciando que el mucílago de cactus es más efectivo en el procesamiento de las H₂O del afluyente Coata.

CUARTA: El análisis técnico y económico demostró que los coagulantes nativos modificados son viables para el procesamiento de aguas



del afluente Coata. El mucílago de cactus es el más eficaz y, aunque su costo de producción es ligeramente mayor que el almidón de maíz, ambos coagulantes son económicamente rentables y proporcionan una alternativa sustentable y rentable para el tratamiento del H₂O en la región.



RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Ampliar la investigación incluyendo demás coagulantes nativos aprovechables en la región, como mucílago de otras plantas locales, para comparar su eficiencia y sostenibilidad frente al mucílago de cactus y almidón de maíz.
- SEGUNDA:** Se sugiere ejecutar estudios añadidos para optimar las cuantías de aplicación y las condiciones operativas (tiempo de contacto, pH, temperatura) en diferentes tipos de H₂O, para maximizar la eficiencia de los coagulantes nativos en condiciones variables.
- TERCERA:** Se insinúa la ejecución de un proyecto piloto a escala real en comunidades cercanas al río Coata, para valorar la viabilidad técnica y económica de los coagulantes nativos en condiciones reales de procesamiento de H₂O a gran escala.
- CUARTA:** Realizar un análisis detallado sobre el impacto circunstancial de la aplicación y la producción de estos coagulantes naturales modificados, evaluando la posible bioacumulación de los residuos del procesamiento en el ecosistema acuático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, E. A., Juárez-García, E., Evangelista-Lozano, S., Rosales-Reynoso, O. L., & Bello-Pérez, L. A. (2013). Propiedades del almidón de maíz y su asociación con las enzimas implicadas en su proceso de biosíntesis. *Agrociencia*, 47(1), 01-12. <https://shre.ink/oZNZ>
- Aguilar, M. I. (2022). *Procesamiento físico-químico de aguas remanentes: Coagulación-floculación*. EDITUM.
- Alfaro, E. A. C., & Walde, A. A. F. (2024). *Aplicación de coagulantes de origen natural extraídos del cactus de tuna y del plátano para el tratamiento y potabilización de las aguas del Río Huaura durante el año 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrión]. <https://shre.ink/oZNL>
- ANA, A. N. del A. (2017). *Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua*. <https://shre.ink/oZNq>
- APHA, A. G. (2017). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales AHPA - AWWA - WPCF* (17.^a ed.). Dias de Santos.
- Bedoya, A. G., & Clemente, A. R. (2024). *Coagulant and flocculant effect of Opuntia ficus-indica in water treatment*. <https://hdl.handle.net/10495/41513>
- Blanco, Y. D., Menchaca Campos, E. C., Rocabruno Valdés, C. I., & Uruchurtu Chavarín, J. (2019). Natural additive (nopal mucilage) on the electrochemical properties of concrete reinforcing steel. *Revista ALCONPAT*, 9(3), 260-276. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i3.429>
- Camasca, J. D. A. (2024). Disminución de la turbiedad en aguas residuales de origen minero en la compañía aurífera Retamas mediante la aplicación de



procesos de coagulación y floculación durante el período 2022-2023.

Universidad Continental. <https://shre.ink/oZNs>

Carvajal, M. A. V. (2023). *Síntesis de un coagulante de origen natural funcionalizado con nanopartículas magnéticas para la remediación de aguas con presencia de mercurio [Trabajo de titulación de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]*. <https://shre.ink/oZNQ>

Chaquea, M. Y. (2017). *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Ediciones USTA.

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. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.033>

Díaz, P. B. (2013). *Polución de aguas de superficie por restos de plaguicidas en Venezuela y otros países de latinoamérica*.

