



Religación
Press

Josue Esteban Mestanza Abad, Jhon Anthony Alvarado Lujan,
Alejandro Wilber Padilla Sevillano, Mayra Karina Gutiérrez Araujo,
Pedro Miguel Vásquez Mendoza, Segundo Juan Saldaña
Saavedra, Nilton Richard Mecola Guadamos

Sostenibilidad en la curtiembre

Reemplazando químicos con Aloe Vera



Josue Esteban Mestanza Abad | Jhon Anthony Alvarado Lujan |
Alejandro Wilber Padilla Sevillano | Mayra Karina Gutiérrez Araujo |
Pedro Miguel Vásquez Mendoza | Segundo Juan Saldaña Saavedra |
Nilton Richard Mecola Guadamos

Sostenibilidad en la curtiembre

Reemplazando químicos con Aloe Vera



Quito, Ecuador
2025

Josue Esteban Mestanza Abad | Jhon Anthony Alvarado Lujan |
Alejandro Wilber Padilla Sevillano | Mayra Karina Gutiérrez Araujo |
Pedro Miguel Vásquez Mendoza | Segundo Juan Saldaña Saavedra |
Nilton Richard Mecola Guadamos

Sustainability in tanning

Replacing chemicals with aloe vera



Quito, Ecuador
2025

Religación Press

[Ideas desde el Sur Global]

Equipo Editorial / Editorial team

Ana B. Benalcázar
Editora Jefe / Editor in Chief
Felipe Carrión
Director de Comunicación / Scientific Communication Director
Melissa Díaz
Coordinadora Editorial / Editorial Coordinator
Sarahi Licango Rojas
Asistente Editorial / Editorial Assistant

Consejo Editorial / Editorial Board

Jean-Arsène Yao
Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova
Fabiana Parra
Mateus Gamba Torres
Siti Mistima Maat
Nikoleta Zampaki
Silvina Sosa

Religación Press, es parte del fondo editorial del
Centro de Investigaciones CICSHAL-RELIGACIÓN |
Religación Press, is part of the editorial collection
of the CICSHAL-RELIGACIÓN Research Center |
Diseño, diagramación y portada | Design, layout and
cover: Religación Press.
CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.
Correo electrónico | E-mail: press@religacion.com
www.religacion.com

Disponible para su descarga gratuita en
| Available for free download at | [https://
press.religacion.com](https://press.religacion.com)

Este título se publica bajo una licencia de
Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
This title is published under an Attribution
4.0 International (CC BY 4.0) license.



CITAR COMO [APA 7]

Mestanza Abad, J. E., Alvarado Lujan, J. A., Padilla Sevillano, A. W., Gutiérrez Araujo, M. K., Vásquez Mendoza, P. M., Saldaña Saavedra, S. J., y Mecola Guadamos, N. R. (2025). *Sostenibilidad en la curtiembre. Reemplazando químicos con Aloe Vera*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.322>

Derechos de autor | Copyright: Religación Press, Josue Esteban Mestanza Abad, Jhon Anthony Alvarado Lujan, Alejandro Wilber Padilla Sevillano, Mayra Karina Gutiérrez Araujo, Pedro Miguel Vásquez Mendoza, Segundo Juan Saldaña Saavedra, Nilton Richard Mecola Guadamos

Primera Edición | First Edition: 2025

Editorial | Publisher: Religación Press

Materia Dewey | Dewey Subject: 675 - Procesamiento del cuero y de la piel

Clasificación Thema | Thema Subject Categories: TDCP - Tecnología de los plásticos y polímeros | TDCQ - Tecnología de la cerámica y el vidrio | RNH - Gestión de residuos | KNXC - Cuestiones de salud y seguridad

BISAC: TEC059000

Público objetivo | Target audience: Profesional / Académico | Professional / Academic

Colección | Collection: Ingeniería

Soporte | Format: PDF / Digital

Publicación | Publication date: 2025-08-18

ISBN: 978-9942-561-59-6

Título: Sostenibilidad en la curtiembre. Reemplazando químicos con Aloe Vera

Sustainability in tanning. Replacing Chemicals with Aloe Vera

Sustentabilidade no Curtume. Substituindo Químicos por Aloe Vera

Nota obra derivada: El libro retoma y amplía, mediante el trabajo colaborativo de un grupo de investigadores, los hallazgos y aportes presentados en la tesis original, enriqueciendo su contenido con nuevos enfoques, análisis y perspectivas que profundizan en los temas abordados "Efecto del Aloe Vera en la coagulación- floculación del efluente de remojo en la curtiembre Orión, Trujillo- 2024" presentada ante la Universidad Nacional de Trujillo por Jhon Anthony Alvarado Lujan, Josue Esteban Mestanza Abad en 2025.

Note: The book takes up and expands, through the collaborative work of a group of researchers, the findings and contributions presented in the original dissertation, enriching its content with new approaches, analyses and perspectives that deepen the topics addressed. "Efecto del Aloe Vera en la coagulación- floculación del efluente de remojo en la curtiembre Orión, Trujillo- 2024" presented to the Universidad Nacional de Trujillo by Jhon Anthony Alvarado Lujan, Josue Esteban Mestanza Abad in 2025.

Revisión por pares

La presente obra fue sometida a un proceso de evaluación mediante el sistema de dictaminación por pares externos bajo la modalidad doble ciego. En virtud de este procedimiento, la investigación que se desarrolla en este libro ha sido avalada por expertos en la materia, quienes realizaron una valoración objetiva basada en criterios científicos, asegurando con ello la rigurosidad académica y la consistencia metodológica del estudio.

Peer Review

This work was subjected to an evaluation process by means of a double-blind peer review system. By virtue of this procedure, the research developed in this book has been endorsed by experts in the field, who made an objective evaluation based on scientific criteria, thus ensuring the academic rigor and methodological consistency of the study.

Sobre los autores/ About the authors

Josue Esteban Mestanza Abad

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú
jomestanza@unitru.edu.pe
josuemestanza22@gmail.com

Jhon Anthony Alvarado Lujan

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú
jalvaradol@unitru.edu.pe
janthony380@gmail.com

Alejandro Wilber Padilla Sevillano

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú
<https://orcid.org/0000-0003-4764-4068>
apadilla@unitru.edu.pe
alexandropaddi@gmail.com

Mayra Karina Gutiérrez Araujo

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú
<https://orcid.org/0000-0002-1599-2386>
mgutierrez@unitru.edu.pe
mayragutierrezaraujo16@gmail.com

Pedro Miguel Vásquez Mendoza

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú
<https://orcid.org/0009-0003-0485-197X>
pvasquezm@unitru.edu.pe
pedromiguelvasquezmendoza@gmail.com

Segundo Juan Saldaña Saavedra

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú
<https://orcid.org/0000-0002-1338-2015>
ssaldana@unitru.edu.pe
jhonsaldanasaavedra@gmail.com

Nilton Richard Mecola Guadamos

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú
<https://orcid.org/0000-0001-5069-271X>
nmecola@unitru.edu.pe

Resumen

La industria del cuero genera efluentes altamente contaminantes, cuyo tratamiento tradicional emplea coagulantes químicos con impactos ambientales negativos. Esta investigación evalúa el uso del Aloe Vera como alternativa sostenible en el tratamiento de efluentes de la etapa de remojo en curtiembres, específicamente en la empresa Orión (Trujillo, 2024). Mediante el ensayo de jarras, se analizó su eficacia en la remoción de turbidez y sólidos suspendidos, comparando distintas concentraciones y velocidades de agitación. Estudios previos, como los de Diestra y Ramos (2019) y Coronado (2018), respaldan el potencial del Aloe Vera, logrando remociones superiores al 70% en contaminantes. Los resultados buscan validar su aplicabilidad técnica, reduciendo la dependencia de coagulantes sintéticos y promoviendo prácticas industriales más limpias. Esta propuesta alinea innovación ambiental con economía circular, ofreciendo una solución accesible para un problema global.

