



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA

PROVEIDO 000841-2026-UNH/FCI

EXPEDIENTE : **2026-0010384**

ASUNTO: DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS, MEDIANTE
ACTO RESOLUTIVO

REFERENCIA : OFICIO Nº 000262-2026-EPIAS DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS, MEDIANTE
ACTO RESOLUTIVO

FECHA

13/05/2026

Atender en 0 días

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNIDAD FUNCIONAL DE SECRETARIA DOCENTE - FCI SÁEZ HUAMÁN WILFREDO	ATENDER	NORMAL	

**SANCHEZ ARAUJO VICTOR GUILLERMO
DECANO(A)**



UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICAESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIAFirmado digitalmente por DUEÑAS
JURADO Carlos FAU 20168014962
soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 13.05.2026 08:28:56 -05:00"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 13 de Mayo del 2026

OFICIO N° 000262-2026-UNH/EPIAS

Señor (a):

ALCIDADES MERINO CARHUAPOMA
DECANO(A)Presente. -Asunto: DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS, MEDIANTE
ACTO RESOLUTIVO.

Referencia: INFORME 000017-2026-UNH/UFGGT-EPIAS (5MAY2026)

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted, para hacerle llegar el saludo cordial a nombre de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y el mío propio, en atención al documento de la referencia, solicito la aprobación mediante acto resolutorio a jurados evaluadores del informe final de tesis, el cual adjunto al presente los documentos de la referencia:

ASESOR:

Dr. WILFREDO SAEZ HUAMAN

JURADOS:

Mg. ALFREDO GROVER ROJAS CARRIZALES

Mg. NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS

Mg. LUIS ALBERTO TITO CÓRDOVA

Mg. ALCIDADES MERINO CARHUAPOMA

M.Sc. MABEL YESICA ESCOBAR SOLDEVILLA

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

ACCESITARIO 1

ACCESITARIO 2

INFORME FINAL DE TESIS:"EFICIENCIA DEL COAGULANTE DE SÁBILA (*Áloe vera*) PARA LA DISMINUCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO - QUÍMICO EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE YAULI"PRESENTADO POR:

MARINO ROJAS ASPARRIN

DENIS ROJAS MARTINEZ

Hago propicia la oportunidad para expresarle el testimonio de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

*Documento Firmado Digitalmente***CARLOS DUEÑAS JURADO**DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIACDJ/hcq
cc.:

N° Expediente: 2026-0010384

"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM". Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: 2ZRFMVR

Página 1 de 1

www.unh.edu.peJr. Victoria Garma N° 330 y
Jr. Hipólito Unanue N° 209.
Local Central - Huancavelica

 Reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica	Código: RE-VRAC-PO01-1-1
	Versión: 1
	Página: Página 66 de 95

Anexo 03

Ficha de evaluación del informe final de tesis/trabajo de investigación/trabajo académico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

FICHA DE EVALUACIÓN DE INFORME DE TESIS/TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO ACADÉMICO

Título de la tesis	"Eficiencia del coagulante de sábila (<i>Áloe vera</i>) para la disminución de concentración de parámetros fisicoquímico en planta de tratamiento de aguas residuales de Yauli, 2025"					
Tesista(s)	Dennis, ROJAS MARTÍNEZ Marino, ROJAS ASPARRIN					
Asesor(a)	Dr. Wilfredo, SAEZ HUAMAN					
Jurado Evaluador	Presidente:					
	Secretario:					
	Vocal:					
INCOMPLETO (1)		BUENO (2)	MUY BUENO (3)			
CRITERIOS DE EVALUACIÓN				ESCALA		
TÍTULO				1	2	3
1	El título presenta claridad, precisión y coherencia (mínimo 15 y máximo 20 palabras)					X
2	Delimitación adecuada					X
RESUMEN				1	2	3
3	Contiene el problema y objetivo de investigación o población y/o muestra.					X
4	Precisa el método, técnica e instrumentos de estudio.					X
5	Precisa los resultados, conclusiones y palabras clave.					X
6	Tiene un máximo de 250 palabras y están redactadas en un solo párrafo.					X
INTRODUCCIÓN				1	2	3
7	Contiene el problema de investigación y los antecedentes de estudio.					X
8	Se señala los objetivos de investigación y la hipótesis.					X
9	Describe brevemente el estudio y presenta la estructura del informe de investigación.					X
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA						
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA				1	2	3
10	Delimita y contextualiza el problema.					X
11	La redacción del planteamiento del problema es coherente.					X
12	Argumentación con referencias bibliográficas.					X
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				1	2	3
13	La formulación del problema está redactada con claridad y precisión.					X
14	El problema presenta variable(s) y tiene relación con el título.					X
15	Los problemas específicos se relacionan con el problema general.					X
OBJETIVOS				1	2	3
16	El objetivo general evidencia el propósito del estudio					X
17	Los objetivos específicos se derivan del objetivo general y son factibles de alcanzar.					X

18	Los objetivos responden al problema de investigación.				X
JUSTIFICACIÓN			1	2	3
19	Se exponen las razones ¿por qué?, ¿para qué? y la viabilidad del estudio.				X
LIMITACIONES			1	2	3
20	Explica las limitaciones en el control de la(s) variable(s), selección de la muestra, instrumentos de medición y la generalización de los resultados.			X	
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO					
ANTECEDENTES			1	2	3
21	Presenta los antecedentes y los integra en relación con el problema de investigación.			X	
22	En los antecedentes se mencionan el problema, objetivo(s), metodología, población, resultados y conclusiones.			X	
BASES TEÓRICAS			1	2	3
23	La organización de las bases teóricas es coherente y corresponde a las variables de estudio.				X
24	Las bases teóricas fundamentan las variables de estudio.				X
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS			1	2	3
25	Define los conceptos más relevantes del estudio.				X
26	Utiliza 10 conceptos como mínimo con fuentes en orden alfabético.				X
HIPÓTESIS			1	2	3
27	La hipótesis se enuncia de manera clara y precisa.			X	
28	La hipótesis responde al problema de investigación.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente	Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación	X	
VARIABLES			1	2	3
29	Identifica(n) con precisión la(s) variable(s) de estudio			X	
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			1	2	3
30	La operacionalización presenta definición conceptual y operacional de la(s) variable(s) o también presenta dimensiones (si es pertinente), indicadores, ítems o instrumentos			X	
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA					
31	Identifica el ámbito de estudio.				X
32	Selecciona y fundamenta el tipo y nivel de investigación.				X
33	Existe correspondencia entre nivel y diseño de investigación.				X
34	Señala la población y muestra de estudio.				X
35	Selecciona y fundamenta el tipo de muestreo a utilizar.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente	Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación	X	
36	Selecciona y fundamenta las técnicas e instrumentos a utilizar en el estudio.			X	
37	Precisa los procedimientos para la recolección de datos.			X	
38	Especifica y fundamenta la(s) técnica(s) y procedimientos estadísticos(s) para el análisis de datos.				X
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN					
RESULTADOS			1	2	3
39	Describe en forma detallada y secuencial los resultados y se corresponden con los objetivos.				X
40	Las tablas y las figuras sirven de complemento para la descripción de los resultados.				X
DISCUSIÓN			1	2	3
41	Interpreta y justifica los resultados.			X	




42	Explica la relación de los resultados con los antecedentes, bases teóricas y la hipótesis.		X	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		1	2	3
43	Las conclusiones se sustentan en los resultados y responden a los objetivos.		X	
44	Las recomendaciones se corresponden con las conclusiones, se dirige a instituciones, autoridades o personas para implementar los hallazgos del estudio y sugiere nuevas investigaciones.		X	
REFERENCIAS		1	2	3
45	Las citas y referencias se corresponden con el estilo de redacción.		X	
46	Todas las citas están referenciadas y validadas.		X	
ANEXOS		1	2	3
47	Incluye la matriz de consistencia, validación del instrumento, instrumentos utilizados, consentimiento informado, base de datos, evidencia de aplicación de instrumento y otros de acuerdo a la naturaleza del estudio.		X	



CONTEO TOTAL DE MARCAS (realice el conteo de marcas en cada una de las tres categorías de la escala y anote)	-	17	30
	A	B	C

$$Puntaje\ Total = 1(A) + 2(B) + 3(C) = 1(0) + 2(17) + 3(30) = 124$$

Para el resultado final, ubicar el puntaje obtenido en la siguiente tabla:

RESULTADO	INTERVALO
Desaprobado 	[1 – 47]
Replantear 	(47 – 94]
Aprobado 	(94 – 141]

Huancavelica, 23 de abril de 2026

Presidente

Secretario

Vocal



Firmado digitalmente por SAEZ
HUAMAN Wilfredo FAU 20168014962
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.04.2026 11:39:11 -05:00

Asesor

Nota:

* El presente formato de acta es flexible, debiendo contener mínimamente la información descrita.

** El presente formulario se emplea en dos etapas: I. Verificación previa del asesor y II. Evaluación por los jurados. El asesor completa únicamente los campos relativos a su revisión y firma exclusivamente en su sección. Los jurados completan y firman únicamente en el espacio destinado a sus cargos.

***El jurado reunido, culminada la evaluación de la tesis, el jurado (presidente) debe informar el resultado del presente anexo a la Escuela Profesional.



UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICA

UNIDAD FUNCIONAL DE GESTION DE
GRADOS Y TITULOS - EPIAS



Firmado digitalmente por ENRIQUEZ
NATEROS Nilo Abelardo FAU
20168014962 soft
Cargo: Coordinador De Gestion De
Grados Y Titulos
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05.05.2026 10:59:45 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 05 de Mayo del 2026

INFORME N° 000017-2026-UNH/UFGGT-EPIAS

A: **CARLOS DUEÑAS JURADO**
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

ASUNTO: **PROPUESTA DE DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS.**

Referencia: PROVEIDO 000292-2026-UNH/EPIAS (23ABR2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 05 de Mayo de 2026

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarle cordialmente y a la vez remitir la propuesta de designación de jurados evaluadores de la tesis titulada: **"EFICIENCIA DEL COAGULANTE DE SÁBILA (ÁLOE VERA) PARA LA DISMINUCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICO EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE YAULI, 2025"**, de los bachilleres: **ROJAS MARTÍNEZ, Dennis** y **ROJAS ASPARRIN, Marino**; egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, a fin de que su despacho remita a quien corresponda para su aprobación mediante acto resolutivo, para tal efecto se propone a los siguientes docentes:

Mg. Alfredo Grover, ROJAS CARRIZALES

Mg. Nilo Abelardo, ENRÍQUEZ NATEROS

Mg. Luis Alberto, TITO CÓRVODA

Mg. Alcidiades, MERINO CARHUAPOMA

Mg. Mabel Yesica, ESCOBAR SOLDEVILLA

Sin otro particular es propicia la ocasión para hacerle llegar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS
COORDINADOR DE GESTION DE GRADOS Y TITULOS
UNI. FUN. GESTION DE GRADOS Y TITULOS - EPI AMBIENTAL

NEN
cc.:

N° Expediente: 2026-0010384



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: 5L92PNK





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
(CREADA POR LEY Nº 25265)
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
SANITARIA



REVISIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

ASESOR: Dr. Wilfredo, SAEZ HUAMAN

ESTUDIANTES: Dennis, ROJAS MARTINEZ

Marino, ROJAS ASPARRIN

TÍTULO DE INFORME FINAL DE TESIS:

“Eficiencia el coagulante de sábila (*Áloe vera*) para la disminución de concentración de parámetros físico-químico en planta de tratamiento de aguas residuales de Yauli”

OBSERVACIONES:

Ninguna seguir con los tramites correspondientes.

Huancavelica, 31 de marzo del 2026



Firmado digitalmente por SAEZ
HUAMAN Wilfredo FAU 20168014962
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31.03.2026 17:04:05 -05:00

ASESOR



UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICAESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIAFirmado digitalmente por DUEÑAS
JURADO Carlos FAU 20168014962
soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 12.05.2026 09:13:54 -05:00"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 12 de Mayo del 2026

MEMORANDO MULTIPLE N° 000021-2026-UNH/EPIAS

Señores:

ALFREDO GROVER ROJAS CARRIZALES
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

LUIS ALBERTO TITO CÓRDOVA
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

ALCIDIADDES MERINO CARHUAPOMA
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

MABEL YESICA ESCOBAR SOLDEVILLA
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

**ASUNTO: DESIGANACIÓN DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS.**

Fecha elaboración: Huancavelica, 11 de Mayo de 2026

Por medio del presente me dirijo a Ustedes, de mi especial consideración y estima personal, al mismo tiempo en atención al documento de la referencia se designa como jurados evaluadores del Informe Final de Tesis **"EFICIENCIA DEL COAGULANTE DE SÁBILA (Áloe vera) PARA LA DISMINUCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO - QUÍMICO EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE YAULI"** presentado por: **MARINO ROJAS ASPARRIN Y DENIS ROJAS MARTINEZ**. Para su respectiva evaluación de acuerdo al del Reglamento de Grados y Títulos de la UNH., de acuerdo al siguiente detalle:

ALFREDO GROVER ROJAS CARRIZALES	PRESIDENTE
NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS	SECRETARIO
LUIS ALBERTO TITO CÓRDOVA	VOCAL
ALCIDIADDES MERINO CARHUAPOMA	ACCESITARIO 1
MABEL YESICA ESCOBAR SOLDEVILLA	ACCESITARIO 2

Hago propicia la oportunidad para expresarle el testimonio de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

CARLOS DUEÑAS JURADO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

CDJ/hcq

N° Expediente: EPIAS020260000200



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: **QWNEX5Q**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ANEXO N° 01
DESTINATARIOS DE LA MEMORANDO MULTIPLE



N° Expediente: EPIAS020260000200



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: **QWNEX5Q**



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

PROVEIDO 000292-2026-UNH/EPIAS

EXPEDIENTE : 2026-0010384

FECHA

23/04/2026

ASUNTO: SEGÚN EL ART. 17.8. DEL REGLAMENTO DE GRADOS Y TITULOS, SOLICITO PROPUESTA DE (5) DOCENTES EN UN PLAZO MAXIMO DE 3 DIAS, A FIN DE DESIGNAR JURADOS EVALUADORES PARA INFORME FINAL DE TESIS

Atender en 0 días

REFERENCIA : SOLICITUD Nº 6 SOLICITO REVISIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS.

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNI. FUN. GESTION DE GRADOS Y TITULOS - EPI AMBIENTAL ENRIQUEZ NATEROS NILO ABELARDO	ATENDER	NORMAL	

DUEÑAS JURADO CARLOS
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL

SOLICITUD: REVISIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS.

SEÑOR DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

Yo, Dennis Rojas Martínez, identificado con DNI N.º 75480638; Marino Rojas Asparrin identificado con DNI N.º 77350328 condición ESTUDIANTE de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria solicito la revisión de informe final de tesis.

“EFICIENCIA DEL COAGULANTE DE SABILA (*Áloe vera*) PARA LA DISMINUCION DE CONCENTRACION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES YAULI,2025”

En cumplimiento de las disposiciones reglamentarias, declaro que todas las comunicaciones, resoluciones y notificaciones relacionadas con el proceso de obtención del título profesional mediante sustentación de tesis serán remitidas al siguiente correo institucional:

- Correo electrónico institucional para notificaciones oficiales (obligatorio): 2019161044 Y 2019161043
- Correo personal para respaldo:

Asimismo, me comprometo a revisar permanentemente el correo institucional y a dar respuesta o cumplimiento a las observaciones y disposiciones que se me notifiquen, reconociendo la plena validez legal de las notificaciones digitales emitidas con firmas digitales institucionales.

Huancavelica, 23 de abril de 2026



Firma

Nombres y Apellidos: Dennis Rojas Martínez
DNI N.º: 75480638



Firma

Nombres y Apellidos: Marino0 Rojas Asparrin
DNI N.º: 77350328

N.º de celular: 988442809



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**



Decanatura

RESOLUCIÓN N° 0076-2025-D-FCI-R-UNH

Huancavelica, 13 de marzo de 2025.

VISTOS:

Oficio N° 000094-2025-UNH/EPIAS (11-03-2025) proveído N° 000392 (12-03-2025) en 08 folios y un archivo digital formato pdf, presentado por el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica; solicita designación de Asesor y aprobación de proyecto de tesis mediante resolución y;

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad a lo establecido por el artículo 18° de la constitución política del estado, artículo 8° de la ley Universitaria N° 30220: El Estado reconoce la autonomía universitaria. La autonomía inherente a las universidades, se ejerce de conformidad con lo establecido en la Constitución, la presente Ley y demás normativa aplicable. Esta autonomía se manifiesta en lo normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico en el marco de la ley; artículo 37° del Estatuto: Las Facultades gozan de autonomía académica, normativa, gubernativa, administrativa y económica, dentro del marco de la ley y el estatuto;

Que, según el artículo primero de la resolución N° 005-2021-CEU-UNH (14-06-2021), proclama como ganador de las elecciones, en el cargo de Decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, al Mg. Pedro Antonio Palomino Pastrana, a partir del 03 de mayo del 2021 al 02 de mayo del 2025 y artículo tercero, dispone que los artículos primero y segundo de la presente resolución, los decanos ganadores de las elecciones entraran en vigencia para sus funciones académicas y administrativas a partir del 15 de junio del 2021 hasta la fecha de culminación para los cuales fueron elegidos.

El artículo 1° de la ley de firmas y certificados digitales aprobado mediante Ley N° 27269 señala que la misma tiene por objetivo regular la utilización de las firmas electrónicas otorgándole la misma validez y eficacia jurídica que el uso de una firma manuscrita u otra análoga que conlleve manifestación de voluntad.

Que, según artículo 13° del reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica versión 003, aprobado con resolución N° 1068-2024-CU-UNH, de fecha 13-09-2024, de la presentación y aprobación; a) El/los bachiller (s), egresado (s) o estudiante (s) presentara (n) un a solicitud dirigida al director de la Escuela Profesional, acompañado el proyecto de tesis en medio digital formato PDF, solicitando designación del asesor, debidamente ser un docente ordinario o contratado (A1 o B1) , el asesor y co-asesor pueden ser a propuesta del interesado. En caso de convenios o financiamientos con instituciones, un representante de dicha institución realizaría las funciones del asesor o co-asesor; c) el director de escuela profesional notifica el proyecto de investigación al asesor para su revisión en el plazo máximo de quince días (15) días hábiles, debiendo este emitir un informe al director



Este es un documento auténtico imprimible de un elemento electrónico archivado en la Universidad Nacional de Huancavelica, siguiendo lo dispuesto por el Art. 25° del D.S. 070.2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser verificados a través de la siguiente dirección. <https://appunh.com/validar-documento/b9abd4b6-57af-4372-8a8c-7e44a674d7e3/verificar>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



Decanatura

RESOLUCIÓN N° 0076-2025-D-FCI-R-UNH

Huancavelica, 13 de marzo de 2025.

de escuela profesional dando a conocer el resultado de la evaluación, adjunto el proyecto en un medio digital. **d)** en caso de ser favorable, el director de Escuela profesional solicita al decano la designación de asesor y aprobación del proyecto de tesis, con resolución de decano; para ser notificado al responsable de investigación de la Escuela Profesional para su inscripción. **e)** *una vez emitida la resolución de aprobación del proyecto de tesis, el o los interesados procederán a ejecutar el proyecto cuya vigencia no excederá de tres años (presentación de la tesis a la escuela profesional) a partir de la fecha de la notificación de la resolución. Vencido dicho plazo el/los interesados deberán presentar un nuevo proyecto de tesis; según artículo 17°, funciones del asesor; a) velar por la calidad de la tesis; b) cumplir con los pazos establecidos en el presente reglamento; c) Asesor y velar el cumplimiento del desarrollo de la tesis por parte del o los asesorados hasta la sustentación; d) verificar la originalidad de la tesis con el software anti plagio oficial de la UNH y e) Aprobar el proyecto de tesis y la tesis, de ser pertinente;*

Que, con proveído N° 000392 de fecha 12-03-2025, el Decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, autoriza al Secretario Docente emitir la resolución correspondiente.

Que, en uso de las atribuciones que le confieren al Decano y al amparo de la Ley Universitaria N° 30220 y el estatuto de la Universidad Nacional de Huancavelica.

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - **DESIGNAR** al Dr. Wilfredo Sáez Huamán, Asesor del proyecto de tesis titulado “EFICIENCIA DEL COAGULANTE DE SÁBILA (*Áloe vera*) PARA LA DISMINUCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICO EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE YAULI”, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.

ARTÍCULO SEGUNDO. - **APROBAR** el proyecto de tesis titulado: “EFICIENCIA DEL COAGULANTE DE SÁBILA (*Áloe vera*) PARA LA DISMINUCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICO EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE YAULI”, presentado por **Marino Rojas Asparrin y Denis Rojas Martinez**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.



Este es un documento auténtico imprimible de un elemento electrónico archivado en la Universidad Nacional de Huancavelica, siguiendo lo dispuesto por el Art. 25° del D.S. 070.2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser verificados a través de la siguiente dirección. <https://appunh.com/validar-documento/b9abd4b6-57af-4372-8a8c-7e44a674d7e3/verificar>





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**



Decanatura

RESOLUCIÓN N° 0076-2025-D-FCI-R-UNH

Huancavelica, 13 de marzo de 2025.

ARTÍCULO TERCERO. - DERIVAR la presente resolución a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, para su conocimiento y trámite correspondiente.

Regístrese, comuníquese y archívese. -----



Firmado digitalmente por PALOMINO
PASTRANA Pedro Antonio FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17.03.2025 17:58:19 -05:00

Dr. Pedro Antonio Palomino Pastrana
Decano
Facultad de Ciencias de Ingeniería



Firmado digitalmente por ARTICA
FELIX Marino FAU 20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17.03.2025 17:41:03 -05:00

Ing. Marino Artica Felix
Secretario Docente
Facultad de Ciencias de Ingeniería



Este es un documento auténtico imprimible de un elemento electrónico archivado en la Universidad Nacional de Huancavelica, siguiendo lo dispuesto por el Art. 25° del D.S. 070.2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser verificados a través de la siguiente dirección.
<https://appunh.com/validar-documento/b9abd4b6-57af-4372-8a8c-7e44a674d7e3/verificar>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
SANITARIA**



TESIS

**Eficiencia del coagulante de sábila (áloe vera) para la disminución
de concentración de parámetros fisicoquímico en planta de
tratamiento de aguas residuales de Yauli, 2025**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:
TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y/O SANITARIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIEROS AMBIENTALES**

PRESENTADO POR:

Dennis Rojas Martínez

Marino Rojas Asparrin_{portada}

HUANCAVELICA, PERU

2025

Certificado de similitud

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

Eficiencia del coagulante de sábila (áloe vera) para la disminución de concentración de parámetros fisicoquímico en planta de tratamiento de aguas residuales de Yauli, 2025

AUTOR

Dennis Rojas Martínez- Marino Rojas Asparin

RECuento DE PALABRAS

26623 Words

RECuento DE CARACTERES

150995 Characters

RECuento DE PÁGINAS

128 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.4MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 10, 2026 11:27 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 10, 2026 11:29 AM GMT-5

● 20% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 18% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado



Firmado digitalmente por SACZ
HJSMAN Withrado FAU 20198014962
soft
Móvil: Soy el autor del documento
Fecha: 10/04/2026 11:32:55 -05:00

Resumen

Acta de sustentación

Título Completo

Eficiencia del coagulante de sábila (áloe vera) para la disminución de concentración de parámetros físicos químico en planta de tratamiento de aguas residuales de Yauli

Autor

Dennis Rojas Martinez

Marino Rojas Asparrin

Asesor

WILFREDO SAEZ HUAMAN

Nombres y Apellidos

0000-0002-1485-8273

ORCID

23274838

DNI

Dedicatoria

A Dios, quien dio origen a mi vida y valor para continuar, a mis padres, quienes me impulsaron con su apoyo económico y consejos para terminar la carrera, y docentes, quienes me compartieron sus conocimientos y me tuvieron paciencia durante todo este periodo.

Agradecimiento

A Dios, a mis padres, docentes, quienes me ofrecieron su apoyo en este camino, asimismo, al asesor, quien me brindó sus conocimientos, guía y corrección para la elaboración de este trabajo de manera que alcance el objetivo esperado.