FENGCHEN. (2020). *Productores y distribuidores de almidón de maíz pregelatinizado Pregeltine 99.9% en calidad farmacéutica, presentaciones en polvo y granular—Cotización—Fengchen*. <http://www.fengchengroup.org/excipients/popular-excipients/pregelatinized-corn-starch-maize-starch.html>

Fernandez, R. (2022). *Sedimentación/Aguas*. <https://shre.ink/oZNU>

Janna, H. (2021). Eficacia de materiales naturales como coagulantes para la disminución de la turbiedad en el tratamiento de aguas. *Revista Mundial de Ingeniería y Tecnología*, 04(04), Article 04. <https://doi.org/10.4236/wjet.2016.44050>



- Jiménez, D., & Vladimir, B. (2015, febrero). *Evaluación del almidón de maíz como opción sostenible en el tratamiento de agua potable humano* [Monografía]. Universidad de Nariño. <https://sired.udenar.edu.co/1123/>
- Koul, B., Bhat, N., Abubakar, M., Mishra, M., Arukha, A. P., & Yadav, D. (2022). Application of Natural Coagulants in Water Treatment: A Sustainable Alternative to Chemicals. *Water*, 14(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/w14223751>
- Laurente, D. H. (2024). *Eliminación de parámetros fisicoquímicos contaminantes en aguas residuales de origen doméstico a escala experimental, utilizando un proceso combinado de coagulación, floculación y adsorción* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://shre.ink/oZVh>
- Madrid, E., Sampedro, M. L., Maganda, M. del C., Juárez, A. L., Reyes, M., & González, J. (2025). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del agua en la cuenca hidrográfica del río Atoyac, ubicada en el estado de Guerrero, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 16(4), Article 4. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2025-04-07>
- Manuel, G. (2023). *El agua*. Fondo de Cultura Económica.
- Marcó, L., Azario, R., & Metzler, C. (2024). *La turbiedad como parámetro fundamental para evaluar la calidad del agua potable obtenida de fuentes superficiales. Recomendaciones basadas en el análisis del sistema de tratamiento y distribución de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina)*.
- Mirabal, H. T. (2024). Análisis comparativo de dos metodologías para estimar el margen de error en la cuantificación de sólidos suspendidos totales. *Revista*



Peruana de Ingeniería, *Arquitectura y Medio Ambiente*, 1(2), Article 2.

<https://doi.org/10.37711/repiama.2024.1.2.2>

Morales, S. B. V. (2018). *Cuantificación de la reducción de turbiedad en agua del río Ayaviri en la zona de toma para abastecimiento humano utilizando polímero de goma de tara—Puno, 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. <https://shre.ink/oZV5>

Pardo, S. B., Moncada, D. K. V., Martínez, L. R., & Ayala, S. L. G. (2020, enero 1). *Evaluación de coagulantes naturales en la clarificación de aguas*. <https://doi.org/10.22490/21456453.3081>

Quispe, D. C., Choque-Quispe, Y., Solano-Reynoso, A. M., & Ramos-Pacheco, B. S. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el procesamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309. <https://shre.ink/oZVe>

Quispe, L. Y., & Condori, M. F. (2020). *Empleo de agentes coagulantes de origen natural como opción sostenible para la disminución de la turbiedad en medios acuosos. Una revisión*. <https://shre.ink/oZVr>

Ramírez, C. A. S. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.

RAPAL. (2010). *Polución y eutrofización del agua*. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/08/ContaminacionEutrofizacionAgua.pdf>

Silvan, R. S., Laines Canepa, J. R., & Hernández Barajas, J. R. (2012). Combinaciones de sustancias con capacidad coagulante para la clarificación de aguas de origen superficial. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3), 229-236. <https://shre.ink/oZVQ>