Palabras clave: Aloe Vera; Curtiembres; Coagulación natural; Sostenibilidad industrial; Tratamiento de efluentes.

Abstract

The leather industry generates highly polluting effluents, whose traditional treatment uses chemical coagulants with negative environmental impacts. This research evaluates the use of Aloe Vera as a sustainable alternative in the treatment of effluents from the soaking stage in tanneries, specifically at the Orión company (Trujillo, 2024). Through jar tests, its effectiveness in removing turbidity and suspended solids was analyzed, comparing different concentrations and stirring speeds. Previous studies, such as those by Diestra and Ramos (2019) and Coronado (2018), support the potential of Aloe Vera, achieving removals of more than 70% of contaminants. The results seek to validate its technical applicability, reducing dependence on synthetic coagulants and promoting cleaner industrial practices. This proposal aligns environmental innovation with the circular economy, offering an accessible solution to a global problem.

Keywords: Aloe Vera; Tanneries; Natural coagulation; Industrial sustainability; Effluent treatment.

Resumo

A indústria do couro gera efluentes altamente poluentes, cujo tratamento tradicional utiliza coagulantes químicos com impactos ambientais negativos. Esta pesquisa avalia o uso do Aloe Vera como alternativa sustentável no tratamento de efluentes da etapa de imersão em curtumes, especificamente na empresa Orión (Trujillo, 2024). Por meio de ensaios em jarros, foi analisada sua eficácia na remoção de turbidez e sólidos em suspensão, comparando diferentes concentrações e velocidades de agitação. Estudos anteriores, como os de Diestra e Ramos (2019) e Coronado (2018), apoiam o potencial do Aloe Vera, alcançando remoções superiores a 70% dos contaminantes. Os resultados buscam validar sua aplicabilidade técnica, reduzindo a dependência de coagulantes sintéticos e promovendo práticas industriais mais limpas. Esta proposta alinha a inovação ambiental com a economia circular, oferecendo uma solução acessível para um problema global.

Palavras-chave: Aloe Vera; Curtumes; Coagulação natural; Sustentabilidade industrial; Tratamento de efluentes.

CONTENIDO

Revisión por pares	6
Peer Review	6
Sobre los autores/ About the authors	8
Resumen	10
Abstract	10
Resumo	11
Capítulo 1	18
Introducción	18
Evaluando una solución verde para los desafíos ambientales de la industria del cuero	18
Antecedentes	19
Capítulo 2	22
Alternativas Verdes en el Tratamiento de Aguas Residuales	22
Coagulantes de Origen Natural: Ventajas y Aplicaciones	22
Mecanismos de Acción del Aloe Vera en el Tratamiento de Aguas	23
Fundamentos Teóricos de los Procesos de Coagulación y Floculación	23
Variables Operacionales en Procesos de Coagulación-Floculación	24
Parámetros de Control en el Tratamiento de Efluentes	24
Metodología Experimental: Pruebas de Jarras	24
Caso de Estudio: Curtiembre Orión S.A.C.	25
Planteamiento del Problema de Investigación	25
Hipótesis y Objetivos del Estudio	25
Capítulo 3	27
Del Tallo al Laboratorio: Transformando el Aloe Vera en Solución para Aguas Residuales	27
Material de estudio	27
Reactivos, materiales y equipos	27
Reactivos	27
Materiales	28
Equipos	28
Secuencia de etapas	29
Variable de estudio	30
Variables Independientes	30
Variables Dependientes	30
Procedimiento	30
Obtención del Coagulante de Aloe Vera	30