Tabla de contenidos

Certificado de similitud	ii
Acta de sustentación.....	iii
Título Completo	iv
Autor.....	v
Asesor	vi
Dedicatoria	vii
Agradecimiento.....	viii
Tabla de contenidos.....	ix
Contenido de Tablas	xii
Contenido figuras	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción	xvi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1. Descripción del problema	19
1.2. Formulación del Problema.....	23
1.2.1. Problema general	23
1.2.2. Problemas específicos	23
1.3. Objetivos.....	23
1.3.1. Objetivo general	23
1.3.2. Objetivos específicos.....	23
1.4. Justificación	24
1.4.1. Justificación científica – teórica	24
1.4.2. Justificación práctica – tecnológica.....	24
1.4.3. Justificación metodológica.....	25
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	26
2.1. Antecedentes	26
2.1.1. A nivel internacional	
2.1.2. A nivel nacional.....	30
2.1.3. A nivel local.....	33

2.2.	Bases teóricas	36
2.2.1.	Parámetros fisicoquímicos de aguas residuales	36
2.2.2.	Eficiencia de coagulante sábila (Aloe Vera).....	41
2.2.3.	Preparación del aloe vera en gel	44
2.2.4.	La Prueba de Jarras (Jar Test) como Herramienta de Optimización Experimental	47
2.3.	Definición de términos.....	51
2.4.	Hipótesis	53
2.4.1.	Hipótesis General	53
2.4.2.	Hipótesis Específicas.....	53
2.5.	Variables	54
2.6.	Operacionalización de variables.....	54
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS		57
3.1.	Ámbito temporal y espacial	57
3.1.1.	Ámbito temporal.....	57
3.1.2.	Ámbito espacial	57
3.2.	Tipo de investigación.....	59
3.3.	Nivel de investigación	59
3.4.	Método de investigación.....	59
3.4.1.	Método general	59
3.4.2.	Métodos específicos	60
3.5.	Diseño de investigación	60
3.5.1.	Diseño experimental.....	60
3.5.2.	Diseño Factorial.....	61
3.6.	Población, muestra y muestreo.....	64
3.6.1.	Población.....	64
3.6.2.	Muestra.....	64
3.6.3.	Muestreo.....	65
3.6.4.	Técnicas.....	65
3.6.5.	Instrumentos.....	65
3.7.	Técnicas y procesamiento de análisis de datos	67
CAPÍTULO IV		68
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		68

4.1. Análisis de información	68
4.1.1. Análisis descriptivos	68
4.1.2. Prueba de hipótesis	83
4.1. Discusión de resultados	95
Conclusiones	102
Recomendaciones	103
Referencias Bibliográficas.....	104
Anexo	113
Anexo 1 Matriz de Consistencia.....	114
Anexo 2 Propuesta de Instrumento	116
Anexo 3 Solicitud	118
Anexo 4 Base de datos	120
Anexo 5 Evidencias	121

Contenido de Tablas

Tabla 1 <i>Causa y efecto de los síntomas del problema</i>	22
Tabla 2 <i>Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR</i>	38
Tabla 3 <i>Procedimientos de etapas del Test-Jarras</i>	47
Tabla 4 <i>Parámetros a medir para hallar la eficiencia del coagulante</i>	50
Tabla 5 <i>Operacionalización de variables</i>	55
Tabla 6 <i>Coordenadas UTM-18L, Ubicación de Geográfica</i>	57
Tabla 7 <i>Factores de la eficiencia del Aloe vera como coagulante</i>	62
Tabla 8 <i>Ensayos – tratamiento de agua residual</i>	62
Tabla 9 <i>Parámetros controlados</i>	63
Tabla 10 <i>Estadísticos descriptivos de la turbidez (UNT) según dosis de Aloe vera aplicada</i> ..	69
Tabla 11 <i>Estadísticos descriptivos de la temperatura (°C) según dosis de Aloe vera aplicada</i>	70
Tabla 12 <i>Estadísticos descriptivos de SST según la concentración de aloe vera aplicado</i>	72
Tabla 13 <i>Estadísticos descriptivos de la turbidez (UNT) según el tiempo ejecutado</i>	73
Tabla 14 <i>Estadísticos descriptivos de la temperatura (°C) según el tiempo ejecutado</i>	75
Tabla 15 <i>Estadísticos descriptivos de SST según el tiempo ejecutado</i>	76
Tabla 16 <i>Estadísticos descriptivos de DBO5 según la concentración de aloe vera aplicado</i> ..	77
Tabla 17 <i>Estadísticos descriptivos de pH según la concentración de aloe vera aplicado</i>	79
Tabla 18 <i>Estadísticos descriptivos de DBO5 según el tiempo ejecutado</i>	80
Tabla 19 <i>Estadísticos descriptivos de pH según el tiempo ejecutado</i>	82
Tabla 20 <i>Prueba de normalidad- Shapiro-Wilk</i>	83
Tabla 21 <i>Prueba ANOVA para turbidez y temperatura según dosis de Aloe Vera</i>	84
Tabla 22 <i>Prueba ANOVA para turbidez y temperatura según tiempo</i>	85
Tabla 23 <i>Prueba Post hoc para turbidez según dosis de Aloe Vera y tiempo de ejecución</i>	87
Tabla 24 <i>Prueba Post Hoc para temperatura según dosis de Aloe Vera y tiempo de ejecución</i>	87
Tabla 25 <i>Prueba ANOVA para SST, DBO5 y pH según la dosis de aloe vera</i>	89
Tabla 26 <i>Prueba ANOVA para SST, DBO5 y pH según el tiempo de aplicación</i>	89
Tabla 27 <i>Prueba Post Hoc para pH según dosis de Aloe Vera y tiempo de ejecución</i>	90
Tabla 28 <i>Prueba Post Hoc para SST según dosis de Aloe Vera y tiempo de ejecución</i>	90
Tabla 29 <i>Prueba post hoc para DBO5 según dosis de aloe vera y tiempo de ejecución</i>	91
Tabla 30 <i>Resumen de resultados significativos</i>	93

Contenido figuras

Figura 1 <i>Coagulación y floculación de una suspensión coloidal al agregar un sistema de coagulante- floculante</i>	42
Figura 2 <i>Representación de la floculación</i>	43
Figura 3 <i>Test de jarras</i>	49
Figura 4 <i>Distrito de Yauli, Departamento de Huancavelica</i>	58
Figura 5 <i>Diagrama de caja de los estadísticos descriptivos de la turbidez (UNT) según dosis de Aloe vera aplicada</i>	69
Figura 6 <i>Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de la temperatura (°C) según dosis de Aloe vera aplicada</i>	71
Figura 7 <i>Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de SST según la concentración de aloe vera aplicado</i>	72
Figura 8 <i>Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de la turbidez (UNT) según el tiempo ejecutado</i>	74
Figura 9 <i>Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de la temperatura (°C) el tiempo ejecutado</i>	75
Figura 10 <i>Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de SST según el tiempo ejecutado</i>	76
Figura 11 <i>Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de DBO5, según la concentración de aloe vera aplicado</i>	78
Figura 12 <i>Diagrama de caja de los estadísticos descriptivos de pH según la concentración de aloe vera aplicado</i>	79
Figura 13 <i>Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de DBO5 según el tiempo ejecutado</i>	81
Figura 14 <i>Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de pH según el tiempo ejecutado</i>	82

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Yauli. La metodología fue de enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño experimental y una muestra de 40 litros en un solo evento, la cual fue completamente homogeneizada para asegurar que los 30 ensayos se realicen con agua de calidad idéntica, se empleó el diseño factorial completo 3×3 con un factor de dos vías, a diferentes dosis del coagulante (300 mg/L, 600 mg/L y 900 mg/L) y tiempos (10, 15 y 20 min). Los resultados obtenidos mediante análisis de varianza (ANOVA) evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. La dosis de 600 mg/L presentó mayor eficiencia en la reducción de turbidez, disminuyendo de 138.20 UNT (control) a 59.21 UNT, y en la reducción de SST, disminuyendo de 390 mg/L a aproximadamente 116 mg/L. Por su parte, la dosis de 900 mg/L mostró mayor reducción de DBO, disminuyendo de 120 mg/L a aproximadamente 91 mg/L, además de incrementar el pH desde 5.20 hasta 6.88. Se concluye que el Aloe vera actúa como coagulante natural eficiente en condiciones de laboratorio, mostrando potencial como alternativa sostenible para el tratamiento primario de aguas residuales.

Palabras clave: coagulante natural; Aloe vera; parámetro físico y químico.

Abstract

This research aimed to determine the efficiency of aloe vera gel coagulant in reducing the concentration of physicochemical parameters in the wastewater from the Yauli Wastewater Treatment Plant. The methodology employed a quantitative approach, explanatory level, and experimental design. A 40-liter sample was used in a single event, which was thoroughly homogenized to ensure that all 30 trials were conducted with water of identical quality. A full 3×3 factorial design with one two-way factor was used, with different coagulant doses (300 mg/L, 600 mg/L, and 900 mg/L) and treatment times (10, 15, and 20 min). The results obtained through analysis of variance (ANOVA) showed significant differences ($p < 0.05$) between treatments. The 600 mg/L dose showed the greatest efficiency in reducing turbidity, decreasing it from 138.20 NTU (control) to 59.21 NTU, and in reducing TSS, decreasing it from 390 mg/L to approximately 116 mg/L. Meanwhile, the 900 mg/L dose showed the greatest reduction in BOD, decreasing it from 120 mg/L to approximately 91 mg/L, in addition to increasing the pH from 5.20 to 6.88. It is concluded that Aloe vera acts as an efficient natural coagulant under laboratory conditions, showing potential as a sustainable alternative for the primary treatment of wastewater.

Keywords: natural coagulant; Aloe vera; physical and chemical parameters

Introducción

La contaminación de las aguas residuales representa un desafío ambiental y de salud pública a nivel mundial, afectando directamente la disponibilidad de agua potable para las comunidades humanas y los ecosistemas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), alrededor de 1.700 millones de personas escasean de acceso a fuentes de agua potable seguras debido a la contaminación hídrica. En el contexto peruano, la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2023) reportó que solo el 57% de las aguas residuales generadas recibe algún tipo de tratamiento adecuado. Localmente, en Huancavelica, la problemática se manifiesta con mayor intensidad en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Yauli, donde estudios recientes evidencian que la concentración promedio de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en el efluente alcanza 670.57 mg/L, muy por encima del límite máximo permisible de 100 mg/L establecido por el D.S. N°003-2010-MINAM (Ancalle & Ledesma, 2020). Las causas principales incluyen la descarga directa de aguas domésticas sin tratamiento previo y la disposición inadecuada de residuos sólidos, donde aproximadamente el 70% de la población vierte residuos en las orillas del río Ichu (Canchari, 2024). De persistir esta situación sin intervención efectiva, se proyecta una profunda degradación ambiental, con consecuencias severas para la salud pública, lo que exacerbará riesgos sanitarios y económicos en las comunidades dependientes de estas fuentes hídricas.

El problema general que orienta esta investigación se formula en los siguientes términos: ¿Cuál es la eficiencia del coagulante de sábila en la reducción de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli? Para responder a esta interrogante, se plantea como objetivo general determinar la eficiencia del coagulante de sábila en la reducción de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la PTAR Yauli. La hipótesis general que se somete a prueba establece que la implementación del coagulante de sábila influye significativamente en la disminución de la concentración y la mejora del

cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Yauli.

El marco teórico que sustenta esta indagación se cimienta en dos ejes conceptuales principales: los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales y la eficiencia del coagulante de sábila. Los parámetros fisicoquímicos constituyen indicadores fundamentales que reflejan la carga orgánica y el riesgo físico de las aguas residuales domésticas, siendo esenciales para evaluar la eficiencia de cualquier proceso de tratamiento (MINAM, 2010). Por su parte, la propiedad coagulante-floculante del Aloe vera se basa en la capacidad de sus polisacáridos mucilaginosos, específicamente el acemanano y los glucomananos, para aglomerar y sedimentar las partículas coloidales y sólidos suspendidos mediante un mecanismo de puenteo polimérico (Benalia y otros, 2021). Estudios previos han demostrado que los extractos naturales de sábila pueden lograr tasas de remoción de turbidez superiores al 85% y reducciones significativas de sólidos suspendidos totales (Benalia y otros, 2021; Darkun y otros, 2024), estableciendo su potencial como alternativa sostenible frente a los coagulantes químicos tradicionales que generan lodos tóxicos y presentan riesgos para la salud a largo plazo (Florez y otros, 2024).

La indagación se justifica desde tres perspectivas fundamentales. Científicamente, aportará conocimiento sobre el tratamiento de aguas residuales con biopolímeros en condiciones específicas de la región andina, donde existe un vacío teórico comparativo sobre el Aloe vera como coagulante bajo las particularidades variables propias de Huancavelica (Pérez & Urrea, 2011). Práctica y tecnológicamente, proporcionará una solución de bajo costo, no tóxica y fácilmente escalable que podrá implementarse como alternativa a los coagulantes químicos sintéticos, reduciendo los costos operativos y la generación de lodos contaminados, facilitando que la PTAR mejore la eficiencia de remoción de contaminantes y alcance el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles. Metodológicamente, establecerá un diseño experimental riguroso mediante la prueba de jarras, estándar internacional que garantiza la validez interna al

controlar rigurosamente la manipulación de la dosis de sábila (Sierra, 2001), proporcionando un protocolo detallado que permitirá a otros profesionales replicar o adaptar el procedimiento para validar el uso de otros recursos biológicos locales (Arias, 2012).

El presente documento de indagación se organiza en cuatro capítulos fundamentales. El Capítulo I se centra en la exposición del problema, abarcando la identificación y formulación del mismo, así como los objetivos y la justificación del estudio. En el Capítulo II se elabora el marco teórico, que incluye antecedentes a nivel global, nacional y local, fundamentos teóricos relacionados con parámetros fisicoquímicos y la eficacia del coagulante de sábila, además de la definición de conceptos, las hipótesis y la operacionalización de las variables. El Capítulo III detalla los materiales y métodos, especificando el ámbito temporal y espacial, el tipo, nivel y método de investigación, el diseño experimental, la población, muestra y muestreo, así como las técnicas y procesamiento de análisis de datos. Finalmente, el Capítulo IV presenta el aspecto administrativo, incluyendo el potencial humano, los materiales y equipos requeridos, el cronograma de actividades, el presupuesto y el financiamiento del proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La polución de las aguas residuales representa un desafío ambiental y de salud en todo el mundo, afectando directamente el acceso a agua potable para poblaciones humanas y ecosistemas. Según datos recientes de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), aproximadamente 1 700 millones de personas en el mundo no cuentan con acceso a fuentes de agua potable seguras debido a la contaminación hídrica, lo que incrementa la incidencia de padecimientos de origen hídrico. A nivel regional, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2023) reporta que menos del 50% de las aguas residuales se someten a tratamientos adecuados en América Latina, con una afectación significativa del 25% de los cuerpos de agua superficiales por contaminación orgánica y química. Este panorama global y regional subraya la urgencia de desarrollar métodos eficientes y sostenibles para la depuración de aguas residuales.

En el ámbito nacional peruano, la brecha en el tratamiento de aguas residuales persiste pese a esfuerzos gubernamentales. La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2023) reportó que solo el 57% de las aguas residuales generadas en Perú recibe algún tipo de tratamiento adecuado, dejando evidencia de la insuficiencia en infraestructura y ejercicio de plantas de tratamiento. El Ministerio

del Ambiente ha señalado que muchas plantas de tratamiento (PTAR) no alcanzan la eficiencia solicitada para reducir parámetros críticos como “turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y demanda química de oxígeno (DQO)”, afectando la calidad de agua de fuentes receptoras. Este déficit obliga a la exploración de alternativas tecnológicas y coagulantes naturales que sean económicamente viables y ambientalmente sostenibles.

Localmente, en Huancavelica, el problema se manifiesta con mayor intensidad debido a condiciones ecológicas específicas y limitaciones en la infraestructura sanitaria. Estudios recientes realizados en la PTAR de Yauli muestran que, aunque se aplican tecnologías convencionales, la eficiencia en la eliminación de parámetros fisicoquímicos críticos aún no alcanza estándares óptimos necesarios para la preservación ambiental y la salud pública (Quispe, 2024). La aplicación experimental de coagulantes naturales como el Aloe vera surge como elección competente para optimizar la calidad del agua tratada, dada su efectividad en la reducción de turbidez y materia orgánica en condiciones experimentales controladas en laboratorio (ANA, 2023; Quispe, 2024).

En Huancavelica, la problemática de las aguas residuales resalta por la insuficiente eficiencia en la sustracción de contaminantes en la PTAR Yauli. Un estudio de Ancalle (2020) determinó que la proporción promedio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en el efluente de esta planta es de 670.57 mg/L, muy por encima del límite máximo permisible según el D.S. N°003-2010 del MINAM. Además, otros parámetros como coliformes termotolerantes y sólidos suspendidos presentan concentraciones elevadas, evidenciando la limitada capacidad de tratamiento de la planta y su efecto negativo directo en la calidad de los cuerpos receptores (Ancalle & Ledesma, 2020).

Paralelamente, en el análisis de la calidad del agua para consumo humano en centros poblados de Yauli, investigaciones recientes revelan que, aunque los parámetros fisicoquímicos en ciertos centros están dentro de límites aceptables según el DS N°004-2017-MINAM, los parámetros microbiológicos como coliformes totales y coliformes fecales presentan valores que superan los límites

permisibles en varios puntos, generando un riesgo sanitario significativo. Por ejemplo, en el centro poblado Villa Hermoza, los coliformes totales alcanzaron 55 NMP/100 ml cuando el límite es 50, y los coliformes fecales llegaron a 30 NMP/100 ml, igualando el máximo permitido. Esta situación revela deficiencias en el sistema de suministro y tratamiento del agua potable local (Ñahui, 2023).

La urgencia de establecer alternativas de tratamiento más eficientes se torna urgente en Huancavelica, considerando la vulnerabilidad ecológica y las limitaciones tecnológicas actuales. La PTAR ya presenta deficiencias claras en la reducción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos críticos que deben ser abordadas con tecnologías complementarias. En ese contexto, el estudio de coagulantes naturales, como el Aloe vera, para la disminución de los parámetros físico y químicos, adquiere pertinencia esencial para optimar la calidad del efluente y minimizar impactos ambientales, asegurando la sostenibilidad del recurso hídrico local (Ancalle & Ledesma, 2020; Ñahui, 2023).

En Huancavelica, la contaminación de las aguas residuales tiene múltiples causas, principalmente la descarga directa e inadecuada de aguas domésticas y residuos sólidos en los cuerpos de agua sin tratamiento previo, sobre todo en el río Ichu, el receptáculo principal. Según Chancari Fierro (2024), aproximadamente el 70% de la población dispone residuos sólidos inadecuadamente en las orillas del río, mientras que un 60% de comerciantes vierte desechos en áreas cercanas, incrementando la carga orgánica, bacteriana y química en el sistema hídrico. Estos vertimientos no controlados provocan elevadas concentraciones de DBO (72-99 mg/L), DQO (99-154 mg/L), sólidos suspendidos (76-144 mg/L) y coliformes termo-tolerantes (2200-9800 NMP/100 mL), que alteran la calidad del agua y ponen en riesgo la salud pública y los ecosistemas locales. Los síntomas visibles de esta contaminación incluyen turbidez elevada, malos olores, proliferación de organismos patógenos, y deterioro del hábitat acuático, reflejando la insuficiencia de los métodos actuales de tratamiento y manejo de residuos (Canchari, 2024).

Tabla 1
Causa y efecto de los síntomas del problema

Causa	Efecto
Descarga directa de aguas residuales sin tratamiento	Elevada demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)
Disposición inadecuada de residuos sólidos en riberas	Incremento de sólidos suspendidos y turbidez
Vertimiento de aguas con detergentes y químicos	Aumento de demanda química de oxígeno (DQO)
Vertimiento de materia fecal y desechos orgánicos	Altos niveles de coliformes totales y fecales
Falta de infraestructura y control en PTAR Yauli	Ineficiencia en la reducción de contaminantes
Actividades comerciales y poblacionales sin gestión	Contaminación persistente y alteración del ecosistema acuático

Si la problemática de la afectación de las aguas residuales en Huancavelica, especialmente en la zona de la PTAR Yauli y el río Ichu, persiste sin intervención efectiva, se espera una profunda degradación ambiental con consecuencias severas para la salud pública y la biodiversidad local. La descarga continua de residuos sin tratamiento eleva la concentración de contaminantes como demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) que puede superar los 670 mg/L, sólidos suspendidos y coliformes fecales, generando ambientes acuáticos inhóspitos y la proliferación de enfermedades hidrocónicas. La afectación se extenderá a las comunidades humanas dependientes de estas fuentes para consumo, agricultura y ganadería, exacerbando riesgos sanitarios y económicos. Adicionalmente, se incrementará la pérdida de servicios ecosistémicos, amenazando la sostenibilidad hídrica y ecológica regional (Contraloría General de la República, 2020; Canchari, 2024).

La solución o estrategia para mitigar este problema debe basarse en un enfoque integral y sostenible que armonice la mejora de infraestructura, la optimización tecnológica y la incorporación de métodos alternativos de tratamiento, como el uso de coagulantes naturales (Aloe vera en gel para este caso). En términos generales, el enfoque contempla la implementación de tecnologías experimentales complementarias a la PTAR Yauli para mejorar la eficiencia en el descenso de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos críticos. La estrategia debe incluir la caracterización continua del efluente, el ajuste de

variables operativas en laboratorio controlado (Jar-Test), y la evaluación estadística rigurosa para validar resultados. Paralelamente, se deben fortalecer las campañas de educación y control social para disminuir la generación y disposición inadecuada de residuos en el área urbana (ANA, 2023; Quispe, 2024).

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros físicos (Turbidez, Temperatura y SST) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli?
- ¿Cuál es la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros químicos (DBO y pH) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Yauli.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros físicos (Turbidez,

Temperatura y SST) en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Yauli.

- Determinar la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros químicos (DBO y pH) en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Yauli.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación científica – teórica

La exploración aportó significativamente al conocimiento del tratamiento de aguas residuales con biopolímeros. Aunque es un campo crítico para la sostenibilidad en la gestión ambiental, todavía existe un vacío teórico comparativo basado, esencialmente, en la falta de información científica sobre el Aloe vera en gel como coagulante de aguas residuales y su agente quelante aguas duras, bajo las particularidades variables propias de la región andina. Por lo tanto, esta investigación levantó los datos sólidos sobre la dosificación y la cinética de eliminación para la biblioteca de coagulantes vegetales disponibles (Pérez, Rodríguez, & Arias, 2018), el cual permitió a los investigadores modelar y optimizar su uso.

1.4.2. Justificación práctica – tecnológica

La tesis tuvo una alta relevancia práctica y un impacto directo en la sostenibilidad del tratamiento de aguas residuales en Yauli. Tecnológicamente, se proporcionó una solución de bajo costo, no tóxica y fácilmente escalable que podrá implementarse como una estrategia a los coagulantes químicos sintéticos. El uso del coagulante de sábila redujo los costos operativos y, crucialmente, la generación de lodos contaminados (García & López, 2020), lo que facilitó su gestión. El beneficio final radicó en que los resultados ofrecieron una herramienta directa para que la PTAR mejorara la eficacia en la depuración de contaminantes y alcanzará el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP)

1.4.3. Justificación metodológica

Se fundamenta ya que este estudio estableció un diseño experimental riguroso que sirvió como modelo de replicabilidad en el área de biocoagulación. La investigación utilizó la prueba de jarras, un estándar internacional que garantizó la validez interna al controlar rigurosamente la manipulación de la dosis de sábila (Sierra, 2001), seguido de ello, el protocolo detallado de la extracción del extracto. Pues permitió a otros profesionales replicar o adaptar el procedimiento para validar el uso de otros recursos biológicos locales (Arias, 2012).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

Darkun et al. (2024) desarrollaron el estudio titulado “La influencia del bio-coagulante de aloe vera y el tiempo de mezcla en la reducción de la demanda biológica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y los niveles totales de sólidos suspendidos”. Presentada en la revista “La Investigación, ingeniería y gestión medioambiental”. El objetivo fue evaluar el impacto de la dosis del bio-coagulante de Aloe vera y el tiempo de mezcla en la reducción de DBO, DQO y SST en aguas residuales industriales. La metodología fue de tipo cuantitativo, nivel explicativo, diseño experimental factorial 3×3, donde se realiza la investigación por niveles . La muestra fue residuo líquido de la industria farmacéutica, y la población fueron ensayos de laboratorio (Test de Jarras). Se emplearon instrumentos para medir DBO, DQO y SST post-tratamiento. El coagulante de sábila tuvo una concentración óptima de 40 ml/l; en cuanto a la disminución de parámetros, se logró la máxima reducción en DQO del 78.5%, en DBO del 72.3% y en SST del 65.3%. Se usó la prueba ANOVA F Test y la prueba LSD, con un valor de significancia $p=0.000$ para los efectos de coagulación y tiempo en la remoción de DQO. Se concluyó que

el bio-coagulante de aloe vera puede ser utilizado eficazmente para reducir parámetros orgánicos y sólidos. El estudio aborda directamente la eficiencia del coagulante de aloe vera en la disminución de DQO, DBO y SST parámetros fisicoquímicos, mediante ensayos de laboratorio. Este antecedente aporta a la presente investigación al incluir parámetros clave de contaminación orgánica (DQO y DBO), reforzando la base empírica de tu variable dependiente y validando el diseño experimental en laboratorio para múltiples parámetros.

Binaria et al. (2021) llevaron a cabo el estudio titulado “Uso de Aloe vera como coagulante orgánico para mejorar la calidad del agua potable”. Presentado en la “revista Wáter (MDPI)”. El objetivo fue investigar el potencial del Aloe vera como coagulante natural para el tratamiento de agua cruda y potable. La metodología fue de tipo cuantitativo, nivel explicativo, diseño experimental. La población fue agua cruda donde analizo 13 unidades de nefelométrica de turbidez, (NTU) obtenida de una planta de tratamiento, y la muestra fueron ensayos de laboratorio (Test de Jarras). Se evaluaron dos formas: en polvo y líquido. El coagulante de sábila en forma líquida (AV-H₂O) fue la más eficiente; en la disminución de parámetros obtuvo una remoción máxima de turbidez del 88.23% a un pH óptimo de 6.0, logrando una turbidez residual menor a 5 NTU. El estudio determinó que la adición del coagulante natural no tuvo influencia significativa en el pH, alcalinidad ni dureza. Se concluyó que el Aloe vera puede usarse exitosamente como coagulante. Se justifica el estudio por que evalúa la eficiencia del coagulante de sábila en la reducción de turbidez y SST, que son la base y las medidas directas de la disminución de parámetros fisicoquímicos en ensayos de laboratorio de población idéntica. Además, confirma que no altera otros parámetros pH, alcalinidad, dureza, lo que aporta solidez a la justificación. Este antecedente aporta a la presente investigación al establecer la alta eficiencia de remoción de turbidez (>88%), que es un parámetro físico químico clave, y al validar la metodología de extracción y el diseño experimental del Test de Jarras.

Oliveira et al. (2025) desarrollaron el estudio titulado “El aloe vera en el tratamiento del agua: hacia un futuro más ecológico para la ingeniería ambiental”. presentada en la “revista Sustainability (MDPI)”. El objetivo fue evaluar la eficiencia de un coagulante a base de Aloe vera en la remoción de turbidez en sistemas de tratamiento de agua. La metodología fue de tipo cuantitativo, nivel explicativo, diseño experimental. La población fue agua con alta turbidez de forma simulada y la muestra fueron ensayos de laboratorio Test de Jarras y sistema hidráulico a escala. El coagulante de sábila se evaluó en un sistema hidráulico de flujo continuo después de la prueba de jarras; luego de la disminución de parámetros se demostró una alta eficiencia, logrando la remoción de turbidez de hasta el 97% en el sistema hidráulico. En las pruebas de jarras, se logró una turbidez residual de 5 NTU o menos en todas las condiciones. Se concluyó que el coagulante natural a base de aloe vera es una solución sostenible y rentable para la clarificación del agua. Se justifica la investigación porque evalúa la eficiencia del coagulante de sábila en la reducción de turbidez, que es un parámetro fundamental de tu disminución de parámetros fisicoquímicos. El uso del test de jarras y sistema de laboratorio cumple con los criterios de población y diseño. Este antecedente aporta a la presente investigación al mostrar resultados de eficiencia muy altos (>95%), dando un marco de referencia de los resultados esperados, y al validar la escala de laboratorio, lo que es crucial para tu población de estudio.

Calderón et al. (2023) efectuaron el estudio titulado “Diseño de proceso para la obtención de un coagulante natural a partir de la sábila o aloe vera (*Barbadensis miller*) para ser aplicado en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas en la reducción de los parámetros turbidez y DBO5”. Presentado en la “Universidad del Salvador”. El objetivo fue diseñar el proceso óptimo para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas utilizando Aloe vera y determinar la reducción de turbidez y DBO5. La metodología fue de tipo cuantitativo, basada en pruebas de laboratorio, diseño experimental (pruebas de jarra). La muestra fue de aguas residuales domésticas del sistema de alcantarillado, seleccionada por muestreo simple para los ensayos. Se

emplearon los instrumentos Test de Jarras y equipos de medición de turbidez y DBO5. El coagulante de sábila tuvo una dosis óptima de 100 mg/l; por consecuente la disminución de parámetros obtuvo una remoción máxima de turbidez del 85.09% y de DBO5 del 66.27%. Se concluyó que el coagulante de Aloe vera es técnicamente viable y eficaz para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas, superando la remoción de la DBO5 necesaria para la fase primaria. El estudio aborda directamente la eficiencia del coagulante de sábila en la reducción de turbidez y DBO5 como parámetros fisicoquímicos, en aguas residuales domésticas mediante ensayos de laboratorio. Establecer un precedente directo y reciente (2023) sobre la aplicación de aloe vera en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas, confirmando la alta eficiencia en la reducción de turbidez y DBO5 carga orgánica mediante el uso de la prueba de jarras. Además, proporciona un rango de dosis óptima (100 mg/l) útil para la fase experimental de esta investigación.