- Stuart, D. A., & Isabel, T. I. V. (2020). *Evaluación del rendimiento de polímeros naturales derivados de mucílago y almidones como agentes coagulantes-floculantes en procesos de purificación de agua*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://shre.ink/oZVI>
- Tejada, A. Me. S. de. (2019). *Polución por microplástico en un lago endorreico de tierras bajas: El caso de Petén Itzá* [Tesis de pregrado]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Vega, S. A. D. L. C. (2023). Análisis de las características físico-mecánicas de bloques de adobe con incorporación de mucílago de nopal como aditivo natural (*Opuntia spp.*), Huaura, Lima, 2022. *Repositorio Institucional - UNS*. <https://shre.ink/oZwY>
- Vélez, F. R. C., Carbo, L. R. C., Peñafiel, T. A. R., & Peñafiel, C. A. R. (2025). Calidad del agua en ríos costeros de Ecuador y su relación con la contaminación tras inundaciones. *Polo del Conocimiento*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i7.10038>
- Vidal, L., Laines-Canepa, J. R., Hernández-Barajas, J. R., & Aparicio-Trápala, M. A. (2014). <https://shre.ink/oZwz>. *Revista mexicana de ingeniería química*, 13(3), 855-863. <https://shre.ink/oZwV>
- Villalobos, K. A. A. (2020). *Análisis de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del agua superficial y su correlación con factores socioambientales en la zona alta de la microcuenca del Río Poás*. <http://hdl.handle.net/11056/21681>
- Villanueva, C. C. (2022). Interconexión hidrológica entre los recursos hídricos superficiales y subterráneos en una cuenca hidrográfica. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 56-63. <https://shre.ink/oZwX>



Zevallos, M. O. G., Murillo, V. P., Carrizales, T. Q., Núñez, M. E. T., & Paredes, F. E. H. (2020). Procesamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el lavado de lana dentro de una planta textil arequipeña. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(4), Article 4. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i4.312>



ANEXOS



ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
<p>¿Qué impacto tienen los coagulantes naturales modificados en la reducción de la turbidez y los sólidos suspendidos en las aguas del río Coata?</p>	<p>Evaluar la eficacia de los coagulantes naturales modificados en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos en aguas del río Coata 2025</p>	<p>La aplicación de coagulantes naturales modificados en el tratamiento de las aguas del río Coata será eficaz en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos, mejorando la calidad del agua de manera comparable a los coagulantes tradicionales, con ventajas adicionales en términos de sostenibilidad y costos.</p>	<p>Variable independiente (Vi) tipo de coagulante natural modificado</p> <p>(Vi) Concentración del coagulante</p> <p>(Vi) Tiempo de contacto</p>	<p>Tipo de investigación. El actual estudio corresponde al tipo de investigación aplicada, pues se centra en la solución de un problema práctico relacionado con la condición del H2P del afluente Coata.</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>1) ¿Cuáles son las características físico – químicas del agua, como el pH, la turbidez y los solidos suspendidos del río Coata?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>1) Determinar las características fisicoquímicas de las aguas del río Coata, como turbidez, pH y solidos suspendidos totales.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICA</p> <p>1) Las aguas del río Coata presentan altos niveles de turbidez y sólidos suspendidos, los cuales afectan negativamente su calidad, lo que justifica la necesidad de un</p>	<p>Variable dependiente (Vd) turbidez</p> <p>(Vd) Sólidos suspendidos totales</p>	<p>Enfoque de la investigación</p> <p>El estudio se enmarca en un paradigma cuantitativo, ya que empleará técnicas de experimentación para la recolección de información numérica relativa a la turbiedad, los SS y la dosificación de los</p>



2) ¿Cuál es la eficacia comparativa de los coagulantes naturales modificados (Almidón de Maíz y mucílago de cactus) en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos en las aguas del río Coata?

3) ¿Será viable técnica y económicamente aplicar los coagulantes naturales modificados en el tratamiento de aguas del río Coata?

2) Evaluar y comparar la eficacia de los coagulantes naturales modificados (Almidón de Maíz y mucílago de cactus) en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos en las aguas del río Coata

3) Analizar la viabilidad técnica y económica de la aplicación de los coagulantes naturales modificados en el tratamiento de aguas del río Coata.

tratamiento eficiente para mejorar su calidad.