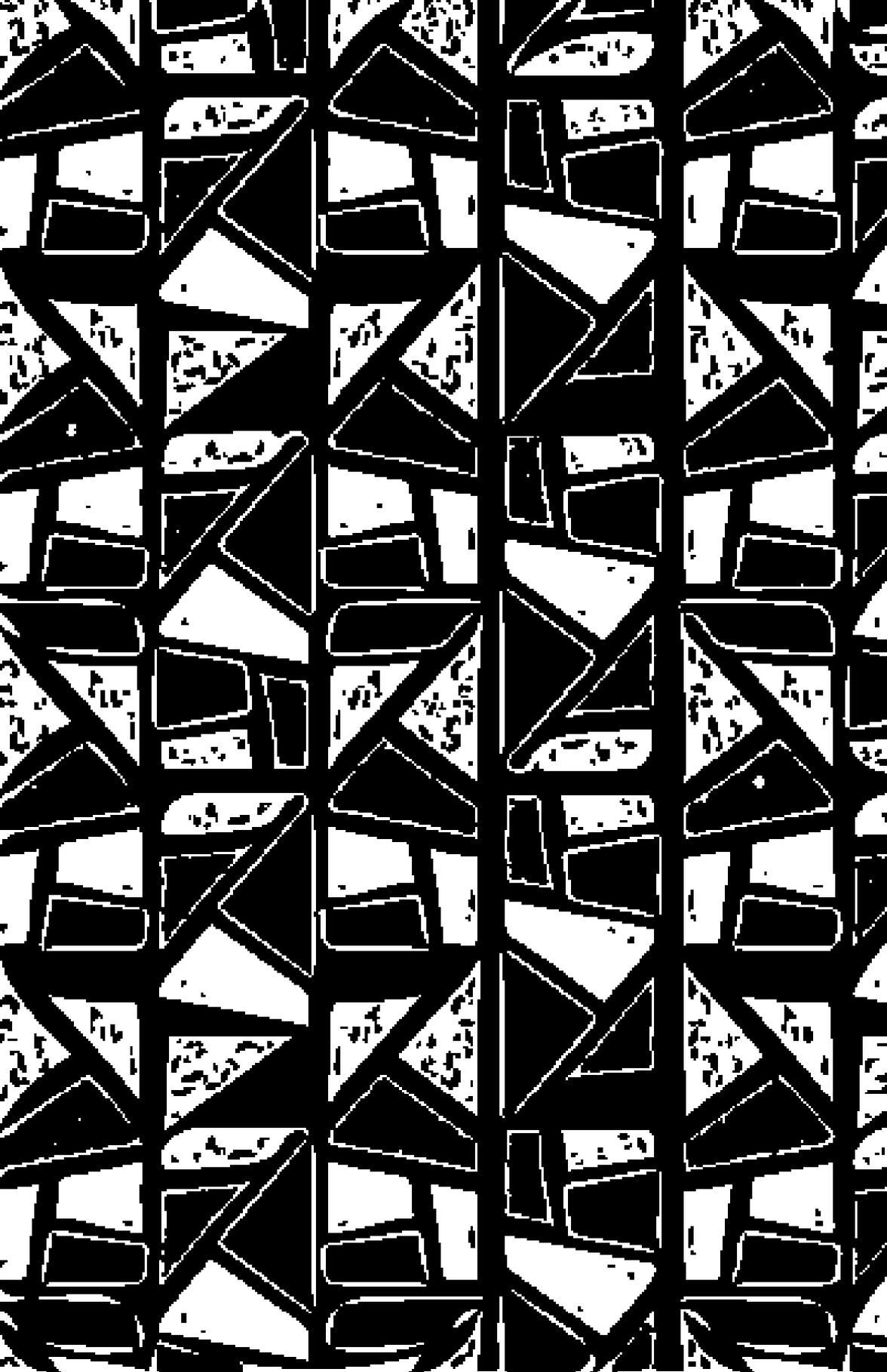
Toma de muestra del efluente de remojo de la curtiembre	31
Pre - tratamiento del efluente	31
Preparación de la solución Coagulante de Aloe Vera	31
Evaluación del pH de la muestra y acondicionamiento	32
Análisis de Turbidez	34
Envío de muestras a laboratorio acreditado	34
Capítulo 4	36
El Dilema del Coagulante Verde	36
Anova	42
Del Diseño Factorial:	43
Análisis de datos de Turbidez:	43
B. Nivel de significación: $\alpha = 0.0$	44
C. Función de prueba o fórmula	46
D. Valor tabular: Tabla F del análisis de Varianza	46
E. Decisión	46
Prueba de Hipótesis:	47
A. Hipótesis a) Para los tratamientos:	47
B. Nivel de significación: $\alpha = 0.05$	48
C. Función de prueba o fórmula	49
D. Valor tabular: Tabla F del análisis de Varianza $F_{tab} = F(5,12; 0.95) =$	
3.11 Para tratamientos	49
E. Decisión	49
Capítulo 5	52
Entre la Esperanza Verde y la Realidad Industrial	52
El Desafío de lo Natural	52
Resultados Experimentales y Eficacia Limitada	52
Análisis de Parámetros y Factores Limitantes	53
Condiciones Óptimas y Perspectivas Futuras	53
Implicaciones Prácticas y Recomendaciones	53
Claves para Optimizar el Uso del Aloe Vera en Tratamiento de Aguas Residuales	54
Selección y Preparación del Material Vegetal	54
Control de Procesos y Seguridad en Laboratorio	54
Metodología Experimental y Recomendaciones	54
Perspectivas Futuras de Investigación	55
Referencias	57

TABLAS

Tabla 1. Preparación de la solución de Aloe Vera	31
Tabla 2. Ensayos de prueba de jarras	32
Tabla 3. Repetición 2 de prueba jarras	33
Tabla 4. Repetición 3 de prueba de jarras	34
Tabla 6. Resultados de turbidez y porcentaje de remoción en las muestras	38
Tabla 7. Resultados de TSS y porcentaje de remoción en las muestras	40
Tabla 8. Tratamientos para Turbidez	43
Tabla 9. Factores para Turbidez	44
Tabla 10. Análisis de Varianza (ANOVA) para Turbidez	44
Tabla 11. Análisis de Varianza (ANOVA) para Turbidez	46
Tabla 12. Factores para TSS	47
Tabla 13. Análisis de Varianza (ANOVA) para TSS	48

FIGURAS

Figura 1. Resultados de blanco y turbidez final post tratamiento	39
Figura 2. Resultados de blanco y turbidez final post tratamiento (duplicado)	39
Figura 3. Resultados de blanco y turbidez final post tratamiento (triplicado)	40
Figura 4. Resultados de blanco y TSS final post tratamiento	41
Figura 5. Resultados de blanco y TSS final post tratamiento (duplicado)	42
Figura 6. Resultados de blanco y TSS final post tratamiento (triplicado)	42



Capítulo 1

Introducción

Evaluando una solución verde para los desafíos ambientales de la industria del cuero

La industria del curtido de pieles es una de las actividades manufactureras con mayor impacto ambiental, debido a la generación de grandes volúmenes de aguas residuales altamente contaminadas. Estos efluentes contienen una mezcla compleja de sustancias químicas, partículas en suspensión y materia orgánica, que representan un grave riesgo para los ecosistemas acuáticos y la salud pública cuando son vertidos sin tratamiento adecuado.

Tradicionalmente, el proceso de depuración de estas aguas residuales ha utilizado coagulantes químicos a base de sales de aluminio y hierro. No obstante, estos compuestos presentan importantes desventajas: producen grandes cantidades de lodos residuales, pueden dar lugar a subproductos tóxicos y representan un costo económico significativo para las empresas. Estas limitaciones han motivado la búsqueda de alternativas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el potencial del Aloe Vera como coagulante natural en el tratamiento de los efluentes generados durante la etapa de remojo en el proceso de curtido. El estudio busca determinar si este recurso vegetal, conocido por sus propiedades gelificantes y su bajo impacto ambiental, puede constituir una solución eficaz y sostenible para reducir la contaminación en esta industria.

Antecedentes

Diestra y Ramos (2019), realizaron una investigación para estudiar cómo influye la dosificación de Aloe Vera y el tiempo de floculación en la supresión de sólidos suspendidos y materia orgánica biodegradable de las aguas residuales en el sector el Cerrillo, Santiago de Chuco, para lo cual se recopilaron dos muestras de agua y se ejecutaron ensayos con gel de Aloe vera a distintas concentraciones, además se controlaron revoluciones de 200 rpm y 30 rpm mediante el test de jarras, de tal modo se consiguió que el coagulante natural tiene un efecto significativo logrando una remoción del 87.64 % de sólidos en suspensión y 73.40 % de materia biodegradable, al utilizar una concentración de 3000 ppm de gel de Aloe vera con un tiempo de floculación de 20 y 25 minutos.

Coronado (2018), en su trabajo de grado, optó por determinar la eficiencia y la proporción de Agave y Aloe vera para eliminar materia orgánica de las aguas del río Lurín en el asentamiento humano Julio César Tello, trabajando con una muestra de 16 litros de agua y empleando el test de jarras para el tratamiento en donde utilizó 3 tipos de coagulantes de plantas (Agave, Aloe vera; Agave + Aloe vera) en 3 muestras a diferentes concentración, con lo cual se encontró que la cantidad y el experimento que satisface el mejor rendimiento es el Agave disminuyendo la concentración DBO₅ y DQO en un 80%, seguido del Aloe vera que lo hace en un 78% y por último la combinación de Agave + Aloe vera en 70%.