Ruiz et al. (2022) desarrollaron el estudio titulado “Aloe Vera (L.) como floculante para remoción de turbidez de aguas superficiales”. Publicado en la “revista Boletín de Malariología y Salud Ambiental”, Venezuela. El objetivo fue modelar la optimización de la remoción de turbidez mediante el uso de Aloe vera. La metodología fue de tipo Cuantitativo, nivel Experimental, diseño Superficie de Respuesta (RSM). La muestra fue de aguas superficiales (turbidez simulada y real), seleccionada por muestreo simple. Se emplearon los instrumentos Test de Jarras y turbidímetro; el Aloe vera se usó como floculante posterior a un coagulante químico. Coagulante de Sábila mostró una dosis óptima de 0.5 mL (al 1% de gel); presentó la disminución de parámetros, obtuvo una remoción de turbidez superior al 95% en las condiciones óptimas del modelo. Se usó Análisis de Superficie de Respuesta (RSM) para la optimización, con pruebas de significancia para la eficiencia. Se concluyó que el Aloe vera es un floculante eficaz, y su rendimiento en la remoción de turbidez es significativo cuando se utiliza como coadyuvante en el tratamiento de aguas. Se acepta como proxy porque, si bien la muestra es agua superficial no residual, el estudio utiliza el Aloe vera para la reducción del parámetro

fisicoquímico clave turbidez y utiliza una metodología rigurosa como lo son el RSM y Test de Jarras para optimizar la dosis, un paso fundamental en el tratamiento primario de aguas residuales. Este antecedente presenta la metodología del test de jarras junto al coagulante de aloe vera para para la remoción, aportando aplicabilidad, mostrando la eficiencia de la sábila.

2.1.2. A nivel nacional

Flores et al. (2024) efectuaron el estudio titulado “Evaluación del coagulante-floculante natural de Aloe Vera en aguas residuales”. “Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco”. El objetivo fue determinar parámetros para la dosis óptima del coagulante floculante de aloe vera para mostrar la eficiencia y reducción de turbidez y sólidos suspendidos totales (SST) en el efluente de una, planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). La metodología fue de tipo cuantitativo, nivel explicativo ,experimental, diseño experimental. La población fue el efluente de la PTAR de Sicuani, y la muestra consistió en ensayos de laboratorio (Test de Jarras). Se emplearon los instrumentos: Test de Jarras, turbidímetro y medidor de SST. El coagulante de sábila tuvo su dosis óptima en 5 ml/l (diluido); y la disminución de parámetros en su mejor resultado obtuvo una remoción de turbidez del 55.92% y de SST del 67.34% con la dosis diluida. Se concluyó que el Aloe vera es un agente eficaz para mejorar la calidad del efluente de la PTAR, siendo la forma diluida la más efectiva para reducir SST. El estudio evalúa directamente la eficiencia del coagulante de sábila en la reducción de SST y turbidez, parámetros fisicoquímicos, mediante ensayos de laboratorio. Este antecedente aporta a la presente investigación al validar el diseño experimental de laboratorio (test de jarras) en el contexto de aguas residuales de PTAR y al aportar un rango de eficiencias para los parámetros físicos (Turbidez, SST) en el ámbito geográfico peruano.

Olivera (2022) desarrolló el estudio titulado "Aplicación del coagulante natural áloe vera como tratamiento terciario en la PTAR - Jauja", presentado en la “Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico

Profesional de Ingeniería Ambiental”. El objetivo fue determinar el efecto del coagulante natural Aloe vera en la remoción de parámetros críticos como tratamiento terciario en la PTAR-Jauja. La metodología fue de tipo aplicada, nivel explicativo, diseño experimental puro con preprueba-posprueba y grupo control. La muestra fue de n=36 litros de agua residual, seleccionada por método aleatorio. Se empleó el test de jarras con dosis de 10, 20, 30, 40, 50 mL de gel de áloe vera, con análisis mediante ANOVA y prueba Post hoc. Los parámetros iniciales fueron: turbidez M=120 UNT, SST M=281 mg/L, DBO₅ M=201.30 mg/L. Se usó ANOVA con F=9.354, p=0.000. La dosis óptima (20 mL) logró 48.70% remoción turbidez (M final=61.56 UNT), 75.70% remoción SST (M final=68.27 mg/L), y 87.24% remoción DBO₅ (M final=25.68 mg/L). Se concluyó que el coagulante de Aloe vera es eficiente para reducir parámetros fisicoquímicos en tratamiento terciario de aguas residuales. Este antecedente aporta a la presente investigación al demostrar experimentalmente la viabilidad de bio-coagulantes en condiciones controladas de laboratorio con datos estadísticamente validados.

Huamán (2024) desarrolló el estudio titulado “Remoción de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio mediante un sistema de coagulación-floculación y adsorción”, presentado en la “Universidad Continental, Facultad de Ingeniería Ambiental”. El objetivo fue evaluar la efectividad de un sistema combinado de coagulación-floculación con un adsorbente natural (cáscara de papa) para remover contaminantes en aguas residuales sintéticas. La metodología fue cuantitativa, experimental y factorial 3x2, aplicando tratamientos con diferentes dosis y tiempos. La muestra consistió en n litros representativos de efluentes, seleccionados aleatoriamente. Los parámetros analizados fueron DQO, DBO₅ y sólidos suspendidos totales (SST), utilizando análisis estadísticos inferenciales para validar resultados. El sistema logró remociones altas con valores del 84.01% para DQO, 85.59% para DBO₅ y 97.84% para SST. Se aplicaron pruebas estadísticas de normalidad y homogeneidad, con intervalos de confianza y efectos estadísticamente significativos (p<0.05). Este

antecedente aporta a la presente investigación al demostrar la capacidad del sistema combinado en la eficiencia de tratamiento, ofreciendo respaldo empírico y estadístico útil para el análisis de coagulantes naturales en aguas residuales.

Milla (2019) efectuó la investigación “Diseño y evaluación de equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para tratamiento de aguas de pozo”, en la “Universidad Nacional Federico Villarreal, Maestría en Gestión Ambiental”. El estudio experimental evaluó un electro-coagulador construido con electrodos móviles en aguas de pozo, determinando cambios en conductividad, pH y sólidos totales disueltos. Se empleó diseño experimental con múltiples ensayos bajo distintas condiciones (voltaje, velocidad de motor), utilizando muestras representativas. Los análisis estadísticos consideraron contrastes de medias y variabilidad con pruebas de significancia. Los resultados indicaron mejora significativa en la calidad del agua, con reducción de contaminantes fisicoquímicos importantes. La investigación aporta un enfoque tecnológico innovador y metodológicamente riguroso para el tratamiento de aguas, constituyendo un referente para comparar la eficiencia y factibilidad de bio-coagulantes naturales, como Aloe vera, en entornos de tratamiento fisicoquímico

Florez et al. (2024) realizaron la investigación “Evaluación del coagulante-floculante natural de Aloe Vera en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos totales en aguas residuales”, presentada en la “Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Ambientales”. El estudio tuvo un enfoque experimental utilizando el test de jarras para analizar diferentes formas y dosis del coagulante natural. La muestra fue seleccionada aleatoriamente, y se controlaron variables experimentales para evaluar la eficacia en la reducción de turbidez y SST. Se aplicaron análisis estadísticos utilizando ANOVA, pruebas de normalidad y homogeneidad, para determinar diferencias significativas entre tratamientos. Se concluyó que la dosis óptima de 0.4 g/L de Aloe vera mostró mayor eficiencia para disminuir la turbidez y

sólidos suspendidos, evidenciando su potencial como alternativa sostenible en el tratamiento de aguas residuales. Este antecedente contribuye directamente a la investigación actual, proporcionando datos empíricos robustos y metodología replicable para evaluar coagulantes naturales

2.1.3. A nivel local

Camarena (2022) desarrolló el estudio titulado "Influencia de la concentración de Aloe vera, tiempo de coagulación y tiempo de floculación en la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de agua residual doméstica", presentado en la "Universidad Nacional del Centro del Perú, Escuela de Posgrado". El objetivo fue determinar la influencia de la concentración de sábila, tiempo de coagulación y tiempo de floculación en la disminución de DBO en agua residual doméstica. La metodología fue de tipo aplicado, nivel explicativo, diseño experimental factorial 3x2x2 con 2 repeticiones. La muestra fue de n=24 ensayos de agua residual doméstica del colector de Pío Pata-El Tambo, Huancayo, seleccionada por muestreo aleatorio simple. Se empleó el equipo de prueba de jarras con concentraciones de coagulante de 2000, 3000 y 4000 ppm. Para la concentración de coagulante a 2000 ppm tuvo M=63,500%, DE no especificada; DBO5 inicial M=345 ppm, DBO5 final con mejor tratamiento M=95 ppm. Se usó ANOVA con p=0,000 para concentración de coagulante (F=75,56), p=0,000 para tiempo de coagulación (F=96,74), y Prueba de Tukey con $\alpha=0,05$. Se concluyó que el tratamiento óptimo (2000 ppm, 2 min coagulación, 15 min floculación) logró 72,5% de reducción de DBO5. Este antecedente aporta a la presente investigación al demostrar que las variables tiempo de coagulación y floculación son estadísticamente significativas en regiones andinas similares que la presente investigación, y establece rangos de dosificación aplicables para su contexto experimental.

Acevedo y Huaman (2021) desarrollaron el estudio titulado "Eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) en la remoción de la turbidez del Río Ichu - Huancavelica - 2019", presentado en la

“Universidad Nacional de Huancavelica, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria”. El objetivo fue evaluar la eficiencia del coagulante de mucílago de nopal en la remoción de la turbidez del río Ichu. La metodología fue de tipo aplicado, nivel explicativo, diseño experimental mediante prueba de jarras. La muestra fue de n=60 litros de agua con turbidez inicial entre 1561-1568 NTU, seleccionada del río Ichu. Se empleó relación de extracción 1:2 (penca: agua), con dosis de 10, 20, 30, 40, 50, 60 ml/L en ensayo inicial, refinando posteriormente a 5, 12, 15, 25, 35, 40 ml/L. La dosis óptima fue 40 ml/L con M=99.33% de eficiencia, DE no especificada; turbiedad post-tratamiento M=10.47 NTU. La comparación con sulfato de aluminio mostró eficiencia del coagulante natural M=99.15% vs. M=99.00% del químico. Se concluyó que el mucílago de nopal presenta eficiencia superior al coagulante químico convencional. Este antecedente aporta a la presente investigación al demostrar la viabilidad de coagulantes naturales en condiciones hídricas específicas de Huancavelica, estableciendo parámetros de referencia para turbiedades extremadamente altas.

Carrizales y Enríquez (2019) efectuaron el estudio titulado "Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de Moringa oleífera en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica", sustentado en la “Universidad Nacional de Huancavelica, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria”. El objetivo fue Establecer la cantidad y la concentración ideales del coagulante extraído de Moringa oleífera para mejorar la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa. La metodología fue de tipo aplicado, nivel explicativo, diseño experimental mediante prueba de jarras. La muestra fue de n=10 muestras de agua, seleccionada de la quebrada Taczanapampa. Se emplearon diversas dosis y concentraciones para determinar los valores óptimos. Para turbiedades <50 UNT la dosis óptima fue de 10-50 mg/L; para turbiedades 50-150 UNT fue de 30-100 mg/L. La concentración óptima para turbiedades <150 UNT se encontró en rango de 2-3%. Se concluyó que los resultados concuerdan con rangos de hipótesis teóricas establecidas. Este antecedente aporta a la presente

investigación al establecer rangos dosimétricos específicos para condiciones geográficas y climáticas similares a su zona de estudio, proporcionando marcos de referencia para la optimización de variables operacionales.

Ventura y Quispe (2022) presentaron el estudio titulado "Eficiencia del coagulante de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Canchan para la reducción de la turbiedad del agua de consumo humano de la fuente superficial del río Disparate, Huancavelica 2021", sustentado en la "Universidad Nacional de Huancavelica, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria". El objetivo fue determinar La efectividad del coagulante derivado de la papa de la variedad Canchan en la disminución de la turbidez del agua del río Disparate. La metodología fue de tipo aplicado, nivel explicativo, diseño experimental mediante prueba de jarras. La muestra fue de n=40 litros con turbiedades iniciales de 35 UNT y 21.06 UNT, seleccionada del río Disparate. Se emplearon dosis de 20, 60, 100 mg/L a velocidades de agitación de 200, 250, 300 RPM. Para turbidez inicial 35 UNT: dosis óptima 100 mg/L a 300 RPM con M=93.31% de eficiencia; para turbidez inicial 21.06 UNT: misma dosis óptima con M=90.79% de eficiencia. Se usó ANOVA con análisis estadísticos correspondientes. Se concluyó que el coagulante de papa variedad Canchan reduce efectivamente la turbidez cumpliendo estándares OMS y ECA. Este antecedente aporta a la presente investigación al utilizar la misma fuente hídrica (río de Huancavelica) y metodología similar, estableciendo precedentes directos para la aplicación de coagulantes naturales tubérculos en el contexto local específico.

Sánchez (2020) desarrolló el estudio titulado "Calidad del agua del río Ichu en zonas urbanas del distrito de Huancavelica", presentado en la "Universidad Nacional de Huancavelica". El objetivo fue determinar la calidad del agua del río Ichu en zonas urbanas del distrito de Huancavelica. La metodología fue de tipo descriptivo, diseño no experimental transversal. La muestra fue de n=6 puntos de recolección con 3 repeticiones cada uno, seleccionada por muestreo sistemático del río Ichu. Se emplearon análisis

físicos, químicos y biológicos según protocolos estandarizados. Temperatura $M=14-18^{\circ}\text{C}$; pH dentro de límites 6.5-8.5; sólidos totales disueltos <1000 mg/L; oxígeno disuelto ≥ 6 mg/L; DBO5 superó límite de 3 mg/L; turbidez superó límite de 5 UNT. Parámetros químicos: nitratos PM-1 dentro de 10 mg/L N, pero puntos urbanos superaron límites; fosfatos superaron 0.1 mg/L P. Coliformes fecales elevados. Se concluyó que el agua presenta calidad mala (ICA-NSF 26-50) superando varios parámetros de ECA categoría A1. Este antecedente aporta a la presente investigación al caracterizar la línea base de calidad del agua en ríos locales de Huancavelica, estableciendo el contexto de contaminación que justifica la necesidad de tratamientos eficientes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Parámetros fisicoquímicos de aguas residuales

2.2.1.1. *Concepto y Clasificación del Agua Residual Doméstica (ARD)*

Comúnmente denominadas aguas servidas o negras, son aquellas cuya calidad ha sido deteriorada por su uso en actividades higiénicas, de cocina y lavandería en hogares y establecimientos similares (BID, 2023). Estas aguas están integradas principalmente por un 99.9% de agua y un 0.1% de sólidos y residuos, siendo esta mínima fracción la que origina los problemas de contaminación y tratamiento. La carga contaminante se identifica por la presencia de materia orgánica (carbohidratos, proteínas y grasas), nitrógeno, fósforo, y microorganismos, lo que requiere un proceso integral de depuración a nivel físico, químico y biológico para su devolución segura al ambiente (BID, 2023).

2.2.1.2. *Parámetros Clave del Estudio*

El monitoreo de las ARD se focaliza en indicadores que reflejan la carga orgánica y el riesgo físico, siendo cruciales para evaluar la eficiencia de cualquier proceso de acondicionamiento. La averiguación se centra específicamente en la depuración de la materia orgánica y los sólidos en suspensión.

Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Ambos parámetros son esenciales para medir la carga orgánica. La DQO corresponde a la cantidad de oxígeno utilizada para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica presente en el agua, mientras que la DBO o DBO5 evalúa la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para descomponer materia orgánica biodegradable en un lapso de cinco días (Badger Meter, s.f.; NCH Latin America, s.f.). Mantener bajos los niveles de DQO y DBO es fundamental para proteger la vida acuática y garantizar el cumplimiento normativo.

Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Turbidez. Los SST son partículas orgánicas e inorgánicas suspendidas que no se disuelven y que pueden causar sedimentación en cuerpos de agua y obstrucción en los sistemas de tratamiento (NCH Latin America, s.f.). La turbidez, aunque se mide de forma distinta, es un indicador físico que refleja el contenido de estas sustancias coloidales y minerales, y es un indicio significativo de contaminación y riesgo microbiológico (Miljojkovic et al., 2019, citado en Segura, 2023). La remoción de SST y turbidez es el objetivo primario en la etapa de coagulación.

2.2.1.3. Marco Normativo Peruano (Límites Máximos Permisibles)

El manejo del recurso hídrico residual en Perú se rige por normas que establecen los estándares de vertido de los efluentes. Los Límites Máximos Permisibles (LMP) definen la concentración que, al ser excedida, puede causar daño a la salud humana y al ambiente (MINAM, 2010). Para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), la normativa clave es el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Este decreto establece los valores límite que el agua tratada debe cumplir antes de ser descargada al cuerpo receptor, constituyendo el criterio de éxito para la eficiencia del coagulante evaluado en esta investigación.

Tabla 2*Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR*

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Coliformes termo-tolerantes	NMP/100mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	Mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos totales en suspensión	MI/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota. Tomado del “Decreto supremo N° 003-2010-MINAM”, (MINAM, 2010)

2.2.1.4. Dimensiones de los parámetros físico-químicos de aguas residuales

A) Parámetros químicos

i. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO),

Particularmente la DBO5 (a 5 días), cuantifica el contenido de oxígeno consumido por los microorganismos al degradar la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua bajo condiciones estandarizadas (a 20°C por 5 días) (US EPA, 2009). Es un indicador fundamental para medir la concentración polutante orgánica de las aguas residuales.

- ✓ Significado en ARD: Mide la fracción orgánica que puede ser descompuesta por procesos biológicos, siendo clave para el diseño y monitoreo de plantas de tratamiento biológico.
- ✓ Método de Medición: Se utiliza el Método de Dilución y Siembra. Consiste en medir el oxígeno disuelto (OD) en una muestra diluida (D1) y luego de 5 días de incubación (D2). El resultado se calcula con la siguiente fórmula y se expresa en mg/L (APHA, 2017), Método – 5210B:

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)}{P}$$

Donde:

D1 y D2: Son los OD de la muestra al inicio y final

B1 y B2: Son los OD del blanco (agua de dilución)

P = Es la fracción decimal de la muestra utilizada

ii. pH

El pH es una magnitud utilizada para evaluar la acidez o basicidad de una sustancia determinada por la actividad de los iones de hidrógeno (H⁺). Se mide en una escala logarítmica de 0 a 14, siendo 7 el valor neutro (WHO, 2017).

- ✓ Significado en ARD: Afecta a todos los procesos químicos y biológicos. Un pH extremo puede ser corrosivo para la infraestructura y letal para la vida acuática o los microorganismos de tratamiento biológico.
- ✓ Método de Medición: Se mide directamente utilizando un pH-metro calibrado. el aparato mide la variación del potencial eléctrico que se produce entre el electrodo de referencia y el electrodo de vidrio sensible a los iones de hidrógeno. No posee una fórmula de cálculo de eficiencia, ya que es un valor puntual (APHA, 2017), Método 4500-H.

B) Parámetros físicos

i. Turbidez

La turbidez es una característica física del agua que señala el nivel de opacidad causado por partículas finas en suspensión, como arcillas, limo, materia orgánica y microorganismos, que dispersan o absorben la luz.

- ✓ En el contexto de las aguas residuales, la turbidez indica la cantidad de sólidos y partículas coloidales presentes, lo que impacta la claridad del agua. Este parámetro es crucial para evaluar la calidad del agua y la efectividad de los tratamientos, especialmente en las fases de coagulación, floculación y sedimentación, donde se busca disminuir las partículas que causan turbidez.
- ✓ Método de medición: se mide a través del método nefelométrico, utilizando un turbidímetro, que evalúa la dispersión de la luz ocasionada por las partículas en el agua. Los resultados se reportan en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT o NTU), conforme a los procedimientos estándar para el análisis de agua y aguas residuales (APHA, 2017), Método 2540 D.

ii. Temperatura

Es una propiedad física que modifica la tasa de los procesos químicos y biológicos que ocurren en el agua (WHO, 2017).

- ✓ Significado en ARD: Es un factor ambiental crucial; afecta la concentración de oxígeno disuelto y la actividad de los microorganismos en los procesos biológicos de depuración.
- ✓ Método de Medición: Se mide directamente en la muestra utilizando un termómetro de precisión o una sonda de temperatura acoplada a un equipo de medición multiparamétrico, (APHA, 2017), Método 2550 B.

iii. Sólidos suspendidos totalmente (SST)

Es una cuantificación física que indica la cuantía de partículas sólidas que se encuentran suspendidas en el agua y que pueden ser retenidas mediante filtración (APHA, 2017).

- ✓ Evalúe el conjunto de sólidos suspendidos en el agua.
- ✓ Este proceso se realiza a través de filtración y secado, seguido de la pesada del residuo obtenido.
- ✓ Los resultados se presentan en mg/L.
- ✓ No se examina la composición química de las partículas, sino únicamente su masa total.

2.2.2. Eficiencia de coagulante sábila (Aloe Vera).

2.2.2.1. Fundamentos del Proceso de Coagulación-Floculación

La coagulación-Flotación es el proceso en el que se constituye de la fase físico-química para el desarrollo de desestabilizar, juntar los SST y coloidales en la presente muestra de agua. Este proceso permite la remoción mediante sedimentación o filtración (Conagua, 2016).

Las partículas generadas o agrupadas en el agua residual mantienen una carga negativa superficial, por lo que sucede que se separen mutuamente en el estado de suspensión estable.

- Coagulación: Implica la adición de un reactivo que es el coagulante que posee una carga positiva. Este reactivo neutraliza el potencial eléctrico negativo de los coloides, desestabilizándolas y permitiendo su aglomeración (Ramírez y Peralta, 2016).

Figura 1

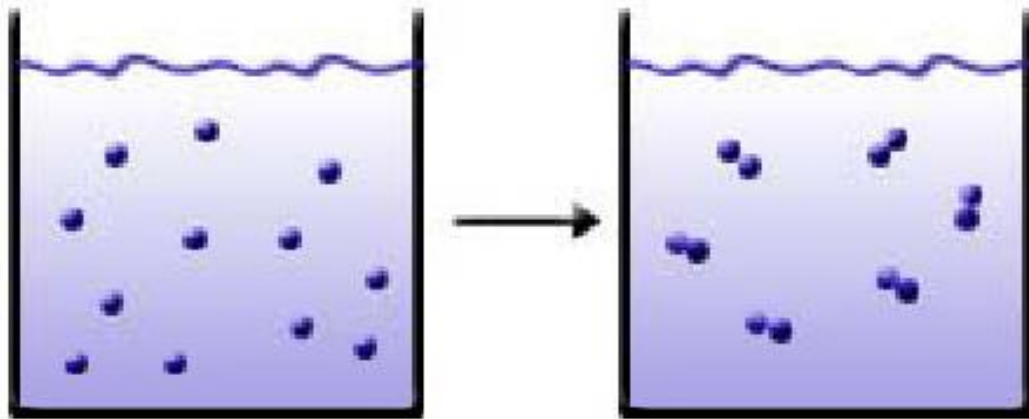
Coagulación y floculación de una suspensión coloidal al agregar un sistema de coagulante- floculante



Nota. Tomado de “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua” , (Ramírez y Peralta, 2016)

- **Floculación:** Es la etapa siguiente donde se promueve una agitación suave del agua. Esta mezcla lenta facilita que las micropartículas desestabilizadas colisionen entre sí y se unan para formar masas de gran volumen y peso elevado denominadas flóculos, que pueden ser separadas fácilmente por decantación y filtración (Pérez de la Cruz y Urrea, 2011).

Figura 2
Representación de la floculación



Nota. Tomado de “Abastecimiento de Aguas”, (Pérez & Urrea, 2011)

2.2.2.2. Clasificación de Coagulantes: Químicos-Naturales

Tradicionalmente, la depuración de aguas se basa en coagulantes químicos inorgánicos, como las sales de aluminio o el cloruro férrico. Si bien son eficaces, su uso genera grandes volúmenes de lodos tóxicos y se ha asociado con posibles riesgos para la salud a largo plazo (Flores y otros, 2024). En respuesta a estos problemas ambientales y de salud, ha surgido un creciente interés en los bio-coagulantes o coagulantes naturales, que son de bajo costo, no tóxicos y biodegradables, lo que disminuye el impacto ambiental de los lodos residuales (Flores y otros, 2024).

2.2.2.3. El Aloe vera como Bio-coagulante

La sábila (*Aloe barbadensis* Miller) ha sido ampliamente estudiada por sus propiedades funcionales, que incluyen una alta concentración de polisacáridos mucilaginosos en su gel. Específicamente, componentes como el Acemanano y los glucomananos le confieren al Aloe vera una capacidad coagulante-floculante notable. Esta propiedad se basa en la estructura polimérica de estos compuestos, que son capaces de aglomerar las partículas coloidales y los sólidos suspendidos en un medio líquido, facilitando su remoción (Benalia et al., 2021).

2.2.2.4. *Mecanismo de Acción Específico del Aloe vera*

El mecanismo principal de operación del Aloe vera en la remoción de contaminantes se atribuye al puenteo polimérico. Los polisacáridos de alto peso molecular presentes en el gel actúan como polímeros naturales. Estos polímeros se acumulan sobre la superficie de las partículas coloidales (DQO, SST) y, al tener múltiples sitios de unión, se extienden y enlazan a varias partículas simultáneamente, formando “puentes” que agregan las micropartículas en flóculos grandes y densos, facilitando su posterior sedimentación (Benalia et al., 2021).

2.2.2.5. *Por qué usar Aloe vera en gel*

Diferentes estudios que han elaborado hidrogel de Aloe vera en diversas concentraciones (como 5 %, 10 % y 20 % en soluciones acuosas) han evidenciado que estos geles son homogéneos, estables y presentan propiedades físico-químicas consistentes. Esto facilita la elección y justificación de una concentración particular de gel en mg/L, consintiendo una valoración precisa de los efectos experimentales y una mejor comparabilidad entre diferentes investigaciones (Chelu, y otros, 2023).

La metodología sugerida para el gel de Aloe vera abarca la fabricación del gel, su procesamiento para homogeneizarlo, la medición de la concentración en mg/L (con el fin de regular la variabilidad del contenido de agua y polisacáridos activos) y el método de aplicación en los ensayos experimentales. Esto facilita la reproducibilidad de los resultados y permite comparaciones directas con otras investigaciones que utilizan formulaciones gelificadas de este biopolímero natural (Chelu, y otros, 2023).

2.2.3. *Preparación del aloe vera en gel*

El gel se produce mediante la extracción de las hojas frescas, retirando tanto el látex como la cáscara para obtener la pulpa interna. Esta pulpa se procesa hasta lograr una mezcla homogénea, apta para su uso en experimentos. Este procedimiento está documentado en investigaciones sobre la formulación y uso

de geles de Aloe vera en diferentes campos científicos, estableciendo un marco metodológico sólido para estudios que utilicen este biopolímero natural (Ibraheem, y otros, 2024).