2) Los coagulantes naturales modificados (Almidón de Maíz y mucílago de cactus) reducirán significativamente la turbidez y los sólidos suspendidos en las aguas del río Coata, siendo el mucílago de cactus

3) La aplicación de los coagulantes naturales modificados será técnicamente viable en el tratamiento de aguas del río Coata y tendrá un costo unitario inferior al de los coagulantes tradicionales

coagulantes utilizados. Diseño de la investigación

El actual estudio posee un carácter descriptivo y explicativo. Inicialmente, se detallan los atributos fisicoquímicos del agua del afluente Coata, incluyendo parámetros como la turbiedad, el potencial de hidrógeno y la reunión de sólidos en suspensión.



ANEXO 2 RESULTADOS



LAQUAMEQ E.I.R.L. LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 07725A

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE : CLIVER IVAN MAMANI SUMARI

PROYECTO : APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SOLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RIO COATA 2025

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua natural - Superficial
Numero de muestras : 03
Fecha de análisis : 17/07/25
Muestreado por : El cliente

Código, ubicación, fecha de muestreo:

Código	Dist. /Prov./Depart.	Ubicación	Fecha de muestreo
P – 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 397475.23 N: 82899218.10	16/07/2025
P – 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 3974361.124 N: 82899361.205	16/07/2025
P – 3	Juliaca/San Román/Puno	E: 3965734.221 N: 8288712.482	16/07/2025

MÉTODO DE ENSAYO

N°	PARAMETRO	UNIDAD	MÉTODO
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo
2	Turbidez	NTU	Método Nefelométrico
3	Solidos suspendidos totales	mg/L	SM 2540 D solidos totales en suspensión secados a 103 -105 °C
4	Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	SM 4500 – H



Jr. Deístua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L. LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

RESULTADOS

Nº	PARAMETRO	UNIDAD	P - 1	P - 2	P - 3
1	Temperatura	°C	14.3	14.6	14.8
2	Turbidez	NTU	8.5	37.5	12.5
3	Sólidos suspendidos totales	mg/L	38.6	150.3	42.8
4	Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.3	7.8	7.5

OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió

Fecha de emisión
31 - 07 - 2025


LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Ing. Karín Kelly Quispe Quispe
CIP. 194084
GERENTE

Jr. Deustua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno - San Román - Juliaca
www.laquameq.com - Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L. LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ - 07725B

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE : CLIVER IVAN MAMANI SUMARI

PROYECTO : APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua natural - Superficial
Numero de muestras : 08
Fecha de análisis : 21/07/25
Muestreado por : El cliente

Código, ubicación, fecha de muestreo:

Código	Dist. /Prov./Depart.	Ubicación	Fecha de muestreo
M - 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379433.612 N: 8285462.954	21/07/2025
M - 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379433.612 N: 8285462.954	21/07/2025
M - 3	Juliaca/San Román/Puno	E: 379433.612 N: 8285462.954	21/07/2025
M - 4	Juliaca/San Román/Puno	E: 379433.612 N: 8285462.954	21/07/2025

MÉTODO DE ENSAYO

N°	PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo
2	Turbidez	NTU	Método Nefelométrico
3	Sólidos suspendidos totales	mg/L	SM 2540 G Método gravimétrico
4	Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	SM 4500 - H



Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno - San Román - Juliaca
www.laquameq.com - Cel. 920869679 - 979265920

**LAQUAMEQ E.I.R.L.**
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL**RESULTADOS**

Nº	PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
1	Temperatura	°C	13.2	13.0	13.3	13.2
2	Turbidez	NTU	27.8	18.5	10.5	12.8
3	Sólidos suspendidos totales	mg/L	120.5	90.4	65.4	82.0
4	Potencial de hidrógeno	Unid. de pH	6.8	6.9	6.7	6.3