Olivera (2022), en su investigación busca disminuir la concentración de factores críticos con la aplicación del coagulante Aloe Vera como alternativa terciaria en la planta de tratamiento de aguas residuales de JAUJA, la experiencia se ejecutó vía el ensayo de jarras, a las que se les añadió distintas porciones de gel

de Aloe Vera, la eficacia del experimento conllevó a la variación de turbidez en un 43.70 %, sólidos suspendidos totales en un 75.70% y DBO5 en 87.24% empleando una dosis de 20 mL de muestra.

Ruiz et al. (2022), en su investigación aplicó coagulante de sábila con el fin de disminuir la turbidez en agua superficial, realizando una simulación de la turbidez con caolín, empleando concentraciones de alúmina y Aloe Vera (1%) a diferentes valores iniciales de pH y turbidez, los datos obtenidos se utilizaron para la optimización de la dosis mediante un modelo matemático de superficie de respuesta, posteriormente se usó un método gráfico, de tal modo que se puede observar un efecto significativo en la eliminación de turbidez del agua y en base al modelo aplicado, la dosis óptima de 1% de coagulante logra la máxima eficacia en 0,1 mL, 0,4 mL por cada 500 mL, y la dosificación cambia según los valores iniciales de los parámetros fisicoquímicos en estudio.

Capítulo 2

Alternativas Verdes en el Tratamiento de Aguas Residuales

Coagulantes de Origen Natural: Ventajas y Aplicaciones

Los coagulantes naturales representan una solución prometedora para los desafíos ambientales asociados al tratamiento de aguas residuales industriales. Estas sustancias, obtenidas de fuentes vegetales o animales, operan mediante mecanismos fisicoquímicos que permiten la agregación y posterior remoción de partículas suspendidas. A diferencia de los coagulantes sintéticos convencionales, destacan por su biodegradabilidad, baja toxicidad y mínimo impacto ecológico

(Abebe et al., 2016). Su aplicación es particularmente relevante en industrias con alta generación de efluentes complejos, como el sector curtiembres, donde se requieren soluciones alineadas con los principios de la economía circular. La transición hacia estos biocoagulantes podría reducir significativamente la producción de lodos tóxicos y los costos asociados a su disposición final.

Mecanismos de Acción del Aloe Vera en el Tratamiento de Aguas

La planta de Aloe Vera ha emergido como un coagulante natural particularmente efectivo debido a su composición bioquímica única. Los polisacáridos presentes en su gel, principalmente acemannan y glucomananos, interactúan con los coloides del agua mediante tres mecanismos simultáneos: neutralización de carga, adsorción superficial y formación de puentes entre partículas (Yin, 2010). Estos compuestos orgánicos poseen grupos funcionales que permiten la desestabilización de las suspensiones coloidales, reduciendo las fuerzas repulsivas y facilitando la formación de agregados más densos. Estudios recientes sugieren que la estructura molecular de estos polisacáridos podría ser modificada para optimizar su desempeño en diferentes condiciones de tratamiento, ofreciendo versatilidad en aplicaciones industriales específicas.

Fundamentos Teóricos de los Procesos de Coagulación y Floculación

El tratamiento físico-químico de aguas mediante coagulación-floculación comprende etapas secuenciales críticas para la remoción de contaminantes. La coagulación implica la desestabilización de partículas coloidales mediante la neutralización de sus cargas superficiales, proceso que depende fundamentalmente de la naturaleza del coagulante empleado (Bratby, 2016). Posteriormente, la floculación facilita el crecimiento de los microfloculos mediante agitación controlada, permitiendo la formación de agregados sedimentables. Este proceso de aglomeración está gobernado por mecanismos de transporte particulado y fuerzas de atracción intermoleculares (Bratby, 2016). La eficiencia global del sistema está determinada por la sinergia entre estos dos procesos, requiriendo una optimización precisa de los parámetros operativos para cada tipo de agua residual.

Variables Operacionales en Procesos de Coagulación-Floculación

La eficacia del tratamiento mediante coagulación-floculación está sujeta a múltiples factores interdependientes que requieren control estricto. El pH del medio acuoso influye directamente en la especiación química de los coagulantes y la carga superficial de los coloides, afectando significativamente la eficiencia de remoción (Trujillo, 2014). La dosificación óptima del coagulante debe determinarse experimentalmente, ya que tanto el subdosaje como el sobredosaje pueden comprometer la formación de flóculos. La selección del tipo de coagulante debe considerar las características específicas del efluente, incluyendo su composición iónica y carga orgánica. Las condiciones de mezcla, particularmente durante la etapa de floculación, deben diseñarse para maximizar las colisiones interparticulares sin provocar la ruptura de los flóculos formados.

Parámetros de Control en el Tratamiento de Efluentes

La evaluación del desempeño de sistemas de coagulación-floculación requiere el monitoreo sistemático de indicadores fisicoquímicos clave. La turbidez, cuantificada mediante nefelometría, proporciona información valiosa sobre la concentración de partículas finas en suspensión (Pérez et al., 2013). Los sólidos suspendidos totales (SST), determinados gravimétricamente, representan la masa de material particulado removido durante el tratamiento. Ambos parámetros están directamente relacionados con la eficiencia del proceso y son ampliamente utilizados como indicadores de cumplimiento normativo. Su medición precisa permite ajustar las condiciones operativas y validar la efectividad comparativa de diferentes coagulantes, incluyendo alternativas naturales como el Aloe Vera en aplicaciones industriales específicas.

Metodología Experimental: Pruebas de Jarras

La prueba de jarras constituye una herramienta fundamental para la optimización de procesos de coagulación-floculación a escala de laboratorio. Este método estandarizado simula las condiciones hidráulicas de plantas de tratamiento reales, permitiendo evaluar sistemáticamente variables operacionales (American Water Works Association, 2011). El protocolo incluye fases secuenciales de mezcla rápida para dispersión homogénea del coagulante, mezcla lenta para crecimiento de flóculos, y sedimentación para evaluar la clarificación final. Los resultados obtenidos permiten determinar dosis óptimas, tiempos de retención y condiciones de mezclado ideales para cada sistema coagulante-efluente, reduciendo los costos asociados a pruebas a escala industrial.

Caso de Estudio: Curtiembre Orión S.A.C.

La empresa Curtiembre Orión, establecida en Trujillo (Perú), representa un caso paradigmático para la implementación de tecnologías de tratamiento sostenible en la industria del cuero. Desde su fundación en 2001, la compañía ha mantenido un compromiso constante con la mejora de sus procesos productivos y ambientales. Sus instalaciones cuentan con equipamiento especializado para el procesamiento de pieles, generando efluentes característicos con alta carga orgánica y química. Los vertidos de la etapa de remojo, ricos en proteínas, sulfuros y compuestos orgánicos, presentan desafíos técnicos particulares que los convierten en un caso ideal para evaluar la eficacia de coagulantes alternativos como el Aloe Vera.