De acuerdo a Chelu et al. (2023) se deben considerar los siguientes pasos para la preparación del gel de aloe vera:

- a) Extracción del gel: se utilizan hojas frescas de Aloe barbadensis (aloe vera), de las cuales se retira la corteza exterior y la savia amarilla para evitar la presencia de compuestos indeseables. La pulpa interna se extrae con cuidado para obtener el gel fresco, el cual contiene aproximadamente un 96% de agua y un 4% de componentes bioactivos.
- b) Preparación de la base del gel: para garantizar una mezcla homogénea y estable, el gel fresco se puede procesar mediante agitación continua junto con un agente gelificante, como la goma xantana, se recomienda que el polisacárido se disuelva en agua antes de añadir el gel de aloe vera en diversas concentraciones (por ejemplo, 5%, 10% y 20% p/v), logrando así una mezcla uniforme.
- c) Homogeneización del gel: la mezcla se agita de manera continua durante varias horas (generalmente entre 4 y 6 horas) hasta que todos los componentes se integren de forma uniforme, formando un gel con una estructura tridimensional consistente. La homogeneidad se verifica visualmente y, posteriormente, a través de análisis físico-químicos como el pH y la apariencia uniforme.
- d) Cálculo de la concentración de gel en mg/l: para controlar la cantidad de polisacáridos activos, se expresa la dosis final en miligramos de gel por litro (mg/l) o como un porcentaje (% p/v), dependiendo de la variable experimental a evaluar en el ensayo. Esto permite minimizar la variabilidad asociada al contenido de agua y facilita comparaciones

precisas con la literatura técnica y científica sobre dosis óptimas de coagulantes o compuestos bioactivos.

- e) Control de parámetros físicos: antes de la aplicación, se analizan parámetros como viscosidad, pH, consistencia, color y homogeneidad, que son fundamentales para asegurar que el gel sea reproducible y estable en todas las réplicas experimentales.
- f) Aplicación del gel en el ensayo experimental: el gel preparado se aplica según el diseño del experimento, siguiendo las dosis y tiempos establecidos en el plan metodológico (por ejemplo, en pruebas de coagulación-floculación en Jar tests, tratamientos de agua o aplicaciones in vitro/in vivo). La forma de aplicación se detalla en función del tipo de ensayo, la unidad experimental y las variables dependientes que se están evaluando, como turbidez o actividad bioquímica.

2.2.3.1. Estudios Previos sobre la Eficiencia del Aloe vera en ARD

Diversos estudios de laboratorio utilizando la prueba de jarras han validado la eficiencia del Aloe vera en la depuración de aguas. Investigaciones previas han demostrado que los extractos naturales de sábila, ricos en polisacáridos como el acemanano, pueden alcanzar altas tasas de remoción de turbidez y Sólidos Suspendedos Totales (SST). Por ejemplo, en ensayos realizados para fines de potabilización de agua cruda, se ha reportado la obtención de una remoción en turbidez superior al 85% y una reducción significativa de SST, destacando su potencial como una alternativa razonable para el tratamiento de aguas residuales y superficiales (Benjumea et al., 2021). Este bio-coagulante ofrece el beneficio adicional de generar lodos menos tóxicos en comparación con los coagulantes químicos, estableciendo un precedente directo para la evaluación de su eficiencia en la PTAR de Yauli.

2.2.4. La Prueba de Jarras (Jar Test) como Herramienta de Optimización Experimental

La Prueba de Jarras se establece como la metodología estándar en la ingeniería ambiental para simular y optimizar los métodos de coagulación-floculación a escala de laboratorio. Este procedimiento es crucial para el diseño experimental, pues permite evaluar, en condiciones controladas, el impacto de variables como la dosis del coagulante, el pH y la velocidad de agitación en la remoción de contaminantes (Murillo et al., 2020).

La metodología consiste en distribuir el agua para tratar en una serie de vasos o beakers de la unidad de prueba. A cada jarra se le agrega el coagulante en dosis escalonadas. Para un bio-coagulante como la Moringa, se puede preparar una solución madre de baja concentración (50 ppm) y añadir volúmenes escalonados (5,10,15,20 y 25 ml), siguiendo protocolos establecidos en estudios de tratabilidad (Okuda et al., 2001).

El proceso consta en tres fases que replican las condiciones de una planta de tratamiento a gran escala:

Tabla 3
Procedimientos de etapas del Test-Jarras

Etapas	Procedimientos
1. Mezcla Rápida (Coagulación)	Se inicia con una alta rapidez de agitación (aproximadamente 120 RPM por 30 segundos). Esta energía asegura la dispersión rápida del coagulante y promueve la coagulación, es decir, la desestabilización de las cargas superficiales de las partículas coloidales (Metcalf y Eddy, 1998).

2. Mezcla Lenta (Floculación)	La velocidad se reduce (alrededor de 45 RPM durante 30 minutos). Esta menor energía permite que las partículas desestabilizadas colisionen y se agrupen lentamente, formando estructuras visibles llamadas flóculos (Metcalf y Eddy, 1998).
-------------------------------	---

3. Sedimentación (Reposo)	Las muestras se dejan sin agitación por un tiempo determinado (10 minutos). En esta etapa, la gravedad permite que los flóculos, ahora densos y grandes, precipiten, logrando la clarificación del agua.
---------------------------	--

Nota. Adaptado de “Manual técnico para la elaboración de coagulantes”, (Murillo et al., 2020)

Una vez finalizado el proceso, se mide la eficiencia de remoción midiendo parámetros como la turbidez y el color, comparando los resultados del sobrenadante con la legislación ambiental aplicable. La prueba debe repetirse hasta encontrar la dosificación óptima, que minimiza el residuo y maximiza la remoción (Kawamura, 2001). Es importante notar que, si las dosis iniciales son bajas, la remoción puede ser insuficiente a 37% en algunos estudios, por lo que se requiere aumentar la concentración para alcanzar eficiencias superiores al 70%. El equipo utilizado en este proceso se ilustra en la Figura 12, la cual representa una unidad estándar de Test de Jarras (Murillo et al., 2020).

Figura 3
Test de jarras



Nota. Tomado “Manual técnico para la elaboración de coagulantes”, (Murillo et al., 2020)

Mediante la variación controlada de la dosis del coagulante de sábila, la prueba de jarras permite identificar el punto de dosis óptima, es decir, aquella concentración que maximiza la formación de flóculos y la posterior sedimentación, lo que se traduce directamente en la mayor eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos (DQO, SST). Esta simulación rigurosa garantiza que los hallazgos encontrados en el laboratorio sean reproducibles y aplicables para determinar la viabilidad del bio-coagulante a escala real.

A) Evaluación de la eficiencia del coagulante

1. Medición de Parámetros de Interés (C_o y C_f)

Se registrarán los valores de concentración iniciales (C_o) y finales (C_f) para cada parámetro, según los siguientes métodos:

Tabla 4*Parámetros a medir para hallar la eficiencia del coagulante*

Parámetro	Unidad de Concentración	Método de Medición
Turbidez	NTU	La turbidez se medirá antes y después del tratamiento utilizando un turbidímetro digital.
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	Para determinar los SST, se filtrarán 100 ml de agua tratada a través de papel filtro previamente pesado. Los filtros se secarán y se pesarán nuevamente para calcular el contenido de sólidos suspendidos.
Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5)	mg/L	La DBO5 se medirá utilizando un método estándar de laboratorio, para cuantificar la cantidad de oxígeno disuelto consumido por microorganismos durante 5 días.

2. Cálculo de la Eficiencia de Remoción

La eficiencia de disminución (%) del coagulante se determinará aplicando la siguiente fórmula (Ecuación 1) de manera independiente a las concentraciones de cada uno de los parámetros físicos y químicos:

$$\text{Eficiencia de disminución (\%)} = \frac{C_o - C_F}{C_o} \times 100$$

Donde:

- ✓ **C_o**: Concentración inicial del parámetro (expresada en NTU o mg/L) antes de la aplicación del coagulante.

- ✓ **Cf:** Concentración final del parámetro (expresada en NTU o mg/L) después del tratamiento de coagulación-floculación y separación (sedimentación/filtración).

La eficiencia del coagulante será exitosa si se logra un alto porcentaje de disminución en los valores de C_o a C_f , demostrando la capacidad del coagulante para agregar partículas. Asimismo, se evaluará su impacto en la remoción de materia orgánica.

2.3. Definición de términos

- a) **Agua Residual Doméstica (ARD):** Aguas que provienen de hogares y servicios, conteniendo materia orgánica, nutrientes y sólidos. Requieren un proceso de tratamiento para mitigar su impacto ambiental (López et al., 2017).
- b) **DBO:** Es la cuantificación del oxígeno demandado por microorganismos durante cinco días (DBO5) para descomponer biológicamente la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua (López et al., 2017).
- c) **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Son los átomos sólidos retenidos por un filtro, que no están disueltos en el agua. Su alta concentración causa la turbidez y posterior sedimentación (López et al., 2017).
- d) **Bio-coagulante:** Agente de origen natural, basado en biopolímeros vegetales o microbianos, utilizado para desestabilizar y aglomerar contaminantes coloidales de forma sostenible (Murillo et al., 2020).
- e) **Aloe vera (Sábila):** Planta cuyo gel contiene polisacáridos de cadena larga que actúan como floculantes naturales, atrayendo partículas contaminantes mediante un mecanismo de puenteo (Benalia et al., 2021).
- f) **Prueba de Jarras:** Ensayo de laboratorio esencial que simula la coagulación, la floculación y la sedimentación, permitiendo optimizar la dosis del coagulante y los gradientes de mezcla (Murillo et al., 2020).

- g) **Coagulación-Floculación:** Proceso secuencial: la coagulación neutraliza las cargas para desestabilizar las partículas, y la floculación las agrupa en flóculos grandes y densos (Murillo et al., 2020).
- h) **Turbidez:** Propiedad visual del agua causada por la dispersión y absorción de la luz. Es un indicador directo de la cantidad de partículas sólidas suspendidas y coloidales (Murillo et al., 2020).
- i) **Efluente:** Flujo de agua de salida de una unidad de tratamiento, un proceso industrial o un sistema de drenaje que se descarga a un cuerpo receptor (López et al., 2017).
- j) **pH:** Medida del grado de acidez o alcalinidad. Su control es fundamental, ya que influye directamente en la hidrólisis y la eficacia de precipitación de los coagulantes (López et al., 2017).
- k) **Lodos:** Suspensión semisólida residual compuesta por los sólidos removidos, materia orgánica, inorgánica y biomasa microbiana. Requiere una gestión y disposición final adecuada (Murillo et al., 2020).
- l) **Coagulante Químico:** Sales metálicas (ej. sulfato de aluminio o hierro) que, al hidrolizarse, precipitan para formar hidróxidos que neutralizan y atrapan las partículas coloidales (López et al., 2017).
- m) **Dosificación Óptima:** Concentración mínima del coagulante requerida para lograr el máximo rendimiento en la depuración de contaminantes optimizando costos y minimizando la producción de lodos (Murillo et al., 2020).
- n) **Polímeros Naturales:** Macromoléculas de origen biológico, como los polisacáridos o proteínas, utilizadas como floculantes para desestabilizar coloides en el tratamiento de agua (Murillo et al., 2020).
- o) **Acemanano:** Es el principal polisacárido del gel de sábila. Su estructura química de alto peso molecular facilita la floculación mediante un mecanismo de puenteo entre partículas (Fernández et al., 2012).

- p) **Sustentabilidad Ambiental:** Principio de gestión de recursos que tiene como objetivo satisfacer las demandas de la generación actual sin perjudicar las necesidades venideras (López et al., 2017).
- q) **Cuerpo Receptor:** Es la masa de agua superficial (río, lago, mar) o subterránea que recibe las descargas del efluente, sea tratado o sin tratar (López et al., 2017).
- r) **Carga Contaminante:** Es la masa de un contaminante específico (ej. DQO) vertida por unidad de tiempo, la cual se calcula multiplicando el caudal por la concentración (López et al., 2017).
- s) **Eficiencia de Remoción (η):** Relación porcentual que mide la atenuación de la carga de contaminantes lograda por un proceso de tratamiento entre la entrada y la salida (López et al., 2017).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- La adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros físicos (Turbidez, Temperatura y SST) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.
- La adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros químicos (DBO y pH) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.

2.5. Variables

- **Variable Independiente:** Parámetros físicos químicos
- **Variable Dependiente:** Eficiencia del coagulante de sábila

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 5*Operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Dimensiones	Unidad de medida	Instrumento
Parámetros físicoquímicos de aguas residuales	El monitoreo de los efluentes de PTAR se centra en indicadores de carga orgánica, contaminantes física y riesgo microbiológico, estos parámetros reflejan la eficiencia del tratamiento biológico y físico (MINAM, 2010)	El monitoreo de los parámetros es indicado por D.S. N° 003-2010-MINAN para los cuales son : Coliformes termo-tolerantes, DBO, DQO, pH , sólidos suspendidos, temperatura; ayudando a mantener límites máximos permisibles.	Parámetros químicos	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Miligramos de oxígeno por Litro (mg O ₂ /L)	Oxímetro
				pH	Unidades de pH (U.pH)	pH-metro
			Parámetros físicos	Turbidez	Nefelométricas de Turbidez (UNT).	Balanza Analítica
				Temperatura	Kelvin (K)	Termómetro digital
			Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	Método gravimétrico	

<p>Eficiencia de coagulante sábila (Aloe Vera).</p>	<p>La propiedad coagulante-floculante del Aloe vera se basa en la capacidad de sus polisacáridos mucilaginosos presentes en el gel, para aglomerar y sedimentar las partículas coloidales y sólidos suspendidos en un medio líquido, como se ha demostrado en estudios de tratamiento de aguas (Benalia y otros, 2021)</p>	<p>Es el porcentaje de remoción o reducción de los indicadores clave (parámetros físicos y químicos) después de la aplicación de una dosis específica del coagulante de sábila, calculado mediante la diferencia entre la concentración inicial afluente y final tratada en el experimento.</p>	<p>Eficiencia de coagulante sábila (Aloe Vera en gel).</p>	<p>Dosis de sábila (Bio-Coagulante)</p> <p>Tiempo de Floculación</p>	<p>X1 = 300 mg/L</p> <hr/> <p>X2 = 600 mg/L</p> <hr/> <p>X3 = 900 mg/L</p> <hr/> <p>Y1 = 10 min</p> <hr/> <p>Y2 = 15 min</p> <hr/> <p>Y3 = 20 min</p>	<p>No aplica</p>
--	--	---	--	--	---	------------------

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

La indagación se realizó en un lapso de 6 meses para su ejecución. En este período de tiempo se dedicó a la planificación, la recolección de mediciones de los parámetros del agua residual, el desarrollo de los ensayos experimentales en el laboratorio con las muestras obtenidas, el estudio de los parámetros medidas y finalmente al desarrollo de resultados, para las conclusiones.

3.1.2. Ámbito espacial

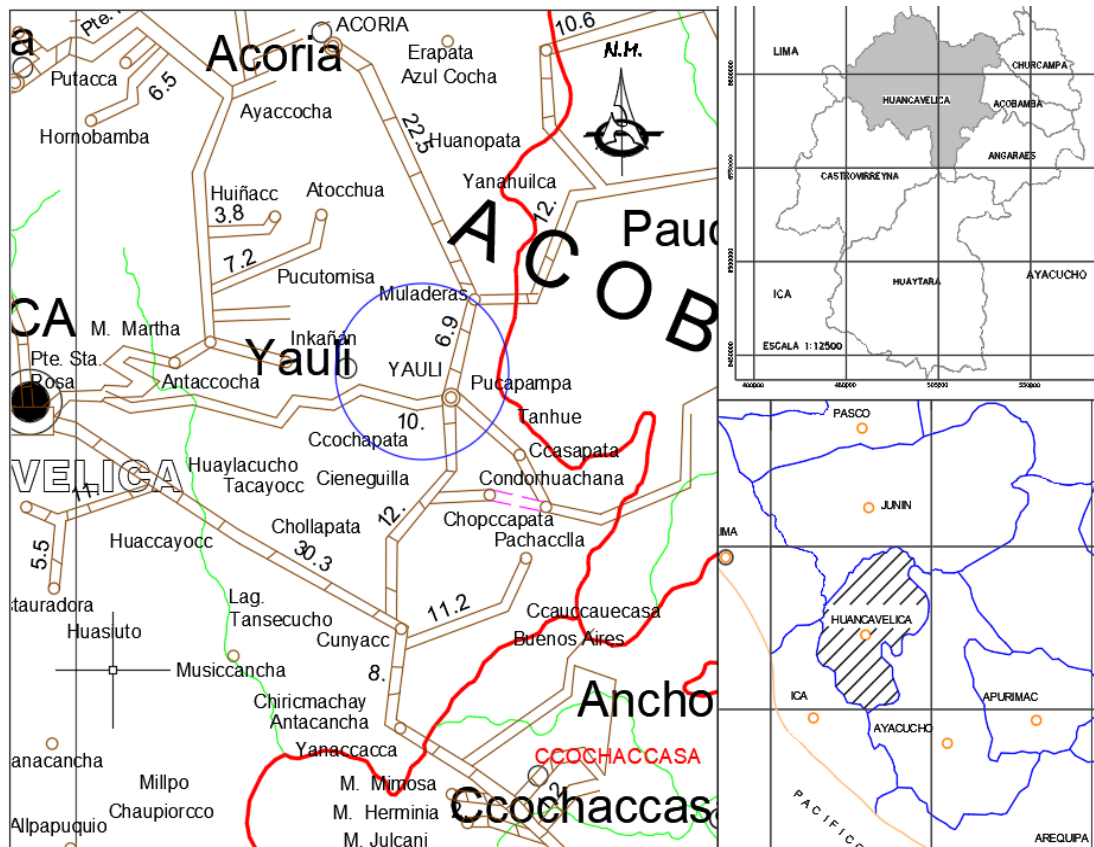
El presente proyecto de indagación y ejecución se desarrolló en los siguientes contextos:

Tabla 6
Coordenadas UTM-18L, Ubicación de Geográfica

COORDINADAS UTM-18L	
NORTE	8760222
ESTE	340566

La ubicación geográfica se situó en el distrito de Yauli como principal centro de investigación, provincia y departamento de Huancavelica, a una altitud de aproximadamente de 3391 msnm.

Figura 4
Distrito de Yauli, Departamento de Huancavelica



- **Contexto físico:** Para el cálculo de parámetros se tomaron las muestras del agua residual del río principal del distrito de Yauli, específicamente en el punto de descarga del efluente, donde se permitió obtener la muestra de agua residual con la carga contaminante para el estudio de laboratorio.
- **Ámbito Organizacional:** Las pruebas experimentales y los análisis del laboratorio se realizaron en un laboratorio especializado certificado donde se logró realizar la correcta manipulación de Test de Jarras y el análisis de los parámetros fisicoquímicos, dentro del distrito de Yauli.

3.2. Tipo de investigación

La indagación fue de tipo aplicada, cuya aplicación fundamental fue resolver un problema real y concreto, buscando la solución de un problema específico (Hernández y otros, 2014), en este proyecto, el objetivo fue desarrollar la problemática de la contaminación de las aguas residuales al experimentar y proponer el uso del extracto en gel del Aloe vera como coagulante para disminuir la concentración de los parámetros físicos químicos en la PTAR del distrito de Yauli.

El propósito principal fue resolver un problema real y concreto destinado a la acción: la contaminación generada por las aguas residuales en el distrito de Yauli-Huancavelica. El estudio propuso y evaluó el uso de sábila Aloe vera en gel como una opción de coagulante natural para disminuir efectivamente la concentración de los parámetros fisicoquímicos en el efluente.

3.3. Nivel de investigación

El nivel de indagación fue explicativo, el cual se justifica porque la investigación no solo describió la eficiencia del bio-coagulante, sino que buscó establecer una relación de causalidad entre la manipulación de la dosis del coagulante de sábila y la disminución de parámetros fisicoquímicos. De esta manera, se explicó el porqué y el cómo la dosis óptima del coagulante influyó en la calidad del agua residual tratada. Según Hernández et al. (2014) los estudios explicativos no solo son descripciones de conceptos, sino responder por qué ocurre un fenómeno haciendo relación de las variables de estudio.

3.4. Método de investigación

3.4.1. Método general

La exploración se empleó bajo el desarrollo del método científico; según Hernández et al. (2014), el objetivo principal de la metodología fue someter a prueba una relación de causalidad. El proyecto empezó con la

observación del problema de contaminación de las aguas residuales, lo que condujo a la formulación de una hipótesis sobre el fenómeno producido por el extracto de la sábila como coagulante de Aloe vera en gel. Seguidamente, se ejecutaron las pruebas de laboratorio, en las cuales se analizaron estos datos para determinar si la hipótesis sobre la eficiencia del bio-coagulante fue confirmada, y concluyendo ya con el ciclo científico.

3.4.2. Métodos específicos

El método analítico que se ejecutó fue la justificación para la validación de los resultados, donde se ejecutó y aplicó el uso de las normas técnicas en el laboratorio de los parámetros físicos y químicos. Luego, la información se calculó por la remoción del bio-coagulante por porcentaje, seguido al procedimiento se aplicó la estadística inferencial. Según Arias (2012), la estadística ayudó a comparar las medidas de los grupos experimentales, así como del grupo de control, asegurando que la mejora no sea un producto al azar, sino el efecto de la dosis de la sábila.

3.5. Diseño de investigación

3.5.1. Diseño experimental

El diseño de la indagación fue de tipo experimental. Según la definición propuesta por Hernández et al. (2018), un diseño experimental puro es un proceso en el que se somete al objeto de estudio a la acción deliberada de una variable independiente para examinar los efectos que se producen en la variable dependiente. Por ello, la presente investigación se desarrolló cumpliendo las características fundamentales de este diseño.

- Se estableció una condición inicial mediante la medición de valores numéricos de parámetros físicos y químicos, en el agua residual cruda, preprueba.

- Se aplicó el bio-coagulante de sábila en su dosis óptima como tratamiento.
- Se analizaron y midieron los nuevos valores de parámetros físicos y químicos, lo que permitió cuantificar y explicar la eficiencia de remoción alcanzada, posprueba.

$$\frac{RG_1 \quad O_1 \quad X \quad O_2}{RG_2 \quad O_3 \quad Y \quad O_4}$$

Donde:

$RG_1; RG_2 = 40$ L de agua residual de PTAR

$O_1; O_3 =$ Medición antes de la muestra (preprueba)

$O_2; O_4 =$ Medición después de la muestra (posprueba)

$x =$ Aplicación del coagulante aloe vera en gel

$Y =$ grupo de control

Se utilizaron grupos $RG_1; RG_2; RG_3; RG_4; RG_5$ en los cuales la medición antes y después, en los grupos se aplicó el coagulante aloe vera en gel y un grupo de control.

3.5.2. Diseño Factorial

a) *Nomenclatura y Diseño*

Se empleó un Diseño Factorial Completo 3×3 con un factor de dos vías, el cual permitió evaluar la incidencia principal de dos variables independientes y su interacción sobre el rendimiento en la eliminación de sustancias contaminantes en aguas residuales domésticas (ARD) del afluente de la PTAR-Yauli.

- ✓ Modelo Estadístico Asociado: Análisis de Varianza (ANOVA) Factorial de dos vías.

✓ Notación: 3² (Dos factores con tres niveles cada uno).

✓ Réplicas por Tratamiento (r): 3.

b) Definición de Factores y Niveles

Se seleccionaron niveles para cada factor con el objetivo de identificar el punto de máxima eficiencia y delimitar el rango de respuesta del bio-coagulante.

Tabla 7

Factores de la eficiencia del Aloe vera como coagulante

Categoría	Factor	Notación	Unidad	Niveles Seleccionados
A	Dosis de Sábila (Bio-Coagulante)	X	mg/L	✓ X1=300
				✓ X2=600
				✓ X3=900
B	Tiempo de Floculación	Y	Min	✓ Y1=10
				✓ Y2=15
				✓ Y3=20

c) Matriz de Tratamientos Experimentales

El diseño generó 9 tratamientos únicos, los cuales se ejecutaron por triplicado (r=3), más un Grupo Control también por triplicado, resultando en un total de 30 ensayos por serie experimental.

Tabla 8

Ensayos – tratamiento de agua residual

Tratamiento	Dosis (A) mg/L	Tiempo (B) min	Réplicas (r)	Total, de Ensayos
GC (Control)	0	0	3	3
T1	300 (X1)	10 (Y1)	3	3
T2	300 (X1)	15 (Y2)	3	3
T3	300 (X1)	20 (Y3)	3	3
T4	600 (X2)	10 (Y1)	3	3
T5	600 (X2)	15 (Y2)	3	3
T6	600 (X2)	20 (Y3)	3	3
T7	900 (X3)	10 (Y1)	3	3
T8	900 (X3)	15 (Y2)	3	3
T9	900 (X3)	20 (Y3)	3	3
		TOTAL		30

✓ La dosis se expresa en mg/L (ppm) de aloe vera en gel.

La estandarización de la dosis en mg/L constituyó una práctica ampliamente utilizada en estudios experimentales con coagulantes biológicos, ya que permitió cuantificar la masa activa de biopolímeros (polisacáridos) presentes

en el gel de Aloe vera, reduciendo la variabilidad asociada al contenido de humedad del gel fresco. Esta estandarización garantizó la replicabilidad del experimento y permitió la comparación directa con la literatura técnica y científica relacionada con el nivel recomendado de coagulantes biológicos empleados en procesos de coagulación-floculación.

✓ Número de Réplicas ($r=3$):

Tener $r=3$ asegura un total de 18 Grados de Libertad (GL) en el Error ($GL_{Error}=ab(r-1)=3 \times 3 \times 2=18$). Esto proporcionó un alto poder estadístico al ANOVA para diferenciar las variaciones causadas por los factores controlados (Dosis y Tiempo) de las variaciones aleatorias de laboratorio.

✓ Parámetros Fijos (Controlados) en la Prueba de Jarras

Para aislar el efecto de los factores A y B, se mantuvieron constantes los siguientes parámetros operativos:

Tabla 9
Parámetros controlados

Parámetro Controlado	Valor Fijo	Propósito
Volumen de Muestra por Vaso	1 litro	Estándar de la prueba de jarras para obtener suficiente volumen para análisis post-tratamiento (O2).
Velocidad de Mezcla Rápida	150 rpm	Asegurar la mezcla inmediata y la dispersión inicial del coagulante.
Tiempo de Mezcla Rápida	1 min	Tiempo estándar para la coagulación.
Velocidad de Mezcla Lenta	30 rpm	Garantizar la gradiente de velocidad para la formación y crecimiento de los flóculos.
Tiempo de Sedimentación	30 min	Permitir la decantación de los flóculos antes de la toma de muestra del sobrenadante.

✓ Requerimiento de Muestreo (Corrección Operativa)

Para la ejecución de la serie completa de 30 ensayos con 1 L por vaso, se necesitó una muestra única y homogénea de gran volumen.

- Volumen Total Para Extraer: Mínimo 40 Litros del afluente de la PTAR-Yauli.

- Protocolo: Todo el agua residual se recolectó en un solo evento de muestreo, se homogeneizó completamente y se mantuvo refrigerada (4°C) para garantizar que los 30 ensayos se realicen con ARD de calidad idéntica.

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población

Se definió como el flujo continuo de agua residual doméstica (ARD) que ingresa diariamente al proceso de tratamiento, es decir, el afluente de la PTAR del Distrito de Yauli. Esta población constituyó el universo de la materia sobre la cual se buscó generalizar la eficiencia del bio-coagulante de sábila. Para asegurar la validez experimental de las 30 corridas de la matriz factorial, el volumen total de agua residual fue utilizado para una serie completa de experimentación, será de 40 litros aproximadamente (30L = ensayos, 10L = margen de seguridad). Este volumen es crítico para cubrir la necesidad de muestra en todos los ensayos y los análisis de línea base.