Nº	PARAMETRO	UNIDAD	RM - 1	RM - 2	RM - 3	RM - 4
1	Temperatura	°C	14.2	14.1	14.0	14.3
2	Turbidez	NTU	23.5	16.9	11.6	13.3
3	Sólidos suspendidos totales	mg/L	132.4	98.4	70.4	87.4
4	Potencial de hidrógeno	Unid. de pH	7.2	7.0	6.8	6.4

OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió

Fecha de emisión
31 - 07 - 2025

 **LAQUAMEQ E.I.R.L.**
LABORATORIO Y EQUIPOS
Karen Kelly Quispe Quispe
Ing. Karen Kelly Quispe Quispe
CIP. 194084
GERENTE

Jr. Deístua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno - San Román - Juliaca
www.laquameq.com - Cel. 920869679 - 979265920

**LAQUAMEQ E.I.R.L.**
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL**INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 07725C****DATOS DEL SERVICIO****SOLICITANTE** : CLIVER IVAN MAMANI SUMARI**PROYECTO** : APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025**DATOS DEL ENSAYO****Producto** : Agua natural - Superficial
Numero de muestras : 08
Fecha de análisis : 24/07/25
Muestreado por : El cliente**Código, ubicación, fecha de muestreo:**

Código	Dist. /Prov./Depart.	Ubicación	Fecha de muestreo
C – 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379433.612 N: 8285462.954	23/07/2025
C – 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379433.612 N: 8285462.954	23/07/2025
C – 3	Juliaca/San Román/Puno	E: 379433.612 N: 8285462.954	23/07/2025
C – 4	Juliaca/San Román/Puno	E: 379433.612 N: 8285462.954	23/07/2025

MÉTODO DE ENSAYO

N°	PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo
2	Turbidez	NTU	Método Nefelométrico
3	Sólidos suspendidos totales	mg/L	SM 2540 G Método gravimétrico
4	Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	SM 4500 – H



Jr. Deístua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920

**LAQUAMEQ E.I.R.L.**
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL**RESULTADOS**

Nº	PARAMETRO	UNIDAD	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4
1	Temperatura	°C	14.6	14.7	14.5	14.7
2	Turbidez	NTU	12.0	8.4	3.3	8.8
3	Solidos suspendidos totales	mg/L	90.5	46.3	15.7	18.4
4	Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.0	6.8	6.5	6.1

Nº	PARAMETRO	UNIDAD	RC - 1	RC - 2	RC - 3	RC - 4
1	Temperatura	°C	15.5	15.5	15.4	15.5
2	Turbidez	NTU	14.6	9.4	2.7	6.7
3	Solidos suspendidos totales	mg/L	95.4	41.2	17.2	22.2
4	Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.2	7.0	6.7	6.3

OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió

Fecha de emisión
31 - 07 - 2025

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Ing. Karín Kelly Quispe Quispe
CIP. 194084
GERENTE

Jr. Deístua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno - San Román - Juliaca
www.laquameq.com - Cel. 920869679 - 979265920

ANEXO 3 PANEL FOTOGRÁFICO

Toma de muestra



Análisis de parámetros insitu



Obtención de coagulantes naturales



Tratamiento en tes de jarras





ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 09 - 10 - 2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: CLIVER IVAN MAMANI SUMARI

Dirección: COM. MIRAFLORES

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 47837264

Teléfono: 935401236 email: l6van6@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: APLICACIÓN DE COAGULANTES NATURALES MODIFICADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUAS PROVENIENTES DEL RÍO COATA 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): TURBIDEZ MUCÍLAGO ALMIDON DE MAÍZ

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Titulo 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

Sí autorizo que se deposite inmediatamente.
 Sí autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo
 No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

- Internacional
- Nacional

Línea de investigación: SANEAMIENTO AMBIENTAL - P22

Firma de Autor



huella digital

09 - 10 - 2025

Fecha