Planteamiento del Problema de Investigación

El núcleo de esta investigación radica en determinar la viabilidad técnica del Aloe Vera como coagulante natural para el tratamiento de efluentes de remojo en la curtiembre Orión. El estudio busca cuantificar específicamente su eficacia en la remoción de contaminantes clave durante el proceso de coagulación-floculación, comparando su desempeño con coagulantes convencionales. La pregunta central explora si este bioagulante puede alcanzar niveles de tratamiento equivalentes a los métodos químicos tradicionales, pero con menores impactos ambientales y costos operativos, particularmente en las condiciones específicas de los efluentes de curtiembre.

Hipótesis y Objetivos del Estudio

La hipótesis principal postula que el Aloe Vera exhibirá un efecto significativo en los procesos de coagulación-floculación de efluentes de remojo, demostrando eficiencias comparables o superiores a coagulantes convencionales en parámetros clave como turbidez y SST. Para verificar esta premisa, el estudio establece tres objetivos específicos interrelacionados: determinar las condiciones óptimas de concentración y agitación, cuantificar la eficiencia de remoción de turbidez, y evaluar la reducción de sólidos suspendidos totales. Los hallazgos podrían sustentar la implementación de esta alternativa sostenible en la industria del cuero, contribuyendo a reducir su huella ambiental sin comprometer la calidad del tratamiento.

Capítulo 3

Del Tallo al Laboratorio: Transformando el Aloe Vera en Solución para Aguas Residuales

Material de estudio

Agua residual industrial recolectada del efluente de la etapa de remojo en la curtiembre Orión de Trujillo en el año 2024.

Reactivos, materiales y equipos

Reactivos

- Agua Destilada
- Ácido Fosfórico al 85%
- Solución Coagulante de Aloe Vera

Materiales

- 02 bandejas de 10 L
- 02 cuchillos
- 02 bandejas metálicas
- 02 varillas de vidrio
- 02 baldes de 4L
- 02 jarras de 500 mL
- 03 baldes de 18L
- 01 colador
- 01 malla Tamizadora
- 02 probetas de 100 mL
- 07 vasos de precipitado de 800 mL
- 03 vasos de precipitado de 250 mL
- 03 vasos de precipitado de 100 mL
- 21 botellas de plástico de 500 mL
- 01 Cooler
- 03 Icepacks
- 01 gotero
- 01 frasco de 250 mL
- 02 espátulas metálicas
- 01 set de tiras indicadoras de pH
- 01 caja de Guantes de nitrilo
- 03 pastillas magnéticas
- 03 viales con tapa rosca

Equipos

- 01 balanza Analítica
- 01 turbidímetro digital
- 01 estufa
- 01 equipo de Test de Jarras
- 01 tacómetro digital
- 01 pH-metro digital
- 01 cronómetro
- 01 agitador magnético

Secuencia de etapas

El desarrollo de la presente investigación consta de una secuencia de etapas definidas de la siguiente manera:

- **Obtención del Coagulante de Aloe Vera:** la primera etapa consiste en la obtención del coagulante, para ello se seleccionan pencas grandes de Aloe Vera en estado óptimo y posteriormente se someten a lavado, cortado, secado en estufa y molienda hasta obtener un fino polvo de Aloe Vera, este será almacenado en una bolsa y en un frasco hasta el momento en que se quiera preparar la solución coagulante.
- **Toma de Muestra:** en esta etapa se recolectará 18 L de muestra del efluente de remojo de una curtiembre en un balde y se llevará al laboratorio de aguas de la universidad Nacional de Trujillo para someterlo a tratamientos previos y establecer una muestra representativa con ciertas condiciones.
- **Tratamiento Previo:** se somete el efluente a un tratamiento de separación, haciendo que la muestra pase por un colador – malla y quede libre de partículas sólidas o grasas.
- **Preparación de la solución Coagulante:** del polvo obtenido en la primera etapa se pesa las cantidades con las que se va a trabajar y se disuelve con agua destilada en vasos de precipitado según las dosificaciones establecidas para cada tratamiento de coagulación – floculación.
- **Evaluación del pH de la muestra:** luego del tratamiento previo, se mide el pH de la muestra y se verifica si se encuentra en el rango adecuado para trabajar la coagulación – floculación, caso contrario se corrige añadiendo soluciones acidas o alcalinas débiles.
- **Prueba de Jarras:** con la muestra homogenizada y establecida al pH adecuado se procede a llenar un frasco que servirá de control, testigo o blanco en donde no se aplicará tratamiento y por otra parte se llenaran los vasos de precipitado grandes en donde se aplicaran las soluciones coagulantes y el tratamiento de coagulación – floculación mediante el test de Jarras.
- **Análisis de Turbidez:** después del proceso se toma alícuotas y se analiza el parámetro de turbidez para la muestra testigo (blanco) y las muestras que han sido sometidas a tratamiento en el test de Jarras.
- **Envío de muestras a laboratorio acreditado:** para finalizar se tomará muestras del agua tratada y la muestra de agua sin tratamiento (blanco)

en frascos y serán enviados en un cooler a un laboratorio acreditado para que realice el análisis de sólidos totales en suspensión.

- **Repetición de Tratamientos:** con el propósito de obtener resultados más precisos y confiables se realizó todo el proceso con 2 repeticiones en cada tratamiento.
- **Evaluación de la efectividad del Coagulante:** en base a los resultados obtenidos del parámetro de turbidez y los que emitirá el laboratorio acreditado para los sólidos suspendidos, se determinará la eficacia del Aloe Vera mediante análisis estadístico.

Variable de estudio

Variables Independientes

- Aloe Vera [2500 ppm, 3000 ppm, 3500 ppm] $\cong [A_1, A_2, A_3]$
- Velocidad de Agitación [200 rpm, 250 rpm] $\cong [B_1, B_2]$

Variables Dependientes

- Turbidez
- Sólidos Totales en Suspensión

Procedimiento

Obtención del Coagulante de Aloe Vera

Se inició con la selección de 12 pencas grandes de Aloe Vera en buen estado, luego se lavaron cada una de ellas para remover restos de polvo y tierra, a continuación, en bandejas se les cortó el tallo y se eliminó el acíbar (sustancia amarilla verdosa). Posteriormente se cortó cada penca de sábila en trozos pequeños y se extrajo el contenido de gel debido a que las cascara sin gel es la materia prima de interés.

Estas se continuaron cortando en trozos más pequeños y colocados en bandejas metálicas para llevarlas a secar en una estufa por 3 horas a 102 °C a fin de eliminar restos de humedad. El siguiente paso consistió en triturar las hojas

secas mediante un mortero hasta obtener un polvo bien fino y luego tamizarlo. Finalmente, el polvo de Aloe Vera que se consiguió se almacenó en una bolsa y dentro de un frasco hasta su preparación en solución.