3.6.2. Muestra

Se aplicó un muestreo compuesto representativo extraído directamente del afluente de la PTAR-Yauli. Este proceso es fundamental para la experimentación, ya que garantizó la capacidad de generar datos que reflejen la calidad del agua real de la TAR (Tamayo, 2003). Para la ejecución de la matriz experimental, se extrajeron una muestra de 40 litros en un solo evento, la cual fue completamente homogeneizada para asegurar que los 30 ensayos se realicen con agua de calidad idéntica, minimizando la varianza no controlada.

El diseño factorial 3×3 con 3 réplicas requirió un total de 30 análisis experimentales (vasos de jarra) por cada serie. Para cada uno de estos 30 ensayos, se utilizó 1 litro de agua residual doméstica. Esta medida de 1 L fue el estándar operativo de la prueba de jarras y aseguró que el volumen de sobrenadante extraído por post-tratamiento (500 mL) fuera suficiente para

realizar todos los análisis de rigor de los parámetros físicos y químicos sin comprometer la muestra.

3.6.3. Muestreo

Se desarrolló por el muestreo no probabilístico por conveniencia, por lo que se justificó la selección de las muestras enfocada a los criterios de accesibilidad y practicidad en la toma del afluente, buscando la porción representativa de manera intencional y conveniente para el diseño experimental (Niño, 2011). Por lo tanto, el método permitió asegurar la cantidad de agua residual requerida en el momento preciso para la ejecución de las pruebas de las jarras y los análisis de laboratorio.

3.6.4. Técnicas

Se empleó la observación científica como técnica, la cual permitió la recolección de datos al guiarse con el registro cauteloso de cómo se ejecuta la actividad experimental (González, 1997).

De este modo, se aplicaron las siguientes técnicas específicas:

- Observación Directa: Durante la preparación del coagulante y las pruebas de jarras.
- Análisis de Laboratorio: Para la cuantificación de parámetros.
- Protocolo de Muestreo (R.M. N° 273-2013-VIVIENDA): Para asegurar la correcta toma y preservación de las muestras.
- Ficha de Registro de Datos y Cadena de Custodia: para la documentación y trazabilidad de la información.

3.6.5. Instrumentos

El presente estudio empleó como instrumento la ficha de recolección de datos. Estos instrumentos se seleccionaron para garantizar la objetividad y la

seguridad en la recolección de datos cuantitativos parametrizados durante el diseño experimental (Hernández y otros, 2014); los instrumentos clave fueron los siguientes:

A. Ficha de registro de ensayo experimental

La ficha de registro y observación es un instrumento estructurado diseñado para documentar de manera sistemática todas las variables operacionales controladas y las observaciones cualitativas obtenidas durante el proceso de la experimentación.

Este instrumento fue crucial para la trazabilidad y la reproducibilidad de las condiciones del experimento (Sierra, 2001), dado el alto número de ensayos 30 requeridos por el diseño factorial. La ficha se utilizó en el laboratorio durante el desarrollo de cada prueba de jarras, asegurando que se registraran los siguientes elementos clave:

- ✓ Variables de Diseño: Se registró la Dosis del bio-coagulante de sábila aplicada (Factor A: 300, 600 o 900 mg/L) y el Tiempo de Flocculación (Factor B: 10, 15 o 20 min).
- ✓ Variables Controladas: Se documentó la verificación de los parámetros operativos que se mantuvieron constantes, como la velocidad de mezcla rápida (150 rpm) y lenta (30 rpm), y el tiempo de sedimentación (30 min).
- ✓ Variables de Respuesta Inicial y Final: Se registraron los valores del pH inicial del agua residual cruda y el pH final tras el tratamiento, así como la medición de los parámetros de calidad de agua físicos y químicos antes (O1) y después (O2) del ensayo.
- ✓ Observaciones Cualitativas: Se incluyó un espacio para la descripción visual de la formación del flóculo, su tamaño, densidad y velocidad de sedimentación. Esta información fue vital para correlacionar la eficacia del bio-coagulante con las variables operativas, proporcionando un soporte visual a los datos cuantitativos.

B. Matriz de Análisis de Parámetros Físicoquímicos

La matriz de parámetros consistió en el procesamiento de los datos para analizar el contraste por la tabulación de los datos obtenidos, su principal función fue centralizar los datos para el cálculo de la eficiencia.

- ✓ La matriz se completó una vez que el laboratorio certificado haya emitido los resultados analíticos para las muestras tratadas y el grupo de control. Se ingresaron los valores de concentración inicial del afluente y del efluente tratado para parámetros físicos y químicos. Su función principal fue asegurar la trazabilidad y el control de la Variable Independiente, que es un requisito esencial de todo experimento de laboratorio (Arias, 2012).

3.7. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

Para la gestión de los datos de procesamiento de análisis, se manejaron los software IBM SPSS y el Microsoft Excel. La recolección fue parte experimental y los resultados de laboratorios pasaron por filtros o tratamientos estadísticos para la validación de los resultados. El programa IBM SPSS Statistics se empleó para la realización de la Estadística Inferencial, siendo un software estadístico muy utilizado que permitió a los investigadores manejar y examinar volúmenes significativos de información para formular y contrastar hipótesis (Rivadeneira & De la Hoz, 2020).

- Análisis Descriptivo: Se computarizaron medidas de tendencia central, dispersión y distribución de los parámetros físicoquímicos antes y después del tratamiento.
- Análisis Inferencial: Se empleó la prueba de Análisis de Varianza para evaluar si había diferencias que sean estadísticamente relevantes en la remoción de contaminantes entre los diferentes niveles de dosis del bio-coagulante. Esto permitió confirmar el nivel explicativo de la indagación (Hernández & Mendoza, 2018).

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

4.1.1. Análisis descriptivos

4.1.1.1. Resultados del efecto de la dosis y tiempo de contacto del aloe vera en los parámetros físicos

El diseño experimental de este estudio estructuró la variable independiente, referida a la concentración del biocoagulante de Aloe vera , en cuatro niveles de tratamiento diferenciados. Estos rangos se establecieron desde un grupo control (0 mg/L) hasta concentraciones incrementales de 300, 600 y 900 mg/L (codificadas del 0 al 3, respectivamente). Dicha organización permitió contrastar, mediante herramientas estadísticas como el ANOVA, cómo influye gradualmente la dosificación del gel de sábila en el comportamiento de los parámetros físicos y químicos del efluente de la PTAR Yauli.

4.1.1.1.1. Concentración de Aloe Vera en los parámetros físicos

A. Turbidez según la dosis de Aloe vera

Tabla 10

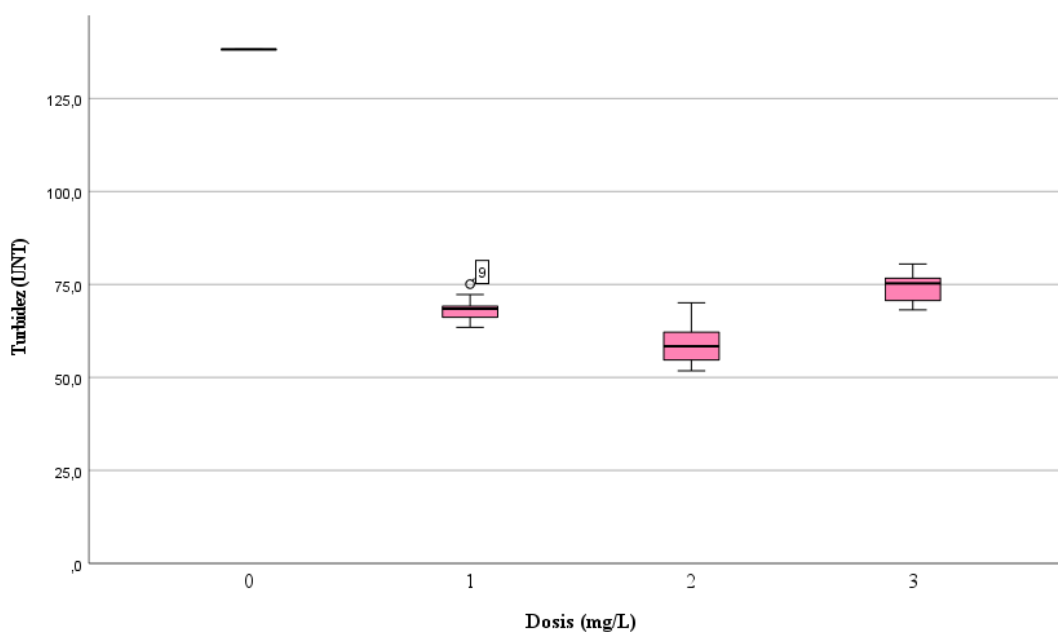
Estadísticos descriptivos de la turbidez (UNT) según dosis de Aloe vera aplicada

Parámetro físico	Dosis	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Turbidez (UNT)	0	3	138,20	0,00	0,00	138,20	138,20	138,2	138,2
	1	9	68,61	3,44	1,15	65,97	71,26	63,5	75,1
	2	9	59,21	6,24	2,08	54,42	64,01	51,8	70,1
	3	9	74,34	4,20	1,40	71,12	77,57	68,2	80,5
Total		30	74,47	22,85	4,17	65,94	83,00	51,8	138,2

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Figura 5

Diagrama de caja de los estadísticos descriptivos de la turbidez (UNT) según dosis de Aloe vera aplicada



Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Interpretación:

En la Tabla 10 y la Figura 5 se presentan los datos descriptivos concernientes a la turbidez (UNT) del efluente del PTAR de Yauli, analizada bajo

diversas concentraciones del coagulante natural extraído de sábila (Aloe vera). El valor de turbidez inicial (sin coagulante, dosis 0) fue de 138,20 UNT, lo que establece un punto de referencia sin ningún tratamiento. Después de aplicar el coagulante, se observará una reducción notable en todos los niveles de tratamiento. La dosis 1 (300 mg/L) mostró un promedio de 68,61 UNT ($\pm 3,44$); la dosis 2 (600 mg/L) alcanzó el promedio más bajo con 59,21 UNT ($\pm 6,24$); mientras que la dosis 3 (900 mg/L) presentó un promedio de 74,34 UNT ($\pm 4,20$). La tendencia de los datos muestra una disminución continua de la turbidez hasta llegar a un nivel óptimo (dosis 2), seguida de un ligero aumento en la dosis 3. Este fenómeno sugiere un posible caso de sobredosificación, donde un exceso de biopolímeros naturales podría estar causando la restabilización de partículas coloidales en la cantidad de materia orgánica disuelta. En términos prácticos, se recomienda considerar la dosis óptima identificada para futuras investigaciones a escala piloto, así como analizar su viabilidad económica y compararla con coagulantes químicos tradicionales como el sulfato de aluminio.

B. Temperatura según la dosis de Aloe vera

Tabla 11

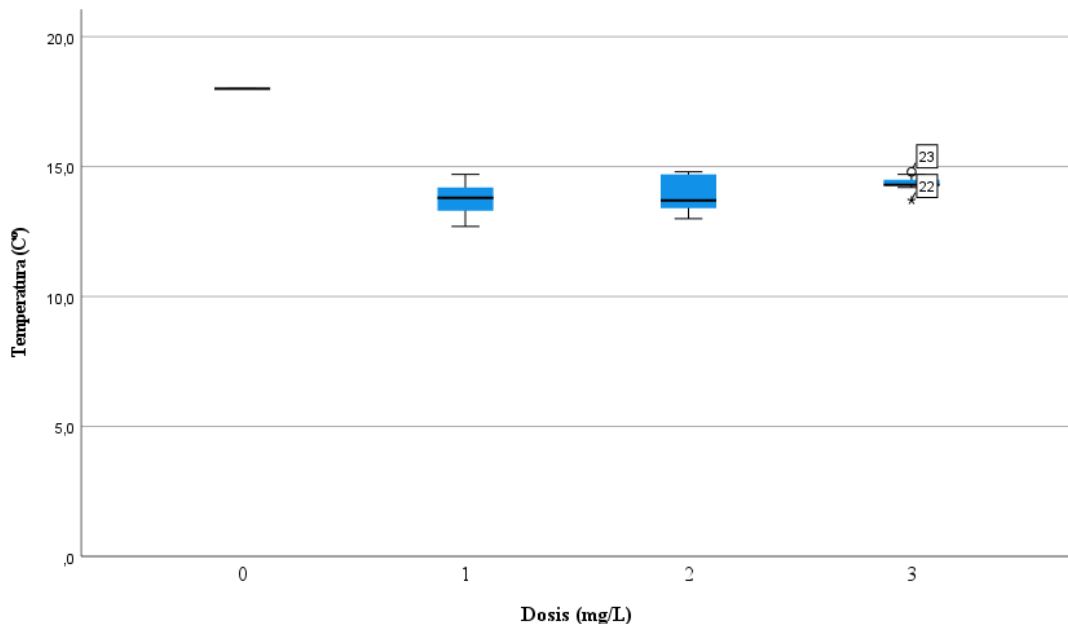
Estadísticos descriptivos de la temperatura (°C) según dosis de Aloe vera aplicada

Parámetro	Dosis	N	Mediana	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Temperatura (C°)	0	3	18,0	0,00	0,00	18,00	18,00	18,0	18,0
	1	9	13,77	0,62	0,21	13,29	14,24	12,7	14,7
	2	9	13,87	0,71	0,24	13,32	14,41	13,0	14,8
	3	9	14,34	0,32	0,11	14,10	14,59	13,7	14,8
	Total	30	14,39	1,35	0,25	13,89	14,89	12,7	18,0

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Figura 6

Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de la temperatura (°C) según dosis de Aloe vera aplicada



Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Interpretación:

La Tabla 11 y la Figura 6 indican que la temperatura inicial del efluente fue de 18,00 °C (sin tratamiento). Tras la adición del coagulante natural de sábila (Aloe vera), las temperaturas medias se redujeron a 13,77 °C, 13,87 °C y 14,34 °C para las dosis 1, 2 y 3, respectivamente. Estos resultados muestran valores consistentes y una baja variabilidad en los tratamientos aplicados. La tendencia observada sugiere una disminución en comparación con el valor inicial, así como una estabilidad entre las diferentes dosis, lo que implica que el coagulante no provoca cambios térmicos significativos durante el mecanismo de coagulación-floculación. Por lo tanto, se concluye que la sábila ayuda a mantener condiciones térmicas estables en el procesamiento del agua residual, lo que es beneficioso para la eficiencia operativa y ambiental de la PTAR de Yauli. Se recomienda proseguir con el monitoreo para asegurar que se mantengan condiciones controladas en futuras aplicaciones a mayor escala.

C. SST según la concentración de Aloe vera

Tabla 12

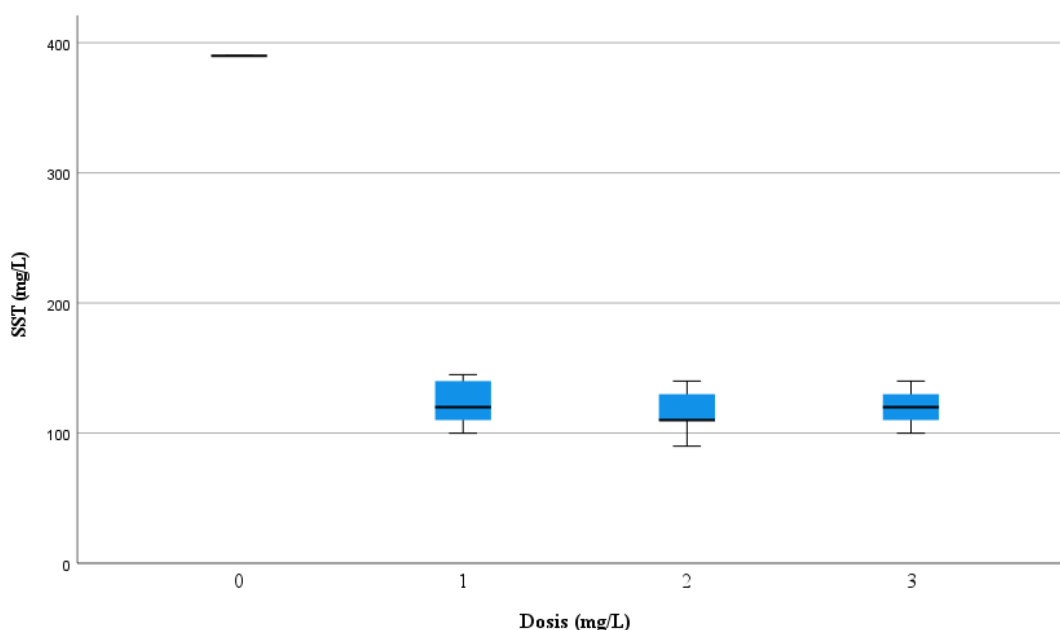
Estadísticos descriptivos de SST según la concentración de aloe vera aplicado

Parámetro	Dosis	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
SST (mg/L)	0	3	390,00	0,00	0,00	390,00	390,00	390	390
	1	9	121,67	16,20	5,40	109,21	134,12	100	145
	2	9	116,11	16,54	5,51	103,40	128,83	90	140
	3	9	121,11	14,53	4,84	109,94	132,28	100	140
Total		30	146,67	83,77	15,29	115,39	177,95	90	390

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Figura 7

Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de SST según la concentración de aloe vera aplicado



Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Interpretación:

La Tabla 12 y Figura 7 muestra los datos descriptivos de los Sólidos Suspendedos Totales (SST) en función de las concentraciones de aloe vera aplicadas al PTAR de Yauli, 2025. El valor inicial, sin ningún tratamiento (dosis

0), fue de 390 mg/L, lo que indica una alta carga de sólidos en el efluente. Tras la implementación del coagulante natural, se registró una reducción significativa en todas las dosis analizadas: 121,67 mg/L (dosis 1), 116,11 mg/L (dosis 2) y 121,11 mg/L (dosis 3). La dosis 2 demostró ser la más eficiente, logrando una disminución aproximada del 70,2% en comparación con el valor inicial, además de presentar intervalos de confianza estables y una dispersión moderada. La tendencia observada refleja una disminución notable hasta alcanzar la dosis óptima (2), seguida de un leve aumento en la dosis 3, lo que podría sugerir un efecto de sobredosisificación. Por lo tanto, se concluye que el aloe vera es efectivo para el descenso de SST, recomendándose la dosis 2 como la concentración ideal para optimizar el proceso de coagulación-floculación en la PTAR de Yauli.

4.1.1.1.2. Tiempo de tratamiento de Aloe Vera en los parámetros físicos

A. Turbidez según el tiempo de tratamiento

Tabla 13

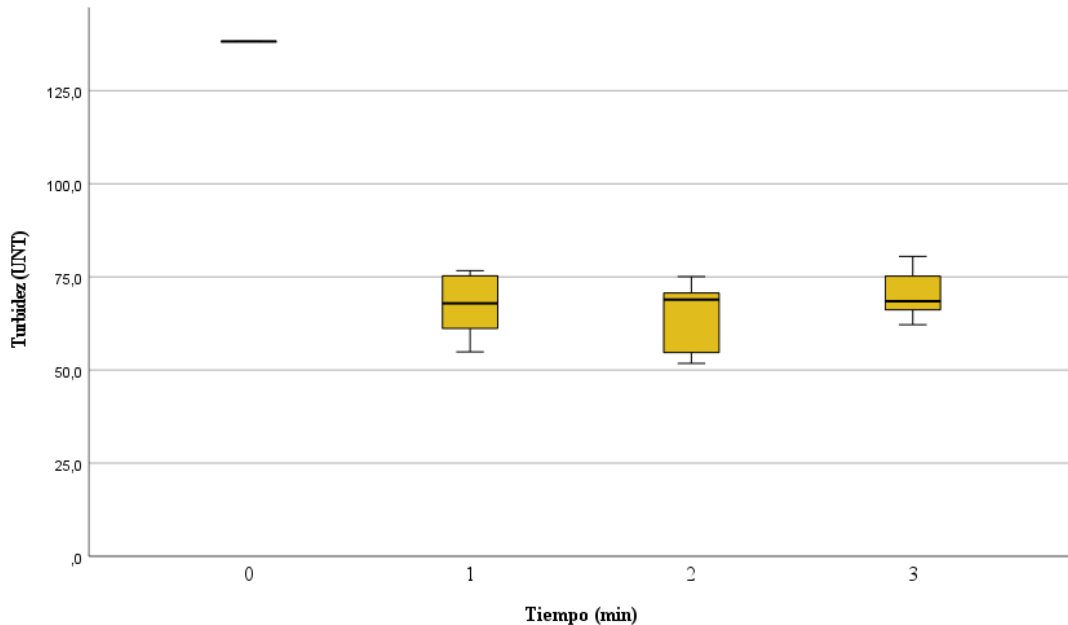
Estadísticos descriptivos de la turbidez (UNT) según el tiempo ejecutado

Parámetro	Tiempo (min)	N	Mediana	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Turbidez (UNT)	0	3	138,20	0,00	0,00	138,20	138,20	138,2	138,2
	1	9	67,19	7,85	2,62	61,15	73,23	54,9	76,7
	2	9	64,91	9,00	3,00	57,99	71,83	51,8	75,1
	3	9	70,07	6,48	2,16	65,08	75,05	62,2	80,5
	Total	30	74,47	22,85	4,17	65,94	83,00	51,8	138,2

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Figura 8

Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de la turbidez (UNT) según el tiempo ejecutado



Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Interpretación:

La Tabla 13 y la Figura 8 de estadísticas descriptivas de la turbidez (UNT) en relación con el tiempo de contacto del coagulante natural de sábila (*Aloe vera*) en el PTAR de Yauli, 2025, indica que el valor inicial sin tratamiento fue de 138,20 UNT, lo que revela una alta carga de partículas en suspensión. Con la aplicación del coagulante, la turbidez se redujo significativamente a 67,19 UNT en el primer intervalo, alcanzando su mínimo de 64,91 UNT en el segundo intervalo, antes de experimentar un ligero aumento a 70,07 UNT en el tercer intervalo. La tendencia muestra una disminución significativa en comparación con el valor inicial, siendo el segundo intervalo el que presenta la mayor eficiencia, con una reducción aproximada del 53,0%. El incremento del nivel observado posteriormente podría estar relacionado con procesos de redispersión o inestabilidad de los flóculos. Por lo tanto, se concluye que existe un tiempo óptimo de contacto que mejora considerablemente la remoción de turbidez, recomendándose el segundo intervalo como la condición más eficiente para el proceso de coagulación-floculación en la PTAR de Yauli.

B. Temperatura según el tiempo de tratamiento

Tabla 14

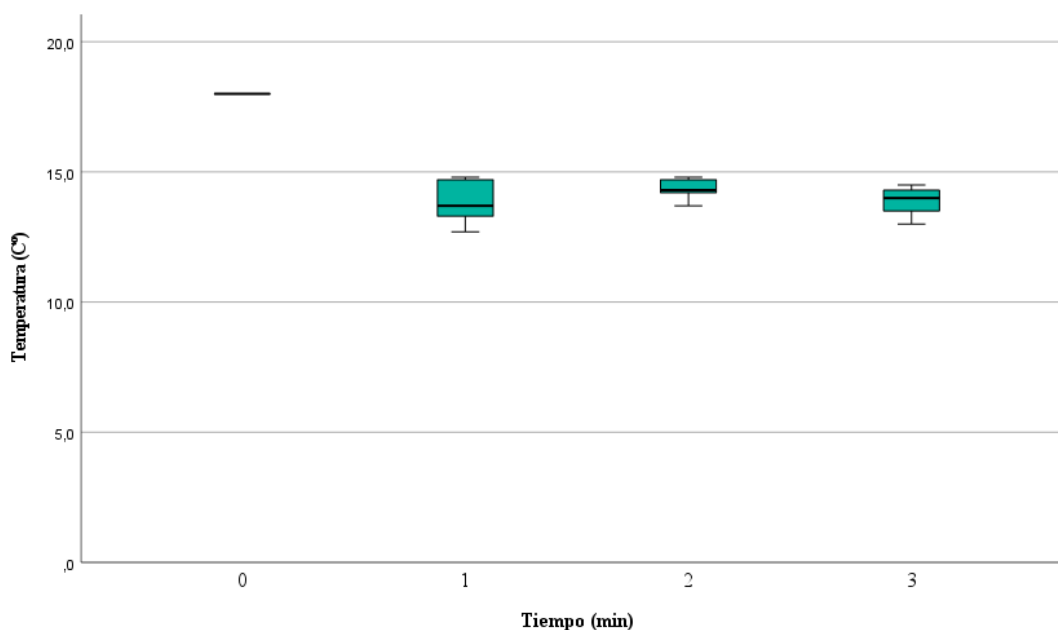
Estadísticos descriptivos de la temperatura (°C) según el tiempo ejecutado

Parámetro	Tiempo (min)	N	Mediana	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
						r	r		
Temperatura (°C)	0	3	18,00	0,00	0,00	18,00	18,00	18,0	18,0
	1	9	13,81	0,78	0,26	13,22	14,41	12,7	14,8
	2	9	14,30	0,39	0,13	14,00	14,59	13,7	14,8
	3	9	13,87	0,54	0,18	13,45	14,28	13,0	14,5
	Totales	30	14,39	1,35	0,25	13,89	14,89	12,7	18,0

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Figura 9

Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de la temperatura (°C) el tiempo ejecutado



Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Interpretación

La Tabla 14 y la Figura 9 de estadísticas descriptivas de la temperatura (°C) en función del tiempo de contacto del coagulante natural de sábila (Aloe vera) en el PTAR de Yauli, 2025, muestran un valor inicial sin tratamiento de 18,00 °C. Después de aplicar el coagulante, la temperatura descendió a 13,81 °C en el primer

intervalo, aumentó ligeramente a 14,30 °C en el segundo intervalo y se estabilizó en 13,87 °C en el tercer intervalo. Estos resultados evidencian baja variabilidad y rangos estrechos en los intervalos de confianza al 95%. La tendencia indica una disminución en comparación con el valor inicial y una estabilidad térmica a lo largo del procedimiento de coagulación-floculación, sin cambios bruscos relacionados con el tiempo de contacto. Por lo tanto, se puede decir que el tiempo de tratamiento no altera significativamente la temperatura del agua residual, manteniendo condiciones favorables para el proceso. Se recomienda continuar el monitoreo para asegurar la estabilidad operativa en la PTAR de Yauli.

C. SST según el tiempo de tratamiento

Tabla 15

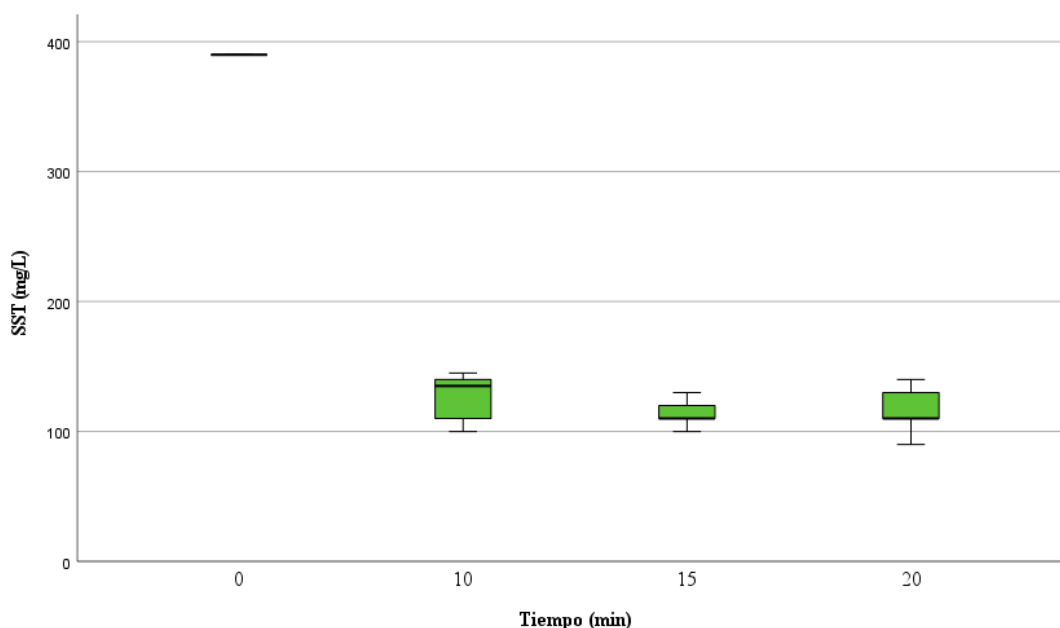
Estadísticos descriptivos de SST según el tiempo ejecutado

Parámetro	Tiempo (min)	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media	
						Límite inferior	Límite superior
SST (mg/L)	0	3	390,00	0,00	0,00	390,00	390,00
	10	9	127,78	16,60	5,54	115,01	140,54
	15	9	114,44	8,82	2,94	107,67	121,22
	20	9	116,67	17,32	5,77	103,35	129,98
	Total	30	146,67	83,77	15,29	115,39	177,95

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Figura 10

Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de SST según el tiempo ejecutado



Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Interpretación

En la Tabla 15 y la Figura 10 el valor inicial sin tratamiento fue de 390 mg/L de Sólidos Suspendidos Totales (SST). Después de aplicar el coagulante, se observará una media de 127,78 mg/L a los 10 minutos, un mínimo de 114,44 mg/L a los 15 minutos, y 116,67 mg/L a los 20 minutos. La tendencia muestra una reducción notable en los SST desde el inicio hasta los 15 minutos, seguida de una ligera variación a los 20 minutos. La mayor eficiencia en la remoción se logró a los 15 minutos, alcanzando aproximadamente un 70,7% de disminución respecto al valor inicial. Esto sugiere que este tiempo es el más adecuado para maximizar la sedimentación y la formación de flóculos. Por lo tanto, se recomienda establecer 15 minutos como el tiempo óptimo para el proceso de coagulación-floculación, con el fin de mejorar la eficiencia del tratamiento en la PTAR de Yauli.

4.1.1.2. Resultados del efecto de la dosis y tiempo de contacto del aloe vera en los parámetros físicos

4.1.1.2.1. Concentración de Aloe Vera en los parámetros químicos

A. DBO5 según la concentración de Aloe vera

Tabla 16

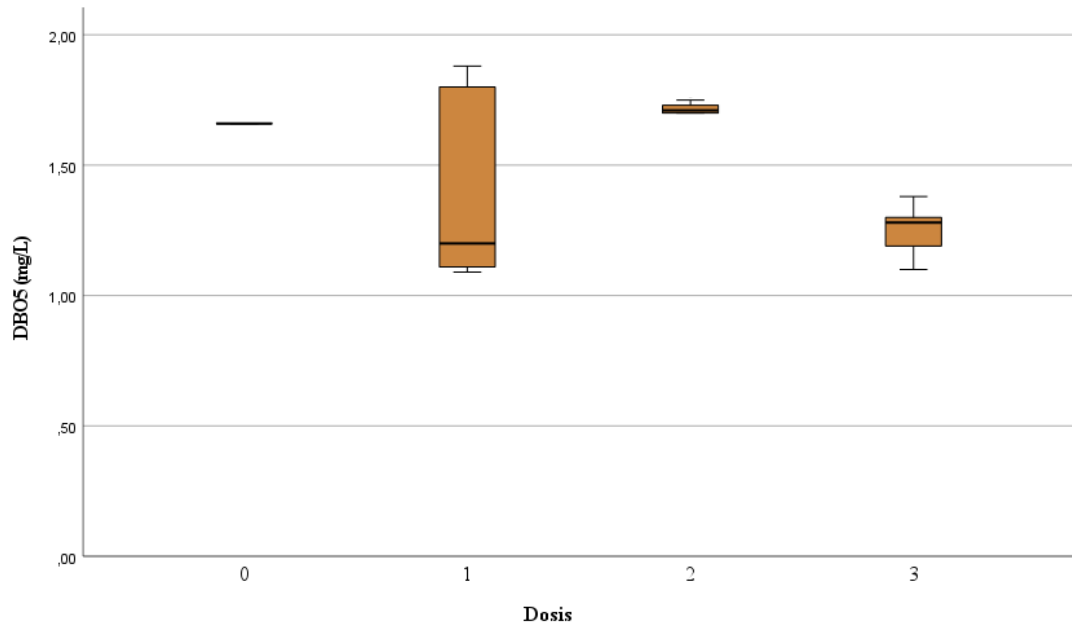
Estadísticos descriptivos de DBO5 según la concentración de aloe vera aplicado

Parámetro	Dosis	N	Mediana	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
DBO5 (mg/L)	0	3	1,66	0,00	0,00	1,66	1,66	1,66	1,66
	1	9	1,38	0,34	0,12	1,11	1,64	1,09	1,88
	2	9	1,66	0,19	0,06	1,52	1,81	1,17	1,78
	3	9	1,26	0,09	0,03	1,19	1,33	1,10	1,38
	Totales	30	1,46	0,28	0,05	1,35	1,56	1,09	1,88

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Figura 11

Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de DBO₅, según la concentración de aloe vera aplicado



Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Interpretación:

La Tabla 16 y la Figura 11 de estadísticas descriptivas de la DBO₅ (mg/L) en función de las dosis del coagulante natural de sábila (Aloe vera) en el PTAR de Yauli, 2025, revela que el valor inicial sin tratamiento fue de 1,660 mg/L. Luego de la aplicación del coagulante, la dosis 1 mostró un promedio de 1,38 mg/L, la dosis 2 alcanzó 1,66 mg/L, mientras que la dosis 3 presentó el valor más bajo con 1,26 mg/L, además de evidenciar una baja dispersión (DE = 0,090). La tendencia indica que la dosis 3 proporciona la mayor reducción de DBO₅, logrando aproximadamente un 24,2% de disminución en comparación con el valor inicial, mientras que la dosis 2 no mostró una mejora significativa respecto al control. Esto sugiere que la efectividad del aloe vera en la eliminación de materia orgánica biodegradable varía según la concentración utilizada, siendo la dosis 3 la más adecuada para este parámetro. Por lo tanto, se recomienda considerar esta dosis como la óptima para la reducción de DBO₅, complementando el análisis con pruebas estadísticas inferenciales para validar las diferencias significativas entre los tratamientos.

B. pH según la concentración de Aloe vera

Tabla 17

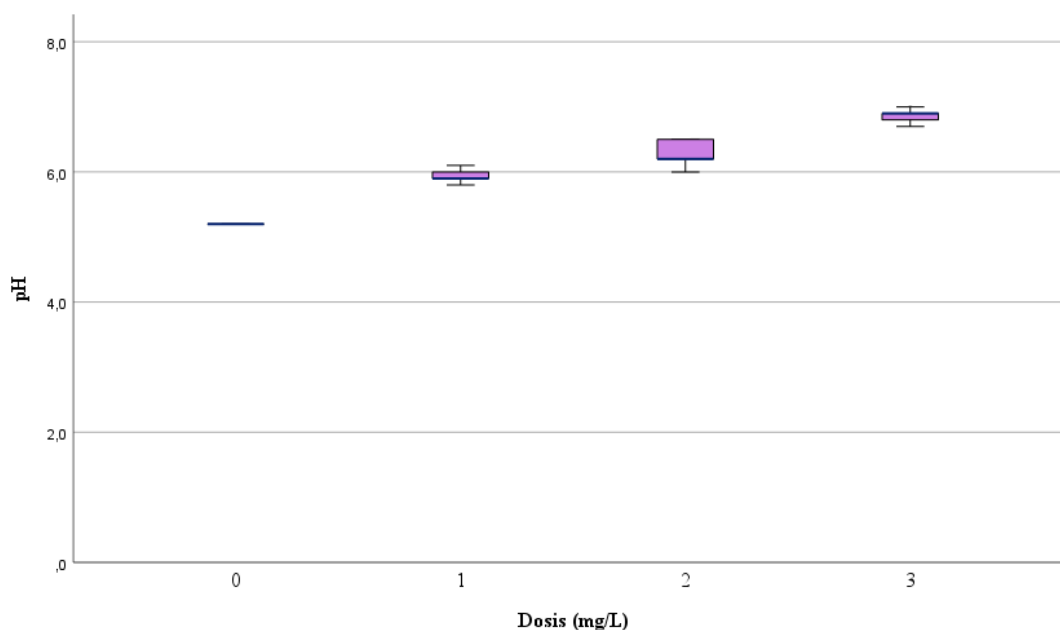
Estadísticos descriptivos de pH según la concentración de aloe vera aplicado

Parámetro	Dosis	N	Mediana	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
pH	0	3	5,20	0,00	0,00	5,20	5,20	5,2	5,2
	1	9	5,94	0,11	0,04	5,86	6,03	5,8	6,1
	2	9	6,40	0,39	0,13	6,09	6,70	6,0	7,1
	3	9	6,88	0,12	0,04	6,79	6,97	6,7	7,1
	Total	30	6,29	0,57	0,10	6,08	6,49	5,2	7,1

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Figura 12

Diagrama de caja de los estadísticos descriptivos de pH según la concentración de aloe vera aplicado



Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Interpretación

La Tabla 17 y la Figura 12 de estadísticas descriptivas del pH en función de las dosis del coagulante natural de sábila (Aloe vera) en el PTAR de Yauli, 2025, muestran que el valor inicial sin tratamiento fue de 5,20, lo que indica un ambiente ácido. Con la aplicación del coagulante, se registró un aumento

progresivo del pH: 5,94 en la dosis 1, 6,40 en la dosis 2 y 6,88 en la dosis 3, evidenciando baja dispersión y rangos estrechos en los intervalos de confianza al 95%. La tendencia observada sugiere una neutralización gradual del medio, acercándose a condiciones casi neutras en la dosis 3, lo que resulta beneficioso para los procesos biológicos y para cumplir con los estándares ambientales. Por lo tanto, se concluye que el aloe vera ayuda a estabilizar el pH del efluente, siendo la dosis 3 la que logra el valor más adecuado; Se recomienda considerar esta concentración para corregir condiciones de acidez durante el tratamiento.

4.1.1.2.2. Tiempo de tratamiento con Aloe Vera en los parámetros químicos

A. DBO5 según el tiempo de tratamiento

Tabla 18

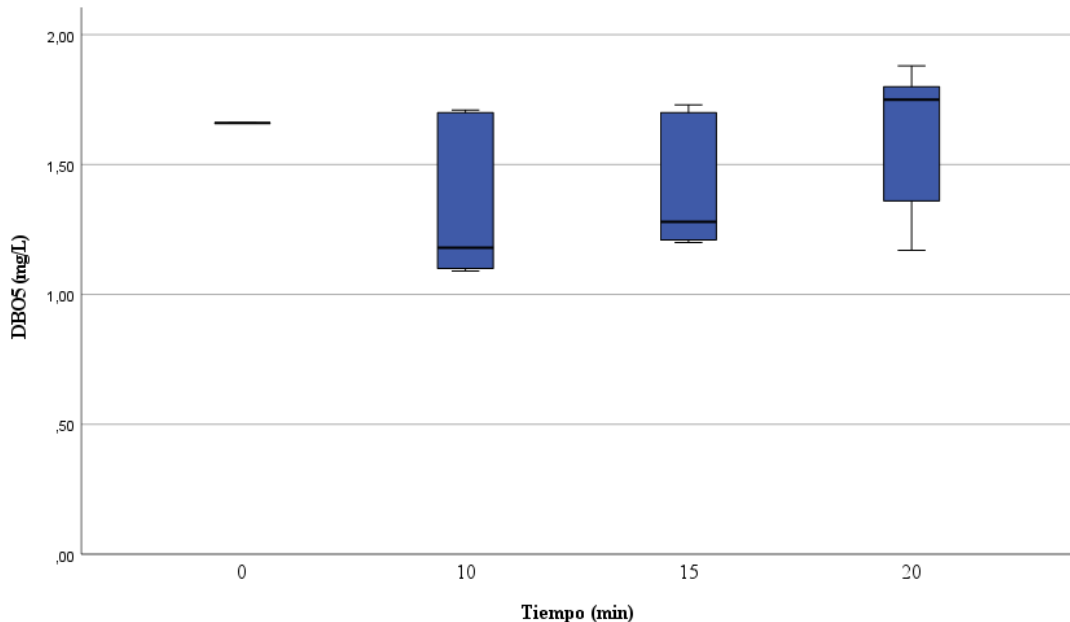
Estadísticos descriptivos de DBO5 según el tiempo ejecutado

Parámetro	Tiempo (min)	N	Mediana	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
DBO5 (mg/L)	0	3	1,66	0,00	0,00	1,66	1,66	1,66	1,60
	1	9	1,38	0,34	0,12	1,11	1,64	1,09	1,88
	2	9	1,66	0,19	0,06	1,52	1,81	1,17	1,78
	3	9	1,26	0,09	0,03	1,19	1,33	1,10	1,38
	Totales	30	1,46	0,28	0,05	1,35	1,56	1,09	1,88

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Figura 13

Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de DBO5 según el tiempo ejecutado



Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Interpretación

La Tabla 18 y la Figura 13 de estadísticas descriptivas de la DBO₅ (mg/L) en función del tiempo de contacto del coagulante natural de sábila (Aloe vera) en el PTAR de Yauli, 2025, muestran que el valor inicial sin tratamiento fue de 1,660 mg/L. Después de aplicar el coagulante, se registró una reducción a 1,379 mg/L en el primer intervalo, mientras que en el segundo intervalo se obtuvo un aumento a 1,663 mg/L, que se asemeja al valor inicial. Finalmente, en el tercer intervalo, se alcanzó la media más baja de 1,259 mg/L, con una baja dispersión (DE = 0,090). La tendencia indica que la alta eficacia en la remoción de materia orgánica susceptible de ser descompuesta biológicamente se logra en el último intervalo, con una reducción aproximada del 24,2% respecto al valor inicial. Por lo tanto, se concluye que un mayor tiempo de contacto favorece la disminución de la DBO₅, recomendándose el tiempo correspondiente al tercer intervalo como la condición óptima para mejorar la eficiencia del tratamiento en la PTAR de Yauli.

B. pH según el tiempo de tratamiento

Tabla 19

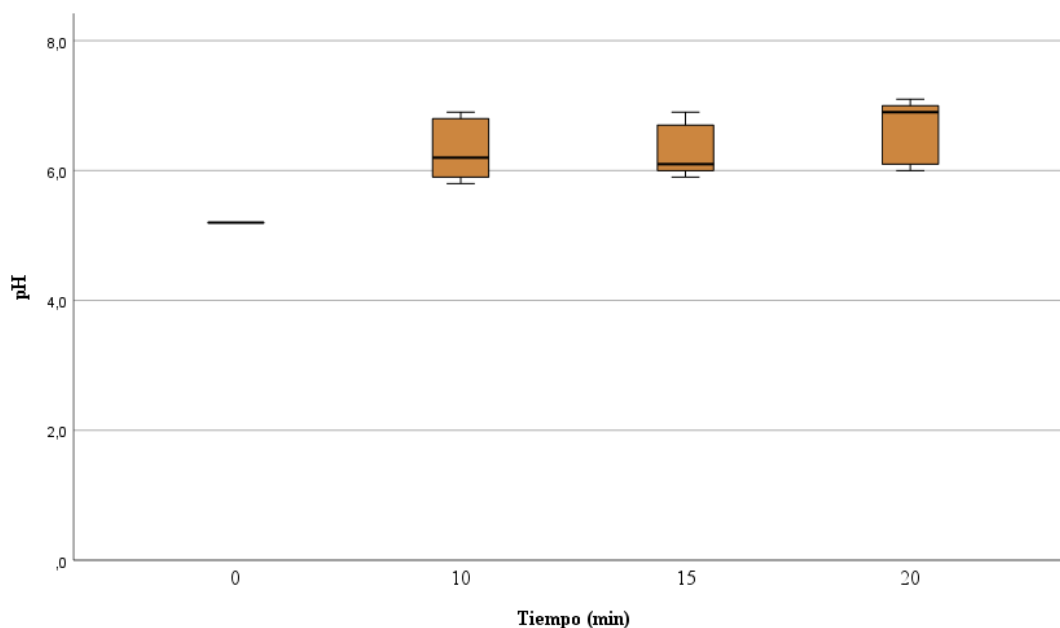
Estadísticos descriptivos de pH según el tiempo ejecutado

Parámetro	Tiempo (min)	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media	
						Límite inferior	Límite superior
pH	0	3	5,200	0,0000	0,0000	5,200	5,200
	10	9	6,300	0,4387	0,1462	5,963	6,637
	15	9	6,278	0,4055	0,1352	5,966	6,589
	20	9	6,644	0,4693	0,1564	6,284	7,005
	Total	30	6,287	0,5667	0,1035	6,075	6,498

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Figura 14

Diagrama de cajas de los estadísticos descriptivos de pH según el tiempo ejecutado



Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Interpretación

La Tabla 19 y la Figura 14 de estadísticas descriptivas del pH en relación con el tiempo de contacto del coagulante natural de sábila (Aloe vera) en el PTAR de Yauli, 2025, revelan que el valor inicial sin tratamiento fue de 5,20, lo que indica un nivel de ácido en el agua residual. Con la aplicación del coagulante, el pH aumentó a 6,30 a los 10 minutos, a 6,28 a los 15 minutos y alcanzó un máximo de 6,64 a los 20 minutos. Estos resultados muestran una dispersión moderada y rangos estrechos en los intervalos de confianza al 95%. La tendencia observada

indica una neutralización gradual a medida que se incrementa el tiempo de contacto, siendo 20 minutos el periodo que proporciona la mayor estabilización hacia niveles más cercanos a la neutralidad. Por lo tanto, el tiempo de contacto favorece el proceso para la corrección del pH, recomendándose un tiempo de 20 minutos para optimizar la estabilización del potencial de hidrógeno durante el proceso de tratamiento.

4.1.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Prueba de normalidad

Tabla 20

Prueba de normalidad- Shapiro-Wilk

Parámetros	Dosis			Tiempo (min)		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DBO5 (mg/L)	0			0		
	1	0,737	9	0,004	10	0,700
	2	0,523	9	0,000	15	0,725
	3	0,963	9	0,828	20	0,845
SST (mg/L)	0			0		
	1	0,885	9	0,178	10	0,843
	2	0,954	9	0,734	15	0,913
	3	0,907	9	0,296	20	0,933
pH	0			0		
	1	0,899	9	0,248	10	0,873
	2	0,820	9	0,034	15	0,819
	3	0,940	9	0,586	20	0,814
Turbidez (UNT)	0			0		
	1	0,954	9	0,730	10	0,930
	2	0,937	9	0,549	15	0,826
	3	0,927	9	0,454	20	0,926
Temperatura (C°)	0			0		
	1	0,984	9	0,982	10	0,883
	2	0,852	9	0,078	15	0,915
	3	0,899	9	0,247	20	0,905

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

La Tabla 20 revela los datos obtenidos en la prueba de normalidad con Shapiro-Wilk para los parámetros analizados con diferentes dosis del natural de sábila (Aloe vera) en el PTAR de Yauli, 2025, revela que, sólidos suspendidos totales (SST) y la temperatura mostraron un ajuste perfecto a la campana de Gauss en todos los escenarios evaluados (($p > 0,05$)). Aun así algunas mostraron desviaciones puntuales; como el caso de la DBO₅, se detectan anomalías en las dosis D1 y D2, así como en los intervalos de 10 y 15 minutos. El pH mostró

irregularidades en la dosis 2 y en los tiempos finales (15 y 20 min), mientras que la turbidez solo se desvió de la normalidad en el minuto 15. En estos puntos específicos, la significancia fue inferior al umbral de 0,05, aun así más del 50 % de datos presentaron normalidad.

Se optó por proceder con el ANOVA de dos factores. Esta decisión se fundamenta en dos pilares: primero, el tamaño muestral ($n = 9$) facilita un respaldo consistente para la evaluación de los datos; y segundo, la literatura estadística reconoce que el ANOVA es un modelo robusto capaz de tolerar desviaciones moderadas en la distribución de los datos sin perder validez, condicionado a la verificación de la homocedasticidad (igualdad de varianzas). Por lo que, se aplicó el ANOVA con un nivel de confianza del 95% para contrastar el impacto de las dosis y los tiempos en el proceso de tratamiento.

4.1.2. Hipótesis específica 1

A. Hipótesis:

La adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros físicos (Turbidez, Temperatura y SST) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.

Hipótesis estadísticas:

- H0: Las medias de turbidez y temperatura de los diferentes grupos de temperatura son iguales.
- H1: Al menos una de las medias de turbidez y temperatura de los diferentes grupos de temperatura es distinta al resto.

B. Significancia: 0.05

C. Pruebas de análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 21

Prueba ANOVA para turbidez y temperatura según dosis de Aloe Vera

Parámetros		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
SST (mg/L)	Entre grupos	197538,889	3	65846,296	286,395	0,000

Turbidez (UNT)	Dentro de grupos	5977,778	26	229,915		
	Total	203516,667	29			
	Entre grupos	14589,123	3	4863,041	231,066	0,000
Temperatura (C°)	Dentro de grupos	547,200	26	21,046		
	Total	15136,323	29			
	Entre grupos	45,076	3	15,025	49,312	0,000
	Dentro de grupos	7,922	26	0,305		
	Total	52,999	29			

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Tabla 22

Prueba ANOVA para turbidez y temperatura según tiempo

Parámetros		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig .
SST (mg/L)	Entre grupos	198288,89	3	66096,296	328,725	0
	Dentro de grupos	5227,778	26	201,068		
	Total	203516,67	29			
Turbidez (UNT)	Entre grupos	13658,525	3	4552,842	80,102	0.0
	Dentro de grupos	1477,798	26	56,838		
	Total	15136,323	29			
Temperatura (C°)	Entre grupos	44,65	3	14,883	46,349	0.0
	Dentro de grupos	8,349	26	0,321		
	Total	52,999	29			

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

D. Decisión:

- Si $p\text{-valor ANOVA} < 0.05 \rightarrow$ Se rechaza H_0
- Si $p\text{-valor ANOVA} \geq 0.05 \rightarrow$ Se acepta H_0

E. Análisis de la Prueba ANOVA:

Tabla 21 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicados a la turbidez y la temperatura, en relación con las distintas concentraciones del coagulante de Aloe vera en la PTAR de Yauli (2025), confirman la existencia de variaciones estadísticamente significativas. En el caso de los SST (mg/L), se reportó un valor $F = 286,395$ con $p = 0,000 (< 0,05)$, lo que indica diferencias altamente significativas, confirmando la influencia directa de la concentración de sábila en la eliminación de sólidos suspendidos. En cuanto a la

turbidez (UNT), el valor de $F = 231,066$ y una significancia de $p = 0,000$ ($p < 0,05$) demuestran que la dosificación del producto natural afecta de manera directa la eliminación de sólidos suspendidos, existiendo diferencias marcadas entre los tratamientos. Del mismo modo, la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) registró un valor $F = 49,312$ con $p = 0,000$, lo que también indica disparidades significativas entre las dosis; no obstante, estas fluctuaciones se consideran técnicamente irrelevantes para el proceso global, ya que los valores permanecen en rangos operativos estables. Por lo tanto, se evidencian suficientes para rechazar la hipótesis nula.

La Tabla 22 evidencia el análisis de varianza (ANOVA) aplicado a la turbidez y la temperatura en relación con el tiempo de contacto del coagulante de Aloe vera en la PTAR de Yauli (2025) que confirma la existencia de variaciones estadísticas determinantes. En el caso de los SST (mg/L), se registró un valor $F = 328,725$ con $p = 0,000$ ($< 0,05$), lo que denota contrastes altamente significativos entre los tiempos de contacto, confirmando que el tiempo afecta de manera clave la eliminación de sólidos suspendidos. En el parámetro de turbidez (UNT), el valor F de $80,102$ y una significancia de $p = 0,000$ ($p < 0,05$) demuestran que el periodo de exposición influye directamente en la clarificación del agua, validando diferencias marcadas entre los tiempos evaluados. De manera similar, la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) registró un valor F de $46,349$ con $p = 0,000$, lo que también señala disparidades significativas desde el punto de vista estadístico; sin embargo, estas fluctuaciones térmicas son técnicamente moderadas y no comprometen la viabilidad del tratamiento.

Al encontrar evidencia suficiente para descartar la hipótesis nula, se ratifica que el tiempo de contacto del coagulante natural afecta significativamente ambos indicadores. Por esta razón, resulta pertinente realizar una prueba post hoc de Tukey para precisar en qué intervalos de tiempo específicos se manifiestan dichas divergencias.

F. Prueba Post Hoc:

Tabla 23*Prueba Post hoc para turbidez según dosis de Aloe Vera y tiempo de ejecución*

Turbidez (UNT)					Turbidez (UNT)				
Tukey B	Subconjunto				Tukey B	Subconjunto			
Dosis (mg/L)	N	1	2	3	Tiempo (min)	N	1	2	3
2	9	59,211			15	9	64,911		
1	9		68,611		10	9	67,189	67,189	
3	9			74,344	20	9		70,067	
0	3				0	3			138,200

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.**Tabla 24***Prueba Post Hoc para temperatura según dosis de Aloe Vera y tiempo de ejecución*

Temperatura (C°)				Temperatura (C°)			
Tukey B			Tukey B				
Dosis (mg/L)	N	Subconjunto	Tiempo (min)	N	Subconjunto		
		1			1	2	
1	9	13,767	10	9	13,811		
2	9	13,867	20	9	13,867		
3	9	14,344	15	9	14,3		
0	3		0	3		18	

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.**G. Análisis de la prueba Post Hoc:**

La Tabla 23 muestra la prueba de comparaciones Múltiples de Tukey para la dimensión temperatura según la dosis aplicada revela la formación de dos subconjuntos homogéneos claramente diferenciados. El primer subconjunto se agrupa a las dosis 1 (13,77 °C), 2 (13,87 °C) y 3 (14,34 °C), las cuales no evidencian diferencias significativas desde el punto de vista estadístico entre sí ($p > 0.05$). Por el contrario, la dosis 0 (18,00 °C) se ubica de forma aislada en un segundo subconjunto, evidenciando una diferencia significativa respecto a todos los tratamientos con coagulante. Mientras que la Tabla 24 evidencia con tiempo de contacto, se observa un comportamiento similar: los tiempos 1 (13,81 °C), 3 (13,87 °C) y 2 (14,30 °C) conforman un subconjunto estadísticamente similar, mientras que el tiempo inicial (18,00 °C) se diferencia significativamente de los demás.