Toma de muestra del efluente de remojo de la curtiembre

En el tambor giratorio de la etapa de remojo se dispone de un volumen total de 2500 L de agua residual, el cuál antes de recolectar la muestra se hizo girar por 3 minutos con el objetivo de seleccionar una muestra representativa homogénea. Al destapar se dejó caer el agua y se seleccionó una muestra de 18L al azar purgando y descartando otras inicialmente. La muestra obtenida en el balde se llevó al laboratorio de aguas de la universidad para tratamiento previo al test de jarras.

Pre - tratamiento del efluente

En esta etapa se traspasó los 18 L de muestra a otro balde haciendo que el agua pase por un colador y una malla filtradora de 3 capas con el fin de retener partículas sólidas grandes como pelos, restos de pieles, sedimentables y películas de grasas.

Preparación de la solución Coagulante de Aloe Vera

Del frasco en donde se dejó almacenado el coagulante en polvo, se pesaron las siguientes cantidades de trabajo:

Tabla 1. Preparación de la solución de Aloe Vera

Peso de Coagulante (g)	Volumen de Solvente (mL)	Concentración (ppm)
0.125	50	2500
0.150	50	3000
0.175	50	3500

Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Cada cantidad pesada se disuelve con agua destilada en un vaso de precipitado de 200 mL, se agita con la varilla o por agitación magnética y se rotula según la concentración preparada.

Evaluación del pH de la muestra y acondicionamiento

Después del pre tratamiento, a la muestra del efluente se le midió el pH cuyo valor registrado en el ph-metro fue de 9.70, debido a esto se preparó una solución reguladora de pH 1:1 a partir de ácido fosfórico al 85%, este ácido débil no genera interferencias en la muestra y solo ajusta el pH.

Posteriormente, en base a estudios previos sobre la elevada carga de materia orgánica del efluente, se optó por trabajar con 500 mL en cada Jarra con muestra diluida 1:4. Entonces se sirvieron 7 Jarras con 500 mL de muestra diluida homogenizada y el número de experimentos se organizó de la siguiente manera:

Tabla 2. Ensayos de prueba de jarras

N° de Jarra	Identificación de Jarra	Concentración de Aloe Vera	Velocidad de Agitación para la coagulación
01	Blanco (BK-1)	Sin tratamiento	Sin tratamiento
02	Tratamiento 1 (T-1)	2500 ppm	190 rpm
03	Tratamiento 2 (T-2)	3000 ppm	190 rpm
04	Tratamiento 3 (T-3)	3500 ppm	190 rpm
05	Tratamiento 4 (T-4)	2500 ppm	140 rpm
06	Tratamiento 5 (T-5)	3000 ppm	140 rpm
07	Tratamiento 6 (T-6)	3500 ppm	140 rpm

Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

En cada Jarra se midió el pH y se añadieron gotas de la solución de ácido fosfórico 1:1 hasta regular el valor entre 6.5 - 6.8, debido a que es un rango adecuado para efectuar la coagulación.

Prueba de Jarras

Teniendo las Jarras preparadas se colocaron en el equipo las tres primeras y se añadió a cada una de ellas 25 mL de la solución coagulante según su respectiva concentración a utilizar. El tiempo de coagulación empleado fue de 90 segundos a la velocidad de 190 rpm y el tiempo de floculación 20 minutos a 30 rpm, para verificar las velocidades de agitación se empleó un tacómetro digital.

Culminado el proceso se dejó en reposo las jarras por 30 minutos para culminar la sedimentación de los flóculos y luego se tomaron alícuotas de las muestras tratadas para medir turbidez y otras para enviarlas en frascos al laboratorio Loayza Murakami para el respectivo análisis de sólidos suspendidos totales.

Después se acoplaron las otras 3 Jarras restantes al equipo del test y se repitió el mismo proceso que el anterior cambiando únicamente las condiciones de velocidad de agitación para la coagulación a 140 rpm.

A fin de obtener resultados más precisos y confiables se realizaron 2 repeticiones en cada tratamiento de tal modo que se lograron 14 experimentos más con las siguientes especificaciones:

Tabla 3. Repetición 2 de prueba jarras

N° de Jarra	Identificación de Jarra	Concentración de Aloe Vera	Velocidad de Agitación para la coagulación
01	Blanco (BK-2)	Sin tratamiento	Sin tratamiento
02	Tratamiento 1 (T-7)	2500 ppm	190 rpm
03	Tratamiento 2 (T-8)	3000 ppm	190 rpm
04	Tratamiento 3 (T-9)	3500 ppm	190 rpm
05	Tratamiento 4 (T-10)	2500 ppm	140 rpm
06	Tratamiento 5 (T-11)	3000 ppm	140 rpm
07	Tratamiento 6 (T-12)	3500 ppm	140 rpm

Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Tabla 4. Repetición 3 de prueba de jarras

N° de Jarra	Identificación de Jarra	Concentración de Aloe Vera	Velocidad de Agitación para la coagulación
01	Blanco (BK-3)	Sin tratamiento	Sin tratamiento
02	Tratamiento 1 (T-13)	2500 ppm	190 rpm
03	Tratamiento 2 (T-14)	3000 ppm	190 rpm
04	Tratamiento 3 (T-15)	3500 ppm	190 rpm
05	Tratamiento 4 (T-16)	2500 ppm	140 rpm
06	Tratamiento 5 (T-17)	3000 ppm	140 rpm
07	Tratamiento 6 (T-18)	3500 ppm	140 rpm

Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Análisis de Turbidez

La siguiente etapa consistió en tomar alícuotas de las muestras tratadas y el blanco para analizar la turbidez. En un vial con tapa se depositaron 10 mL de alícuota, se llevaron a medición en el turbidímetro previamente calibrado y se registraron los valores obtenidos.

Primero se midió la turbidez de la muestra sin tratamiento y posteriormente el valor de cada muestra con tratamiento y sedimentación después de 30 minutos.

Envío de muestras a laboratorio acreditado

La última parte del procedimiento experimental consistió en enviar muestras del agua tratada y del blanco en frascos al laboratorio Loayza Murakami para que se realicen los análisis de sólidos totales en suspensión y esperar la emisión de los informes con los resultados.

Capítulo 4

El Dilema del Coagulante Verde

Posterior a la ejecución de los tratamientos se recopilieron los datos de turbidez medidos en el laboratorio de aguas de la universidad nacional Trujillo y los resultados de sólidos totales en suspensión proporcionados por el laboratorio Loayza Murakami.