El análisis de la prueba de Tukey revela que la aplicación del coagulante de Aloe vera genera un cambio térmico significativo respecto al grupo control (18,00 °C), pero mantiene una notable estabilidad entre las diferentes dosis y

tiempos de contacto evaluados, los cuales oscilan consistentemente entre los 13,77 °C y 14,34 °C. Al no existir diferencias estadísticas significativas entre las concentraciones ni entre los tiempos de exposición, se concluye que el procedimiento de coagulación-floculación en la PTAR de Yauli es térmicamente robusto y predecible. Esta homogeneidad es altamente favorable para la operación del sistema, ya que permite ajustar las dosis o reducir los tiempos de mezcla según las necesidades de clarificación sin alterar el equilibrio térmico del agua tratada.

H. Conclusión:

Se acepta la primera hipótesis específica del estudio; es decir, la adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros físicos (Turbidez, Temperatura) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.

4.1.3. Hipótesis específica 2

A. Hipótesis:

La adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros químicos (DBO y pH) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.

Hipótesis estadísticas:

- H0: Las medias de coliforme termotolerantes (SST), DBO y pH de los diferentes grupos de dosis y tiempo son distintas son iguales.
- H1: Al menos una de las medias coliforme termotolerantes (SST), DBO y pH de los diferentes grupos de dosis y tiempo son distintas al resto.

B. Significancia: 0.05

C. Pruebas de análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 25*Prueba ANOVA para SST, DBO5 y pH según la dosis de aloe vera*

Parámetros		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DBO5 (mg/L)	Entre grupos	0,915	3	0,305	6,134	0,003
	Dentro de grupos	1,293	26	0,050		
	Total	2,207	29			
pH	Entre grupos	7,857	3	2,619	46,710	0,000
	Dentro de grupos	1,458	26	0,056		
	Total	9,315	29			

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.**Tabla 26***Prueba ANOVA para SST, DBO5 y pH según el tiempo de aplicación*

Parámetros		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DBO5 (mg/L)	Entre grupos	0,462	3	0,154	2,29 7	0,10 1
	Dentro de grupos	1,745	2 6	0,067		
	Total	2,207	2 9			
pH	Entre grupos	4,697	3	1,566	8,81 5	0
	Dentro de grupos	4,618	2 6	0,178		
	Total	9,315	2 9			

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.**D. Decisión:**

- Si p-valor ANOVA < 0.05 → Se rechaza H0
- Si p-valor ANOVA ≥ 0.05 → Se acepta H0

E. Análisis de la Prueba ANOVA:

La Tabla 25 muestra el análisis ANOVA realizado para los sólidos suspendidos totales (SST), la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅) y el pH en función de la dosis del coagulante de Aloe vera en la PTAR de Yauli en 2025, mostró diferencias estadísticamente relevantes entre las concentraciones analizadas. Para la DBO₅ (mg/L), se obtuvo un F = 6,134 con p = 0,003 (< 0,05), lo que también señala diferencias significativas entre los tratamientos, aunque en menor medida en comparación con los SST, sugiriendo que la dosis incide en la reducción del contenido de materia orgánica

biodegradable. Por último, el pH mostró un valor $F = 46,710$ con $p = 0,000 (< 0,05)$, evidenciando que la concentración del coagulante provoca variaciones significativas en el pH del agua residual.

La Tabla 26 muestra el análisis ANOVA realizado para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y el pH en relación con el tiempo de aplicación del coagulante de Aloe vera en la PTAR de Yauli, 2025, revela resultados variados según el parámetro analizado. Para la DBO_5 (mg/L), se obtuvo un $F = 2,297$ con $p = 0,101 (> 0,05)$, lo cual evidencia que las comparaciones no mostraron diferencias significativas entre los tiempos analizados, indicando que el tiempo de aplicación no tiene un impacto notable en la reducción de materia orgánica biodegradable. Respecto al pH, se reportó un $F = 8,815$ con $p = 0,000 (< 0,05)$, evidenciando que el tiempo de contacto produce cambios significativos en la estabilización del potencial de hidrógeno.

Así, se consuma que el tiempo de aplicación tiene un resultado significativo en los SST y el pH, pero no en la DBO_5 , recomendándose llevar a cabo una prueba post hoc para determinar específicamente las diferencias significativas entre los tiempos en los que se observan variaciones.

F. Prueba Post Hoc:

Tabla 27

Prueba Post Hoc para pH según dosis de Aloe Vera y tiempo de ejecución

Dosis (mg/L)	N	pH				Tiempo (min)	N	pH		
		Tukey B						Tukey B		
		1	2	3	4		1	2	3	
0	3	5,200				0	3	5,200		
1	9		5,944			15	9		6,278	
2	9			6,400		10	9		6,300	
3	9				6,878	20	9		6,644	

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Tabla 28

Prueba Post Hoc para SST según dosis de Aloe Vera y tiempo de ejecución

Dosis (mg/L)	N	SST (mg/L)		Tiempo (min)	N	SST (mg/L)		
		Tukey B				Tukey B		
		1	2			1	2	3
3	9	116,11		15	9	114,44		

2	9	121,11		20	9	116,67	
1	9	121,67		10	9	127,78	
0	3		390,00	0	3		390,00

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

Tabla 29

Prueba post hoc para DBO5 según dosis de aloe vera y tiempo de ejecución

DBO5 (mg/L)				DBO5 (mg/L)			
Tukey B				Tukey B			
Dosis (mg/L)	N	Subconjunto		Tiempo (min)	N	Subconjunto	
		1	2			1	2
3	9	1,259		10	9	1,321	
1	9	1,379		15	9	1,398	
0	3		1,660	20	9		1,582
2	9		1,663	0	3		1,660

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

G. Análisis De la prueba Post Hoc:

La Tabla 27 muestra el análisis de comparaciones Múltiples de Tukey aplicado al pH en la PTAR de Yauli (2025) revela una estratificación clara del impacto del Aloe vera . En función de la concentración, se identificaron cuatro grupos estadísticos independientes: el control (pH 5,20), la dosis 1 (pH 5,94), la dosis 2 (pH 6,40) y la dosis 3 (pH 6,88); esta última destaca por lograr la mayor aproximación a la neutralidad, confirmando que cada incremento en la cantidad de coagulante eleva el pH de manera significativa. Por otro lado, el factor tiempo también mostró una influencia determinante, donde el grupo inicial (tiempo 0) se mantuvo aislado con el valor más ácido. Resulta interesante que los intervalos de 10 y 15 minutos no presentaron variaciones estadísticas entre sí (formando un mismo subconjunto homogéneo), mientras que el período de 20 minutos (pH 6,64) se consolidó como el más efectivo para mejorar este parámetro. Los resultados validan que la optimización de la acidez del agua residual depende de ambas variables, siendo la combinación de la dosis máxima y el tiempo de contacto más prolongado la estrategia más eficiente para el proceso de tratamiento.

La Tabla 28 evidencia los resultados del test de comparaciones Múltiples de Tukey para los sólidos suspendidos totales (SST) en la PTAR de Yauli (2025) confirman que tanto la dosificación como el periodo de exposición del Aloe vera alteran excesivamente la claridad del efluente. Al analizar la temporalidad, se

identificó que el intervalo de 15 minutos (114,44 mg/L) es el más eficaz, compartiendo similitud estadística con el de 20 minutos; ambos superan notablemente al tiempo de 10 minutos y se distancian de forma extrema del grupo control (390,00 mg/L), que permanece como el nivel de mayor contaminación. Respecto a la cantidad de coagulante, la dosis 2 (116,11 mg/L) se posicionó como el tratamiento líder en remoción, aunque estadísticamente se agrupa con las dosis 3 y 1, sugiriendo que cualquier nivel de aplicación es significativamente superior a la muestra sin tratamiento (dosis 0). En definitiva, el estudio determina que la sinergia entre la dosis 2 y un tiempo de contacto de 15 minutos representa el punto de máxima eficiencia operativa, logrando reducir la carga de sólidos a su mínima expresión y optimizando así el sistema de tratamiento en la zona.

La Tabla 29 muestra el análisis post hoc de Tukey para la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5) en la PTAR de Yauli en 2025 revela variaciones importantes según las dosis y los tiempos de aplicación del coagulante de Aloe vera . En términos de dosis, las dosis 3 (1,259 mg/L) y 1 (1,379 mg/L) se agrupan dentro del subconjunto más efectivo, evidenciando una notable capacidad para reducir la materia orgánica biodegradable, sin mostrar discrepancias estadísticas entre sí. En contraste, las dosis 0 (1,660 mg/L) y 2 (1,663 mg/L) forman un grupo superior, indicando que la dosis 2 no proporciona una mejora sustancial en comparación con el control, lo que resalta la dosis 3 como la más eficiente para disminuir la DBO_5 . En lo que respecta al tiempo de contacto, los intervalos de 10 minutos (1,321 mg/L) y 15 minutos (1,398 mg/L) se clasifican en un subconjunto homogéneo, reflejando las menores concentraciones de DBO_5 , mientras que los 20 minutos (1,582 mg/L) y el tiempo 0 (1,660 mg/L) se encuentran en un grupo superior, mostrando menor eficacia en la eliminación de materia orgánica. La reducción máxima de DBO_5 se logra principalmente con la dosis 3 y en tiempos de contacto cortos a intermedios, sugiriendo que la efectividad del tratamiento se ve más influenciada por la concentración del coagulante que por un tiempo prolongado de aplicación.

H. Conclusión:

Se acepta la segunda hipótesis específica del estudio; es decir, La adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros químicos (Coliforme termotolerantes, DBO y pH) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.

4.1.4. Validación de la hipótesis general

A. Hipótesis

La adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.

B. Pruebas

Tabla 30

Resumen de resultados significativos

Indicador	Dosis – Significancia (p- valor)	Tiempo – Significancia (p- valor)	Justificación
pH	0.000	0.000	Se evidenció variación significativa del pH según la dosis y el tiempo aplicado, observándose mayor estabilidad en las dosis intermedias frente al control.
Temperatura (°C)	0.000	0.000	Se encontraron diferencias significativas; las variaciones estuvieron influenciadas por el tiempo de tratamiento más que por la dosis aplicada.
Turbidez (NTU)	0.000	0.000	La menor turbidez se obtuvo con la dosis óptima aplicada, mostrando diferencia significativa respecto al control y tiempos prolongados.
SST (mg/L)	0.000	0.000	El promedio más bajo de SST se obtuvo con la dosis 2 (116,11 mg/L) y 15 minutos (114,44 mg/L), con diferencia significativa frente al control (390,00 mg/L).
DBO₅ (mg/L)	0.000	0.000	El promedio más bajo de DBO ₅ se obtuvo con la dosis 3 (1,259 mg/L) y 10 minutos (1,321 mg/L), mostrando diferencia significativa respecto al tratamiento sin aplicación (1,660 mg/L).

Nota. Hallado en base a los datos recopilados.

C. Análisis

La Tabla 30 evidencia que el estudio mediante análisis de varianza (ANOVA) , reveló que los parámetros físico-químicos analizados, que incluyen pH, temperatura, turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), mostraron diferencias significativas desde el punto de vista estadístico ($p < 0,05$) tanto en función de la dosis como del tiempo de aplicación, lo que sugiere que el tratamiento tuvo un impacto notable en la calidad del agua.

En lo que respecta al pH, se identifican cambios significativos dependiendo de la dosis y del tiempo de contacto, destacando una mayor estabilidad en las dosis intermedias frente al tratamiento control.

En términos de temperatura, las variaciones significativas se asociaron principalmente al tiempo de tratamiento, mostrando pequeñas fluctuaciones a lo largo del experimento.

La turbidez también mostró una reducción significativa al aplicar ciertas dosis del tratamiento, siendo el grupo de control el que presentó las cifras más altas.

Para los sólidos suspendidos totales (SST), se registró el promedio más bajo con la dosis 2 (116,11 mg/L) ya los 15 minutos (114,44 mg/L), mientras que el grupo sin tratamiento mostró el valor más elevado (390,00 mg/L), confirmando así discrepancias estadísticas entre los grupos analizados.

Finalmente, en la DBO₅, el promedio más bajo se alcanzó con la dosis 3 (1,26 mg/L) y un tiempo de contacto de 10 minutos (1,32 mg/L), en contraste con el tratamiento de control (1,66 mg/L), lo que indica una disminución característica de la materia orgánica biodegradable.

En resumen, los hallazgos de este estudio demuestran que la aplicación del tratamiento tiene un efecto considerable en la mejora de la calidad del agua, con

ciertas dosis y tiempos de contacto siendo más efectivos en la disminución de contaminantes.

D. Conclusión

En conclusión, la hipótesis general quedó confirmada, pues la adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.

4.1. Discusión de resultados

Los resultados generales evidenciaron que la adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influyó significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli. Estos hallazgos son consistentes con los de Calderón et al. (2023), quienes concluyeron que el coagulante de Aloe vera es técnicamente viable y eficaz para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas, superando la remoción de la DBO5 necesaria para la fase primaria.

Así mismo, Ruiz et al. (2022) concluyeron que el Aloe vera actúa como un agente floculante de alta eficiencia, logrando resultados notables en la eliminación de la turbidez al integrarse como complemento en los procesos de potabilización. Aunque la investigación se considera una referencia válida (proxy) debido a que, se trabajó con aguas superficiales en lugar de efluentes residuales, la solidez del análisis está respaldada por el uso de técnicas avanzadas como la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) y el Test de Jarras, herramientas esenciales para determinar la dosificación exacta, procedimiento que resulta vital en la fase de tratamiento primario de cualquier tipo de agua residual. Por otro lado Darkun et al. (2024) evaluaron el impacto del biocoagulante con un diseño similar al de este trabajo denominado diseño factorial 3x3, los autores concluyeron que el aloe vera puede ser usado de forma eficaz para reducir parámetros orgánicos y sólidos.

Por otro lado, Binaria et al. (2021) usaron el coagulante para mejorar la calidad del agua cruda y potable, concluyeron que el coagulante tendrá ciertos efectos sobre la calidad del agua, los cuales dependerán del parámetro que se analice, mientras que para los que son físicos se observa gran aporte, no sucede lo mismo con los químicos. Mientras que Oliveira et al. (2025) concluyeron que el coagulante natural a base de aloe vera es una solución sostenible y rentable para la clarificación del agua.

En el ámbito nacional, Flores et al. (2024) concluyeron que el Aloe vera es un agente eficaz para mejorar la calidad del efluente de la PTAR de Sicuani, que fue evaluado en laboratorio con el test de jarras; asimismo, Olivera (2022) uso dosis de 10, 20, 30, 40, 50 mL de gel de áloe para su evaluación que de manera significativa son diferentes a los de este estudio, pero de la misma forma concluyó que el coagulante de Aloe vera es eficiente para reducir parámetros fisicoquímicos en tratamiento terciario de aguas residuales. Huamán (2024) realizó el análisis con un diseño factorial 3x2, aplicando tratamientos con diferentes dosis y tiempos, aplicando pruebas estadísticas de normalidad y homogeneidad, con intervalos de confianza y efectos estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

A nivel local, Camarena (2022) tuvo una muestra constituida por 24 ensayos de agua residual, empleó el equipo de prueba de jarras con concentraciones de coagulante de 2000, 3000 y 4000 ppm, demostrando que el coagulante influye significativamente y depende del tiempo de coagulación y floculación que son estadísticamente significativas en regiones andinas. Por otro lado, Acevedo y Huamán (2021) hicieron uso del mucílago de nopal para la reducción de parámetros físicos de las aguas residuales del río Ichu y concluyeron que el tratamiento presentó una eficiencia superior al coagulante químico convencional.

Teóricamente, las aguas residuales son aquellas cuya calidad ha sido deteriorada por su uso en actividades higiénicas, de cocina y lavandería en hogares y establecimientos similares (BID, 2023), siendo indispensable su tratamiento para el consumo humano. En Perú se rige por normas que establecen los

estándares de vertido de los efluentes. Los Límites Máximos Permisibles (LMP) definen la concentración o grado de parámetros que, al ser excedida, puede causar daño a la salud humana y al ambiente (MINAM, 2010). En base a estos límites se busca que las aguas residuales sean tratadas, uno de los tratamientos tradicionales es la coagulación que es el proceso en el que se constituye de la fase físico-química para el desarrollo de desestabilizar, juntar los sólidos suspendidos totales y coloidales en la presente muestra de agua. Este proceso permite la remoción mediante sedimentación o filtración (Conagua, 2016).

Entre los aplicables se encuentra Aloe vera, que ha sido ampliamente estudiada por sus propiedades funcionales, que incluyen una alta concentración de polisacáridos mucilaginosos en su gel (Benalia et al., 2021), además es un producto que contiene hidrogeles que son homogéneos, estables y presentan propiedades físico-químicas consistentes, que facilitan la elección y justificación de una concentración particular de gel en mg/L, permitiendo una evaluación precisa de los efectos experimentales y una mejor comparabilidad entre diferentes investigaciones (Chelu, y otros, 2023). Investigaciones previas han demostrado que los extractos naturales de sábila, ricos en polisacáridos como el acemanano, pueden alcanzar altas tasas de remoción de turbidez y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Por ejemplo, en ensayos realizados para fines de potabilización de agua cruda, se ha reportado la obtención de una remoción en turbidez superior al 85% y una reducción significativa de SST, destacando su potencial como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales y superficiales (Benjumea et al., 2021).

El resultado específico uno evidenció que la adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros físicos (turbidez, temperatura y SST) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli. Los hallazgos demostraron que el Aloe vera es particularmente efectivo en la eliminación de turbidez y sólidos suspendidos totales, con diferencias significativas en los resultados estadísticos (p

< 0,05). La dosis más efectiva se calcula en 600 mg/L, especialmente después de un tiempo de contacto de 15 minutos.

A nivel mundial, Darkun et al. (2024) encontraron una reducción significativa en SST superior al 65%, concluyendo que el aloe vera puede ser utilizado eficazmente para reducir parámetros orgánicos y sólidos. Mientras que Calderón et al. (2023) evidenciaron que el coagulante de sábila a una dosis de 100 mg/l causó la remoción máxima de turbidez en un 85.09%; de la misma manera, Ruiz et al. (2022) evidenciaron que el coagulante de sábila mostró una dosis óptima de 0.5 mL (al 1% de gel) presentó una remoción de turbidez superior al 95% concluyendo que el aloe vera es eficiente para la remoción de parámetros físicos. Aunque los porcentajes difieren, la tendencia general indica que el Aloe vera es un coagulante natural efectivo en el tratamiento primario de aguas residuales, mientras que Binaria et al. (2021), indicaron que el Aloe vera no modifica significativamente parámetros físicos como la temperatura. Desde una perspectiva operativa, esta estabilidad térmica es ventajosa, ya que no impacta negativamente en los procesos biológicos subsiguientes.

En el ámbito nacional, Flores et al. (2024) evidenciaron una remoción de turbidez del 55.92% y de SST del 67.34% con la dosis diluida del floculante-coagulante, concluyendo que fue eficiente para la remoción de parámetros físicos. Asimismo, Olivera (2022) logró un 48.70% de remoción de turbidez ($M_{final}=61.56$ UNT), 75.70% de remoción de SST ($M_{final}=68.27$ mg/L), concluyendo que el aloe vera es eficiente para tratar características físicas. Huamán (2024) en el estudio que realizó también determinó 97.84% de remoción para SST.

En el ámbito local, Camarena (2022) concluyó que el aloe vera fue eficiente para la disminución del parámetro físico, ya que en una muestra de 60 litros de agua con turbidez inicial entre 1561-1568 NTU, la turbiedad post-tratamiento evidenció una medida de $M=10.47$ NTU. Mientras que Acevedo y Huamán (2021) desarrollaron el mismo procedimiento con el coagulante de

mucílago que también tuvo una influencia significativa en la reducción de parámetros físicos del agua residual.

Teóricamente, los SST son todas las partículas que se encuentran en suspensión; es un parámetro gravimétrico, mientras que la turbidez es un parámetro óptico (visual) (APHA, 2017) y la temperatura es una propiedad física que regula la rapidez con la que se desarrollan las reacciones químicas y biológicas en el agua (WHO, 2017). El D.S. N° 003-2010-MINAM establece los valores límite que el agua tratada debe cumplir antes de ser descargada al cuerpo receptor, constituyendo el criterio de éxito para la eficiencia del coagulante evaluado en esta investigación. Por lo que, el mecanismo principal de acción del Aloe vera en la remoción de contaminantes se atribuye al puenteo polimérico, estos polímeros interactúan superficialmente con las partículas coloidales (turbidez, SST) y, al tener múltiples sitios de unión, se extienden y enlazan a varias partículas simultáneamente, formando “puentes” que agregan las micropartículas en flóculos grandes y densos, facilitando su posterior sedimentación, siendo un método efectivo para la remoción de parámetros físicos (Benalia et al., 2021).

El resultado específico dos evidenció que la adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros químicos (DBO y pH) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.

A nivel mundial, estos resultados se asemejan a los de Darkun et al. (2024) quienes evidenciaron una reducción en DBO del 72.3% , mientras que difirió al de Binaria et al. (2021) ya que ellos, evidenciaron que la adición del coagulante natural no tuvo influencia significativa en el pH, alcalinidad ni dureza; confirmando que la aplicación del coagulante no altera las propiedades del agua de forma negativa. Por otro lado, Calderón et al. (2023) evidenciaron una reducción de DBO5 en un 66,27%, confirmando la alta eficiencia en la reducción. Por lo tanto, el coagulante natural muestra mayor eficacia en el tratamiento primario que en la remoción avanzada de carga orgánica.

A nivel nacional, Olivera (2022) también estimo que la aplicación del coagulante es eficiente para la remoción de parámetros, debido que en la remoción de DBO5 se evidenció un 87.4%; asimismo, Huamán (2024) demostró una remoción del 85.59% para DBO5 en el que usó un diseño factorial 3x2, que demostró la capacidad del sistema combinado en la eficiencia de tratamiento. Mientras que a nivel local, Camarena (2022) concluyó que el tratamiento óptimo (2000 ppm, 2 min coagulación, 15 min floculación) logró 72,5% de reducción de DBO5, por lo que concluyó que el uso del coagulante es efectivo para la remoción de parámetros contaminantes.

Teóricamente, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), particularmente la DBO5 cuantifica la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos al descomponer la materia orgánica (US EPA, 2009) y el pH es una medida que indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución, determinada por la actividad de los iones de hidrógeno (H⁺) (WHO, 2017). Para los efluentes del PTAR, la normativa clave es el D.S. N° 003-2010-MINAM que establece los valores límite que el agua tratada debe cumplir antes de ser descargada al cuerpo receptor, constituyendo el criterio de éxito para la eficiencia del coagulante evaluado en esta investigación. Por lo que Bernalia et al. (2021), recomendó hacer uso del mecanismo del Aloe vera para la remoción de contaminantes que gracias al puenteo polimérico se adhieren a las partículas coloidales (DBO, pH) y, al tener múltiples sitios de unión, se extienden y enlazan a varias partículas simultáneamente, formando “puentes” que agregan las micropartículas en flóculos grandes y densos, facilitando su posterior sedimentación de manera que el agua resultante presenta menos concentraciones de contaminantes físicos.

Por ello, el principal aporte de este estudio radica en evaluar el Aloe vera en condiciones reales de una planta de tratamiento de aguas residuales; se calcula una dosis óptima (600 mg/L) para el tratamiento primario y se confirma estadísticamente (ANOVA) la influencia significativa de la dosis. Además, se propone una alternativa ecológica y económica para contextos rurales o con

recursos limitados, ampliando así la evidencia latinoamericana sobre el uso de coagulantes naturales y proporcionando datos experimentales aplicables a sistemas similares al de Yauli. Los hallazgos se alinean con estudios anteriores en cuanto a la alta eficiencia en la reducción de turbidez y SST, pero muestran menor eficacia en DBO y pH, lo cual es técnicamente consistente con el mecanismo de acción del coagulante. Se confirma que el Aloe vera es una opción viable para el tratamiento primario, aunque debe ser complementado con procesos secundarios o terciarios para alcanzar estándares más exigentes de calidad del efluente.

Conclusiones

- Se determina que la aplicación del coagulante de sábila tiene un impacto positivo y significativo en la reducción de parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del PTAR Yauli. Los resultados del análisis ANOVA fueron altamente significativos ($p=0.000$) para cada uno de los parámetros físicos (la temperatura, turbidez, SST) y parámetros químicos (DBO5 y pH).
- Se concluye que la dosis del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la turbidez y los sólidos suspendidos totales en las aguas residuales del PTAR Yauli. El análisis ANOVA fue altamente significativo para turbidez y SST ($p=0.000$), evidenciándose mediante la prueba de Tukey que la dosis de 600 mg/L alcanzó la mayor eficiencia de remoción, reduciendo la turbidez de 138.20 UNT a aproximadamente 59.21 UNT y los SST de 390 mg/L a valores cercanos a 116.11 mg/L, mientras que en el tiempo el más óptimo fue 15 min. alcanzando 64.91 UNT y 114.44 mg/L. En cuanto a la temperatura, aunque el análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p<0.05$), las variaciones registradas fueron mínimas (entre 13.7°C y 14.3°C), lo que indica que el tratamiento no altera de manera relevante la condición térmica del efluente.
- Se concluye que la dosis del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye de manera significativa en la disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y en la estabilización del pH en las aguas residuales del PTAR Yauli. El ANOVA evidenció significancia estadística en DBO ($p=0.003$) y pH ($p=0.000$), señalando que al menos una de las medias según dosis fue diferente. El análisis post hoc mostró que la dosis de 900 mg/L presentó mayor reducción de DBO (promedio 1.26 de un máximo de 1.66 con un valor de 24.2%) y permitió elevar el pH desde 5.20 hasta 6.88, acercándolo a condiciones más neutras. Esto indica que el mecanismo de acción del Aloe vera se centra principalmente en la remoción de materia orgánica particulada y en la mejora de las condiciones químicas del efluente.