Tabla 5. Resultados de Turbidez y TSS en los ensayos

Tratamiento	Velocidad de agitación (rpm)	Concentración de Aloe Vera (ppm)	Turbidez (NTU)	TSS (mg/L)
BK-1	-	-	857	304.0
T-1	190	2500	817	281.7
T-2	190	3000	821	286.7
T-3	190	3500	825	293.3
T-4	140	2500	823	290.0
T-5	140	3000	837	293.3
T-6	140	3500	842	298.3
BK-2	-	-	911	324.0
T-7	190	2500	866	301.7
T-8	190	3000	869	308.3
T-9	190	3500	881	313.3
T-10	140	2500	874	311.7
T-11	140	3000	884	315.0
T-12	140	3500	901	320.0
BK-3	-	-	889	317.3
T-13	190	2500	844	295.0
T-14	190	3000	849	300.0
T-15	190	3500	862	306.7
T-16	140	2500	856	301.7
T-17	140	3000	869	310.0
T-18	140	3500	880	311.7

Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Las muestras se sometieron a las siguientes condiciones en el tratamiento:

- Tiempo de Coagulación: 2 minutos
- pH: 6.5 – 6.7
- Tiempo de reposo previo a floculación: 5 minutos
- Tiempo de Floculación: 20 minutos

- Tiempo de Sedimentación: 45 min
- Temperatura: 21 °C
- Presión: 1 atm

Para determinar el efecto del Aloe Vera en base a los resultados de turbidez y Sólidos totales en suspensión se aplicó la siguiente formula:

$$EAV = \left(\frac{\text{Blanco} - \text{Tratamiento}}{\text{Blanco}} \right) \times 100$$

Donde:

EAV: Efecto del Aloe Vera (%)

- Blanco: Resultado de la muestra sin tratamiento
- Tratamiento: Resultado de muestra con tratamiento

Los resultados en base a la remoción de turbidez se presentan en la Tabla #

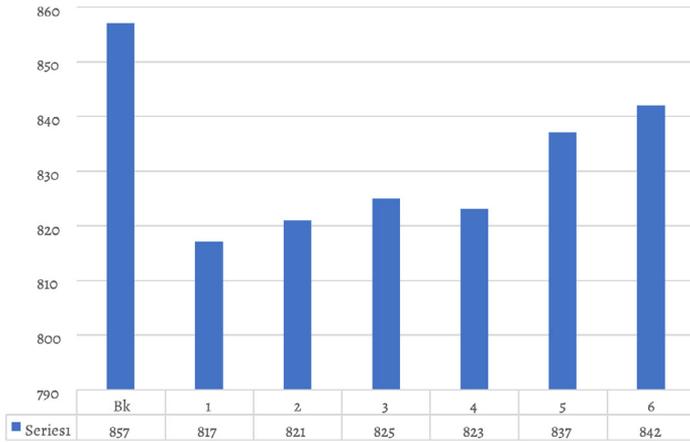
Tabla 6. Resultados de turbidez y porcentaje de remoción en las muestras

Muestra	Turbidez inicial o de Blanco (NTU)	Turbidez final post tratamiento (NTU)	Remoción de Turbidez (%)
Tratamiento 1	857	817	4.67
Tratamiento 2	857	821	4.20
Tratamiento 3	857	825	3.73
Tratamiento 4	857	823	3.97
Tratamiento 5	857	837	2.33
Tratamiento 6	857	842	1.75
Tratamiento 7	911	866	4.94
Tratamiento 8	911	869	4.61
Tratamiento 9	911	881	3.29
Tratamiento 10	911	874	4.06
Tratamiento 11	911	884	2.96
Tratamiento 12	911	901	1.10
Tratamiento 13	889	844	5.06
Tratamiento 14	889	849	4.50
Tratamiento 15	889	862	3.04

Muestra	Turbidez inicial o de Blanco (NTU)	Turbidez final post tratamiento (NTU)	Remoción de Turbidez (%)
Tratamiento 16	889	856	3.71
Tratamiento 17	889	869	2.25
Tratamiento 18	889	880	1.01

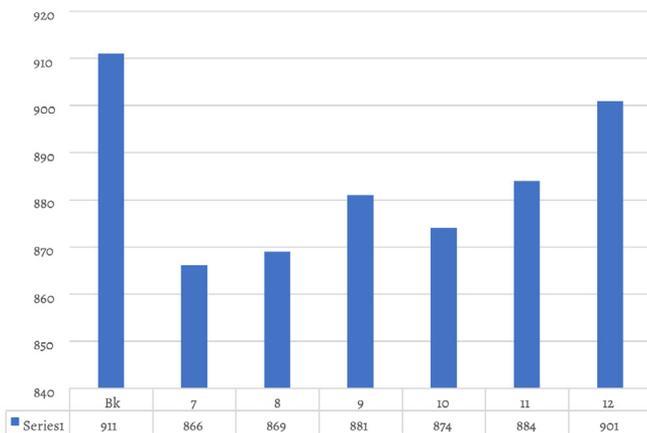
Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Figura 1. Resultados de blanco y turbidez final post tratamiento



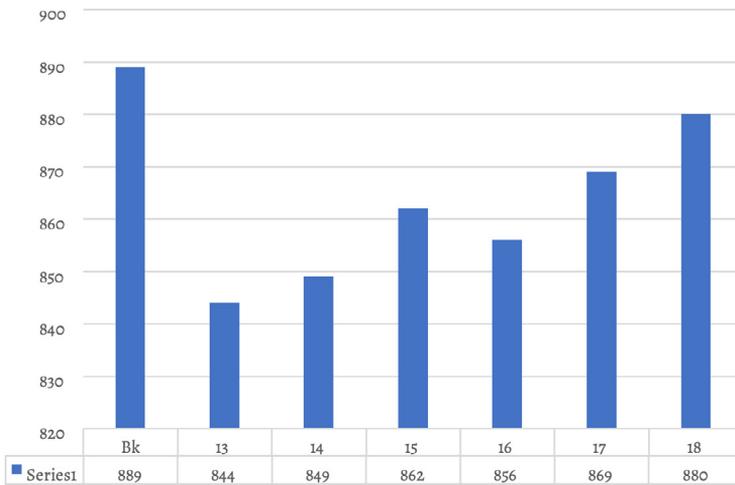
Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Figura 2. Resultados de blanco y turbidez final post tratamiento (duplicado)



Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Figura 3. Resultados de blanco y turbidez final post tratamiento (triplicado)



Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Los resultados en base a la remoción de sólidos totales en suspensión se presentan en la tabla.

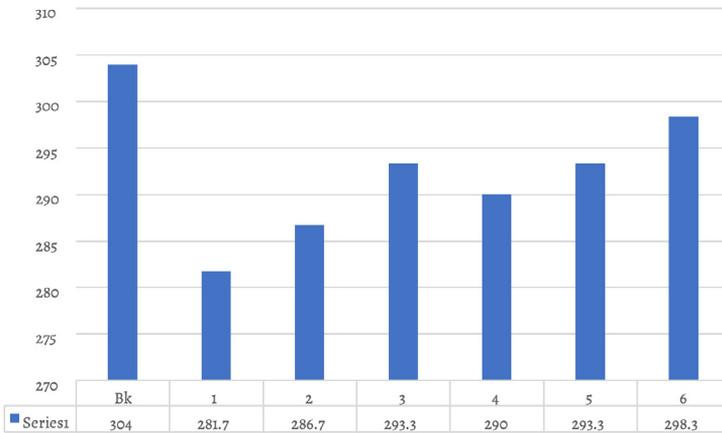
Tabla 7. Resultados de TSS y porcentaje de remoción en las muestras