Recomendaciones

- Se sugiere la ejecución de pruebas piloto a gran escala empleando el gel de Aloe vera en la PTAR de Yauli. El objetivo es contrastar los resultados de laboratorio con las variables dinámicas del entorno real, permitiendo determinar la factibilidad técnica, el ahorro económico y el beneficio ambiental de sustituir los coagulantes sintéticos por esta alternativa de origen natural.
- Para proyectos enfocados en la clarificación del efluente (reducción de turbidez y SST), se recomienda estandarizar la dosificación en 600 mg/L, dado que este nivel maximizó la eficiencia en la experimentación. Asimismo, para alcanzar los límites máximos permisibles en partículas coloidales persistentes, es aconsejable integrar unidades de filtración o sistemas de sedimentación acelerada como etapas complementarias al proceso de biocoagulación.
- En escenarios donde la prioridad sea la estabilización del pH y la mitigación de la DBO, se propone la aplicación de una dosis de 900 mg/L. Del mismo modo, es necesario profundizar en líneas de investigación que analizan la interacción del coagulante con la fracción soluble de la DBO, con el fin de establecer un protocolo de tratamiento integral que optimice la calidad química final del agua tratada.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo, Y., & Huaman, H. (2021). *Eficiencia del coagulante de mucilago de nopal (Opuntia ficus-indica) en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica - 2019*. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Y Sanitaria, Facultad de Ciencias De Ingeniería. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica. Obtido de <https://repositorio.unh.edu.pe/items/c6010e2e-7713-4096-bc78-d6b58ffd6fb2>
- ANA. (2023). *Memoria Anual* . Obtido de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego: https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/file_content/Memoria%20Anual%202023.pdf
- Ancalle , C., & Ledesma, W. (2020). *Caracterización de las aguas residuales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yauli - Huancavelica*. Obtido de Universidad Nacional de Huancavelica: <https://repositorio.unh.edu.pe/items/f6029b85-d92b-4a6a-bcbc-eea124aea4c9>
- APHA. (2017). *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23rd*. American Public Health Association. doi:<https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación, Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Epistemology. Obtido de <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Benalia, A., Derbal, K., Khafaoui, A., Bouchareb, R., Panico, A., Gisonni, C., . . . Pizzi, A. (2021). Use of Aloe vera as an Organic Coagulant for Improving Drinking Water Quality. *Revista Water*, 13, 1-15. doi:<https://doi.org/10.3390/w13152024>
- Benalia, A., Derbal, K., Khalfaoui, A., Bouchareb, R., Panico, A., Gisonni, C., . . . Pizzi, A. (2021). Use of Aloe vera as an Organic Coagulant for Improving

Drinking Water Quality. *Revista Water*, 13(15), 1-15.
doi:<https://doi.org/10.3390/w13152024>

Benjumea, C., Toro, M., & Luna, V. (2021). Evaluación de la eficiencia de extractos naturales en el proceso de coagulación floculación de aguas crudas, con fines de potabilización. *Revista bionatura*, 6(2), 1-8. doi:DOI. 10.21931/RB/2021.06.02.17

BID. (Febrero de 2023). *Tratamiento de aguas residuales municipales*. (C. Lemos, & T. Bressani, Edits.) Obtido de División de Agua y Saneamiento: NOTA TÉCNICA N°IDB-TN-2601:
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Tratamiento-de-aguas-residuales-municipales.pdf>

Calderón, M., Castaneda, J., & Domínguez, L. (2023). *Diseño de proceso para la obtención de un coagulantenatural a partir de la sábila o aloe vera (barbadensis miller) paraser aplicado en el tratamiento primario de aguas residualesdomésticas en la reducción de los parámetros turbidez ydbo5*. Escuela de ingeniería química e ingeniería de alimentos, Facultad de ingeniería y arquitectura. Salvador: Universidad de el Salvador. Obtido de <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/bed99f54-68b1-49ae-9601-d8c9d485c487/content>

Camarena, J. (2022). *Influencia de la concentración de aloe vera, tiempo de coagulación y tiempo de floculación en la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de agua residual doméstica*. Unidad de posgrado de la facultad de ingenieríaquímica, Escuela de posgrado. Huancayo: Universidad nacional del centro del Perú. Obtido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4e682508-d209-43c1-9de9-ee509e76ceb8/content>

Canchari, E. (2024). *Niveles de contaminación de las aguas residuales de Huancavelica y su efecto en la calidad del agua del rio Ichu*. Obtido de Universidad Nacional de Huancavelica:

<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2d3c9d40-28d1-4c1b-b6a4-5ec31f19edae/content>

Carrizales, R., & Enríquez, N. (2019). *Determinación de la Dosis y Concentración Óptima del coagulante de Moringa Oleifera en la Clarificación del Agua de Laquebrada Taczanapampa de la Ciudad de Huancavelica*. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias De Ingeniería. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica. Obtido de <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/43270a7a-495d-4e9b-bd54-cf94491ba908/content>

CEPAL. (2023). *Diálogos Regionales del Agua en América Latina y el Caribe 2023: Hacia la Conferencia del Agua de Naciones Unidas*. Obtido de Dialogos regionales del agua: https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/informe_dialogos_15mar2023_eb_limpio.pdf

Chelu, M., Popa, M., Ozon, E., Pandele, C., Anastesescu, M., Surdu, V., . . . Musuc, M. (2023). Hidrogeles de alto contenido en aloe vera : propiedades fisicoquímicas y farmacéuticas. *Polimeros*, 15(5), 1312. Obtido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10007233/?utm_source=chatgpt.com

Conagua. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada*. (Semarnat, Ed.) Tlalpan, México. Obtido de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro24.pdf>

Contraloría General de la República. (2020). *N° 685-2020-CG-GCOC: Falta de uso de planta de tratamiento de aguas residuales genera riesgo de contaminación*. Obtido de Renovación de conexión domiciliaria de alcantarillado y tanques digestores de lodo o aguas: <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/noticias/307034-n-685-2020-cg->

gcoc-falta-de-uso-de-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-genera-
riesgo-de-contaminacion

- Darkun, K., Mulyawati, I., Febrima, L., & Patalak, A. (2024). La influencia del biocoagulante de aloe vera y el tiempo de mezcla en la reducción de la demanda biológica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y los niveles totales de sólidos suspendidos. *La Revista de Investigación, Ingeniería y Gestión Ambiental*, 80(3), 149-161. doi:<https://doi.org/10.5755/j01.arem.80.3.35873>
- Fernández, D., Vásquez, A., Pérez, C., Chanes, W., Gonzáles, A., Domínguez, C., . . . López, G. (2012). https://www.researchgate.net/publication/262471804_El_gel_de_Aloe_vera_estructura_composicion_quimica_procesamiento_actividad_biologica_e_importancia_en_la_industria_farmaceutica_y_alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1), 1-21. Obtido de https://www.researchgate.net/publication/262471804_El_gel_de_Aloe_vera_estructura_composicion_quimica_procesamiento_actividad_biologica_e_importancia_en_la_industria_farmaceutica_y_alimentaria
- Flores, B., Aima, D., & Fernández, U. (2024). Evaluación del coagulante-floculante natural de Aloe Vera en aguas residuales. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*, 7(2), 24-35. doi:<https://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/ACS/article/view/1512>
- Florez, B., Aima, D., & Fernández, U. (2024). Evaluación del coagulante-floculante natural de Aloe Vera en aguas residuales. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*, 7(2), 24-35. doi:<https://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/ACS/article/view/1512>
- González, F. (1997). *Epistemología cualitativa y subjetividad*. Editorial da puc-sp educ. Obtido de https://fernandogonzalezrey.com/wp-content/uploads/2025/01/Epistemologa_Cualitativa_y_Subjetividad_1997.pdf

Hernández, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C. V.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). McGraw Hill Education. Obtido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Huaman, D. (2024). *Remoción de contaminantes fisicoquímicos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio mediante un sistema de coagulación - floculación y adsorción*. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de ingeniería. Huancayo: Universidad Continental. Obtido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14552/5/IV_FIN_107_TE_Huaman_Laurente_2024.pdf

Ibraheem, H., Tariq, M., Ali, A., Umer, Z., Basharat, Z., Intisar, A., . . . Ansari, M. (2024). Assessing nutritional probing and storage stability of functional Aloe vera (*Aloe barbadensis*) based guava jam: a machine learning approach for predictive modelling. *International Journal of Food Science and Technology*(59), 4797–4806. Obtido de https://watermark02.silverchair.com/ijfs17209.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kKhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAA1IwggNOBgkqhkiG9w0BBwaggM_MIIDOWIBADCCAzQGCSqGSIb3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQM_fVBgCOIDcWOlCIZAgEQgIIDBfHUSMOOCIGFObE0cIB7cQt4cCSFLSX0hYiFkYIR1Sc

Kawamura, S. (2001). *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities* (2da ed.). John Wiley y sons, INC. Obtido de <https://www.wiley.com/en-us/Integrated+Design+and+Operation+of+Water+Treatment+Facilities%2C+2nd+Edition-p-9780471350934>

- López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. IWA Publishing. Obtido de <https://library.oapen.org/bitstream/20.500.12657/30973/1/640701.pdf>
- Metcalf, & Eddy. (1998). *Ingeniería de aguas residuales* (3ra ed., Vol. 2). Mc Graw Hill. Obtido de https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA_DE_AGUAS_RESIDUALES_TRATAMIENTO_VERTIDO_Y_REUTILIZACION_Volumen_II_Metcalf_y_Eddie
- Milla, A. (2019). *Equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para el tratamiento de aguas de pozo*. Universidad Nacional Federica Villarreal, Escuela universitaria de posgrado. Lima: Vicerrectorado de investigación. Obtido de <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/3367/MILLA%20FIGUEROA%20AMERICO%20CARLOS%20-%20MAESTRIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MINAM. (2010). *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*. Obtido de Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf
- Murillo, S., Galvis, G., & Pacheco, S. (2020). *Manual técnico para la elaboración de coagulantes / floculantes a partir de productos naturales*. (S. N. Aprendizaje, Ed.) Obtido de Sistema de investigación, desarrollo tecnológico e innovación: https://www.researchgate.net/publication/344166357_MANUAL_TECNICO_PARA_LA_ELABORACION_DE_COAGULANTES_FLOCULANTES_A_PARTIR_DE_PRODUCTOS_NATURALES
- Niño, V. (2011). *Metodología de la investigación, Diseño y ejecución*. Edición de la U, conocimiento a su alcance. Obtido de <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24802w/Nino-Rojas-Victor->

Miguel_Metodologia-de-la-Investigacion_Disenoy-ejecucion_2011.pdf#page=35.11

Ñahui, D. (2023). *Análisis de la calidad de agua para el consumo humano de los centros poblados del distrito de Yauli, Huancavelica - 2023*. Obtido de Universidad Continental:

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13303/1/IV_FIN_107_TE_%c3%91ahui_Salvatierra_2023.pdf

Olivera , D., Nascimento, R., & Donadel, C. (2025). Aloe Vera in Water Treatment: Toward a Greener Future for Environmental Engineering. *Revista Sustainability*, 17(9), 4163. doi:<https://doi.org/10.3390/su17094163>

Olivera, D. (2022). *Aplicación del coagulante natural áloe vera como tratamiento terciario en la PTAR - Jauja*. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de ingeniería. Universidad Continental. Obtido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11493/1/IV_FIN_107_TE_Olivera_Huaman_2022.pdf

OMS. (2023). *Agua para el consumo humano*. Obtido de Descripción y cifras del impacto del consumo del agua para el consumo humano: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Pérez, F., & Urrea, M. (2011). *Coagulación y floculación*. Obtido de Abastecimiento de Aguas: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf

Quispe, H. (2024). *Evaluación de parámetros (físicos y químicos) usando el método de electrocoagulación en aguas residuales, PTAR – Palca - Huancavelica*. Obtido de Universidad Nacional De Huancavelica: <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/19b0f2c4-f6bc-4769-b81d-1435e6a3289b/content>

- Ramírez, H., & Peralta, J. (2016). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136–153. doi:<https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Rivadeneira, J., & De la Hoz, A. (2020). Análisis general del spss y su utilidad en la estadística. *Journal of business sciences*, 1-9. Obtido de <https://core.ac.uk/download/pdf/288306071.pdf>
- Ruiz, E., Oré, L., Vega, M., Angulo, A., Ruiz, C., Garcia, G., & Diaz, J. (2022). Aloe Vera (L.) como floculante para remoción de turbidez de aguas superficiales. *Ministerio del poder popular para la Salud*, 62(3), 526-545. doi:<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e6.623.019>
- Sánchez, V. (2020). *Calidad del agua del rio ichu en zonas urbanas del distrito de Huancavelica*. Facultad de Ciencias de Ingeniería unidad de Posgrado, Escuela de posgrado. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica. Obtido de <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8f4790a9-29f3-4b4e-ab05-41af556f4c2e/content>
- Sierra, R. (2001). *Técnicas de investigación social teoría y ejercicios* (14va ed.). THOMSON. Obtido de https://www.academia.edu/11645969/T%C3%A9cnicas_de_Investigaci%C3%B3n_Social
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica incluye evaluación y administración de proyectos de investigación*. Editorial Limusa, Grupo Noriega. Obtido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso_de_la_investigaci_n_cient_fica_Mario_Tamayo.pdf
- Ventura, E., & Quispe, L. (2022). *Eficiencia del coagulante de papa (solanum tuberosum) variedad canchan para la reducción de la turbiedad del agua de consumo humano de la fuente superficial del rio disparate, huancavelica 2021*. Escuela profesional de ingeniería ambiental y sanitaria, Facultad de ciencias

de ingeniería. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica. Obtido de <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/66acd1a2-f584-498e-8df0-f38b5154508a/content>

WHO. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum* (4ta ed.). World Health Organization. Obtido de <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/1b7a285e-3635-45dd-a1a9-6068c8fbe173/content>

Anexo

Anexo 1

Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General: ¿Cuál es la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli?</p> <p>Problemas Específicos: • ¿Cuál es la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros físicos (Turbidez, Temperatura y SST) en las aguas</p>	<p>Objetivo General: Determinar la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Yauli.</p> <p>Objetivos Específicos: • Determinar la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros físicos (Turbidez, Temperatura y SST) en las aguas</p>	<p>Hipótesis General: La adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.</p> <p>Hipótesis Específicas: • La adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros físicos (Turbidez, Temperatura y SST) en las aguas</p>	<p>Variable Independiente: Parámetros fisicoquímicos de aguas residuales</p> <p>Dimensiones: • Parámetros físicos • Parámetros químicos</p> <p>Variable Dependiente: Eficiencia de coagulante sábila (Aloe vera en gel).</p> <p>Dimensiones: • Eficiencia de coagulante de sábila</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de Investigación: Explicativo</p> <p>Método General: Método Científico</p> <p>Diseño: a. Experimental b. Factorial</p>	<p>Población: La población de la presente investigación se centra en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del Distrito de Yauli</p> <p>Muestra: 3 litros de agua residual doméstica</p> <p>Muestreo: No probabilístico por conveniencia</p>	<p>Técnicas: Observación científica</p> <p>Instrumentos: Ficha de recolección de datos</p>

<p>residuales de la planta de tratamiento de Yauli?</p>	<p>residuales de la Planta de Tratamiento de Yauli.</p>	<p>residuales de la planta de tratamiento de Yauli.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros químicos (DBO y pH) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la eficiencia del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) en la disminución de la concentración de los parámetros químicos (DBO y pH) en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Yauli. 	<ul style="list-style-type: none"> • La adición del coagulante de sábila (Aloe vera en gel) influye significativamente en la disminución de la concentración de los parámetros químicos (DBO y pH) en las aguas residuales de la planta de tratamiento de Yauli.

Anexo 2

Propuesta de Instrumento

Tratamiento	Dosis (A) mg/L	Tiempo (B) min	Réplicas (r)	Total, de Ensayos
GC (Control)	0	0	3	3
T1	300 (X1)	10 (Y1)	3	3
T2	300 (X1)	15 (Y2)	3	3
T3	300 (X1)	20 (Y3)	3	3
T4	600 (X2)	10 (Y1)	3	3
T5	600 (X2)	15 (Y2)	3	3
T6	600 (X2)	20 (Y3)	3	3
T7	900 (X3)	10 (Y1)	3	3
T8	900 (X3)	15 (Y2)	3	3
T9	900 (X3)	20 (Y3)	3	3
			TOTAL	30

Ensayos en laboratorio				Parámetro físico		DBO5 (mg/L)	pH	Fecha y hora
ID Ensayo	Tratamiento	Dosis (A) (mg/L)	Tiempo (B) (min)	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)			
1	GC	0	0					
2	GC	0	0					
3	GC	0	0					
4	T1	300	10					
5	T1	300	10					
6	T1	300	10					
7	T2	300	15					
8	T2	300	15					
9	T2	300	15					
10	T3	300	20					
11	T3	300	20					
12	T3	300	20					
13	T4	600	10					

14	T4	600	10					
15	T4	600	10					
16	T5	600	15					
17	T5	600	15					
18	T5	600	15					
19	T6	600	20					
20	T6	600	20					
21	T6	600	20					
22	T7	900	10					
23	T7	900	10					
24	T7	900	10					
25	T8	900	15					
26	T8	900	15					
27	T8	900	15					
28	T9	900	20					
29	T9	900	20					
30	T9	900	20					

Anexo 3
Solicitud

Huancavelica, 12 de diciembre del 2025.

INFORME N° 25-2025/GOB-REG-HVCA/GRDS-DIRESA/DESA-LAB

A : **ING. SAUL MUCHA CARLOS**
Director Ejecutiva de Salud Ambiental.

Asunto : **AUTORIZACION PARA USO DE LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL DE LA DESA.**

Referencia : SOLICITUD S/N DENNIS ROJAS MARTINEZ

Por la presente me dirijo a usted para saludarlo cordialmente e informarle de acuerdo al documento de la referencia, donde solicitan la autorización para uso del laboratorio de Salud Ambiental para análisis de su proyecto de investigación de Tesis; yo Ing. Rolando Rodríguez Velasco en calidad de responsable del laboratorio de Salud Ambiental, **AUTORIZO** el uso de dicho ambiente con las siguientes condiciones:

PRIMERO. Los estudiantes que hagan uso del laboratorio deberán contar con sus respectivos PPT.

SEGUNDO. Mantener la limpieza en el uso de los insumos y materiales que se utilizan.

TERCERO. Los insumos y materiales que no cuenta el laboratorio, los usuarios deberán proporcionarse para su respectivo trabajo.

CUARTO. Cualquier daño ocasionado en el uso del laboratorio como de insumos y materiales, será de responsabilidad de las estudiantes que utilizaron, los cuales asumirán la reposición de las mismas.

Es todo cuanto informo para fines que estime conveniente.
Adjunto copia del documento de la referencia.

Atentamente;



GOBIERNO REGIONAL DE HUANCABELICA
DIRECCION REGIONAL DE SALUD - HUANCABELICA
Ing. Rolando Rodríguez Velasco
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL, DESA

C.c. Archivo
DESA
WPC/BMC/rvv

REG. DOC.	
REG. EXP.	2868892

SOLICITO: AUTORIZACION Y EL ACCESO AL
LABORATORIO DE LA DIRESA HUANCVELICA



Señor,
M.C. WENDY POMPILIO CANDIOTTI
Dirección Regional de Salud – DIRESA Huancavelica
Presente.-

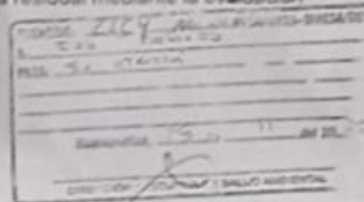
De nuestra consideración:

Yo, Dennis Rojas Martínez, identificada con DNI N° 75480638, con domicilio en Av. Santos Villa N° 1009, distrito de Ascensión, ante usted respetuosamente me presento y expongo:

Nosotros, estudiantes integrantes del Proyecto de Investigación titulado "EFICIENCIA DEL COAGULANTE DE SABILA (aloe vera) PARA LA DISMINUCION DE CONCENTRACION DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE YAULI" de la Universidad Nacional de Huancavelica, pertenecientes a la Escuela Profesional de INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA, nos dirigimos a usted para solicitar respetuosamente la autorización y el acceso al laboratorio de la DIRESA Huancavelica con la finalidad de realizar los análisis necesarios para el desarrollo de nuestra investigación.

El proyecto contempla el estudio de la calidad del agua residual mediante la evaluación de los siguientes parámetros:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- pH
- Temperatura



La disponibilidad del laboratorio es fundamental para garantizar la correcta obtención de datos, utilizando equipamiento estandarizado y procedimientos validados. Esto permitirá asegurar la confiabilidad de los análisis y fortalecer nuestras competencias académicas y de investigación en el ámbito del tratamiento de aguas residuales.

Nos comprometemos a cumplir estrictamente con los protocolos de bioseguridad, las normas internas y toda indicación establecida por el personal técnico del laboratorio. Asimismo, nos adaptaremos a las fechas y horarios que su despacho considere pertinentes.

Agradecemos anticipadamente su atención y apoyo institucional, y quedamos a la espera de una respuesta favorable.

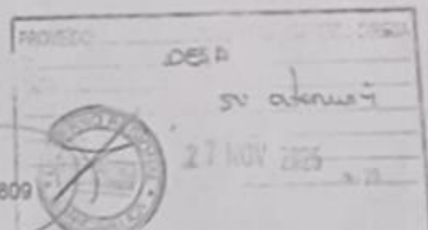
Huancavelica, 25 de setiembre del 2025

Atentamente,

Estudiante integrante del Proyecto de Investigación
Universidad Nacional de Huancavelica

FIRMA
DNI: 75480638

Correo: 2019161044@unh.edu.pe Teléfono: 988442809



Anexo 4
Base de datos

ID Ensayo	Tratamiento	Dosis (A) (mg/L)	Tiempo (B) (min)	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)	(T°)	DBO5 (mg/L)	pH	FECHA Y HORA
1	GC								
2	GC								
3	GC								
4	T1	300	10	67.9	140	13.2	1.10	5.8	17/12/25 8:00 am
5	T1	300	10	66.1	140	13.3	1.09	5.8	17/12/25 8:00 am
6	T1	300	10	68.7	145	12.7	1.11	5.9	17/12/25 8:00 am
7	T2	300	15	72.3	120	13.8	1.20	5.9	17/12/25 10:00 am
8	T2	300	15	69.2	110	14.7	1.21	5.9	17/12/25 10:00 am
9	T2	300	15	75.1	110	14.2	1.20	6	17/12/25 10:00 am
10	T3	300	20	63.5	120	14.3	1.88	6	17/12/25 12:00 am
11	T3	300	20	68.7	110	14	1.80	6.1	17/12/25 12:00 am
12	T3	300	20	66.2	100	13.7	1.82	6.1	17/12/25 12:00 am
13	T4	600	10	61.3	130	13.4	1.70	6.2	18/12/25 8:00 am
14	T4	600	10	58.4	140	13.7	1.71	6.2	18/12/25 8:00 am
15	T4	600	10	54.9	135	14.8	1.70	6.3	18/12/25 8:00 am
16	T5	600	15	51.8	100	14.7	1.72	6	18/12/25 10:00 am
17	T5	600	15	53.3	110	14.8	1.73	6.2	18/12/25 10:00 am
18	T5	600	15	54.7	120	13.7	1.70	6.1	18/12/25 10:00 am
19	T6	600	20	62.2	110	13.2	1.75	6.5	18/12/25 12:00 am
20	T6	600	20	66.3	110	13	1.17	7	18/12/25 12:00 am
21	T6	600	20	70.1	90	13.5	1.78	7.1	18/12/25 12:00 am
22	T7	900	10	75.2	100	13.7	1.19	6.9	19/12/25 8:00 am
23	T7	900	10	75.3	110	14.8	1.18	6.8	19/12/25 8:00 am
24	T7	900	10	76.8	110	14.7	1.10	6.8	19/12/25 8:00 am
25	T8	900	15	70.7	110	14.3	1.28	6.7	19/12/25 10:00 am
26	T8	900	15	68.2	120	14.2	1.25	6.8	19/12/25 10:00 am
27	T8	900	15	68.9	130	14.3	1.29	6.9	19/12/25 10:00 am
28	T9	900	20	78.1	140	14.3	1.30	7	19/12/25 12:00 am
29	T9	900	20	80.5	130	14.5	1.38	7.1	19/12/25 12:00 am
30	T9	900	20	75.2	140	14.3	1.36	6.9	19/12/25 12:00 am
MUESTRA GENERAL SIN TRATAMIENTO	S/T	S/T	S/T	138.2	390	18	1.66	5.20	16/12/25 8:00 am

Anexo 5
Evidencias



Figure 1. Evaluación de planta aloe vera



Figure 2. Extracción de planta aloe vera



Figure 3. Etapa de cortado de aloe vera



Figure 4. Etapa de extracción de gel aloe vera



Figure 5. Preparación de soluciones de coagulante de aloe vera en gel



Figure 6. Parámetros de operación de equipo de jarras.



Figure 7. Etapas de agitación rápida y lenta para X1 300

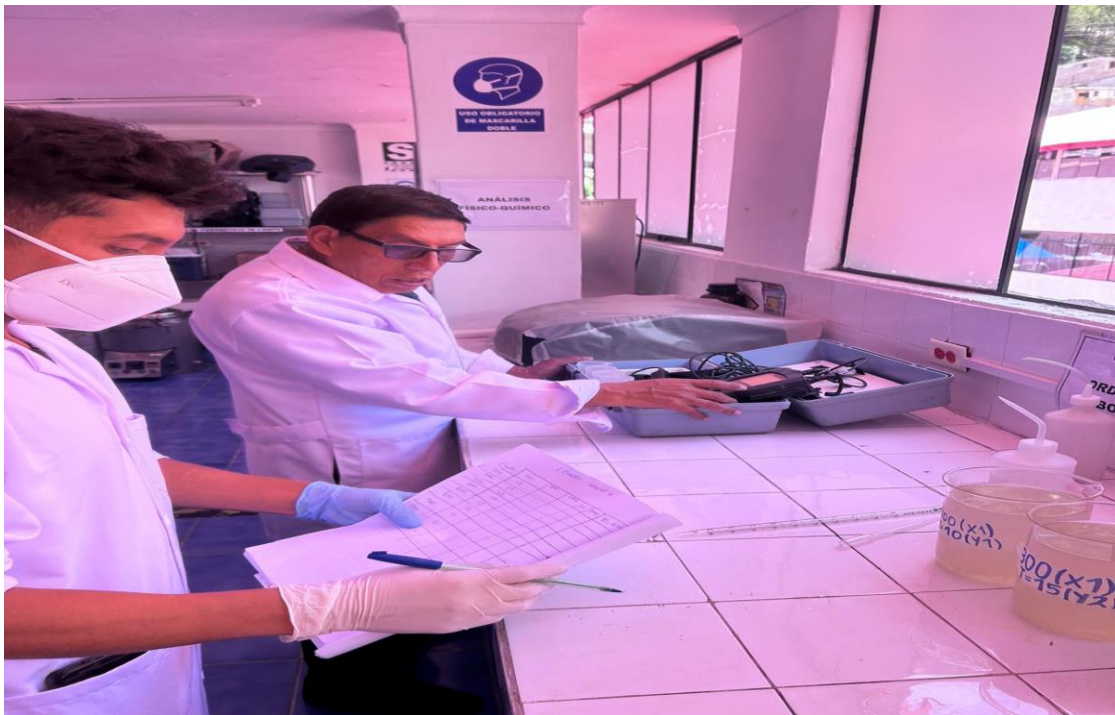


Figure 8. Recopilación de datos



Figure 9. Medición de datos de todos los parámetros de x1 300



Figure 10. Etapas de preparación de para agitación de x2 600 de aloe vera



Figure 9. Medición de datos de todos los parámetros de x2 600



Figura 12. Laboratorio e instrumentos utilizados



Figura 13. Instrumentos utilizados



Figura 14. Levantamiento de muestras



Figura 15. Planta de tratamiento de aguas residuales Yauli-Huancavelica



Figura 16. Levantamiento de la segunda muestra.

NOMBRE DEL TRABAJO

Eficiencia del coagulante de sábila (áloe vera) para la disminución de concentración de parámetros fisicoquímico en planta de tratamiento de aguas residuales de Yauli, 2025

AUTOR

Dennis Rojas Martínez- Marino Rojas Asparrin

RECUENTO DE PALABRAS

26623 Words

RECUENTO DE CARACTERES

150995 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

128 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.4MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 10, 2026 11:27 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 10, 2026 11:29 AM GMT-5

● **20% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 18% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado



Firmado digitalmente por SAEZ
HUAMAN Wilfredo FAU 20168014962
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10.04.2026 11:32:55 -05:00