Muestra	TSS inicial o de Blanco (mg/L)	TSS final post tratamiento (mg/L)	Remoción de TSS (%)
Tratamiento 1	304.0	281.7	7.34
Tratamiento 2	304.0	286.7	5.69
Tratamiento 3	304.0	293.3	3.52
Tratamiento 4	304.0	290.0	4.61
Tratamiento 5	304.0	293.3	3.52
Tratamiento 6	304.0	298.3	1.88
Tratamiento 7	324.0	301.7	6.88
Tratamiento 8	324.0	308.3	4.85
Tratamiento 9	324.0	313.3	3.30
Tratamiento 10	324.0	311.7	3.80
Tratamiento 11	324.0	315.0	2.78
Tratamiento 12	324.0	320.0	1.23
Tratamiento 13	317.3	295.0	7.03

Muestra	TSS inicial o de Blanco (mg/L)	TSS final post tratamiento (mg/L)	Remoción de TSS (%)
Tratamiento 14	317.3	300.0	5.45
Tratamiento 15	317.3	306.7	3.34
Tratamiento 16	317.3	301.7	4.92
Tratamiento 17	317.3	310.0	2.30
Tratamiento 18	317.3	311.7	1.76

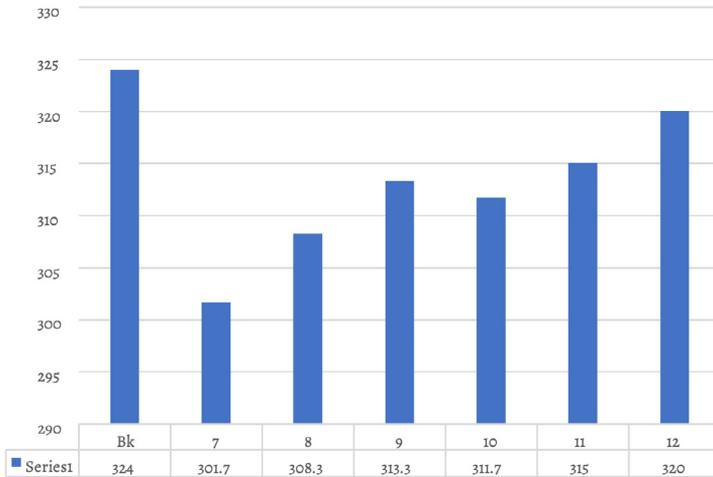
Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Figura 4. Resultados de blanco y TSS final post tratamiento



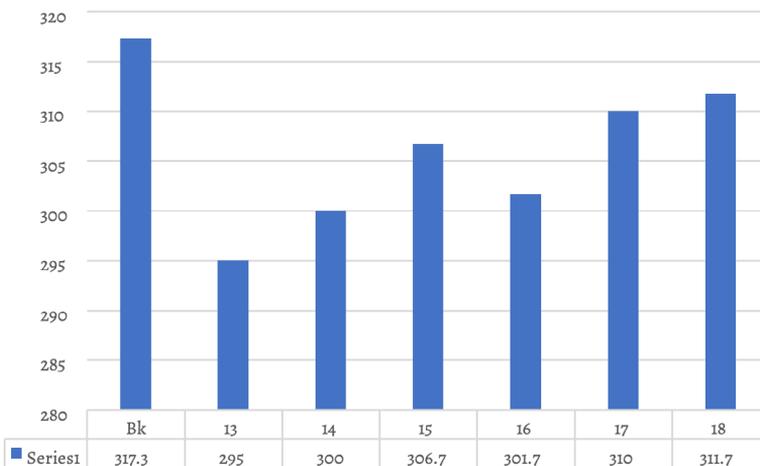
Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Figura 5. Resultados de blanco y TSS final post tratamiento (duplicado)



Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Figura 6. Resultados de blanco y TSS final post tratamiento (triplicado)



Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Anova

Por otra parte, con la data de los resultados obtenidos se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) mediante los programas de Minitab y SPSS, cuyos resultados fueron los siguientes:

Del Diseño Factorial:

Factores:

- a. Velocidad de agitación a1: 190 rpm
- b. Concentración de Aloe vera

Niveles

- a1: 190 rpm
- a2: 140 rpm
- b1: 2500 ppm
- b2: 3000 ppm
- b3: 3500 ppm

Tratamientos (T) = a x b = 2 x 3 = 6

Repeticiones (R): 3

Unidades experimentales (N): T x R =18

Los tratamientos: a1b1, a1b2, a1b3, a2b1, a2b2, a2b3

T1 T2 T3 T4 T5 T6

Análisis de datos de Turbidez:

Tabla 8. Tratamientos para Turbidez

Tratamientos							
Repetición.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
	a1b1	a1b2	a1b3	a2b1	a2b2	a2b3	
1	817.0	821.0	825.0	823.0	837.0	842.0	
2	866.0	869.0	881.0	874.0	884.0	901.0	
3	844.0	849.0	862.0	856.0	869.0	880.0	
Xij	2527.0	2539.0	2568.0	2553.0	2590.0	2623.0	15400.0

Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Tabla 9. Factores para Turbidez

Factor A: Velocidad de Agitación (i)	Factor B: Concentración de Aloe Vera (j)			Xi.
	b1=2500 ppm	b2=3000 ppm	b3=3500 ppm	
a1= 190 rpm	817	821	825	7634
	866	869	881	
	844	849	862	
a2= 140 rpm	823	837	842	7766
	874	884	901	
	856	869	880	
X.j	5080	5129	5191	15400

Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Prueba de Hipótesis: A. Hipótesis ai) Para los tratamientos:

HO: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$

H1: Al menos 1 tratamiento tiene efecto medio diferente

II. Para el factor A:

- HO: $\mu_1 = \mu_2$
- H1: $\mu_1 \neq \mu_2$

II. Para el factor B:

- HO: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$
- H1: Al menos 1 tratamiento tiene efecto medio diferente

B. Nivel de significación: $\alpha = 0.0$

Tabla 10. Análisis de Varianza (ANOVA) para Turbidez

Fuente de Variación (FV)	Grados de Libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrado medio (CM) = SC/GL	Prueba F
Tratamientos	5	2081.778	416.356	0.604
A	1	968.000	968.000	1.405

Fuente de Variación (FV)	Grados de Libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrado medio (CM) = SC/GL	Prueba F
B	2	1031.444	515.722	0.748
AB	2	82.333	41.167	0.060
Error experimental	12	8268.667	689.056 = E	
Total	17	10350.444		

Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Suma de cuadrados para los tratamientos:

$$T_{XX} = \frac{\sum_{j=1}^l X_{.j}^2}{r} - \frac{X_{...}^2}{N} = \frac{2527^2 + 2539^2 + 2568^2 + 2553^2 + 2590^2 + 2623^2}{3} - \frac{15400^2}{18} = 2081.778$$

Suma de cuadrados para el factor A:

$$A_{XX} = \frac{\sum_{i=1}^a X_{i.}^2}{br} - \frac{X_{...}^2}{N} = \frac{7634^2 + 7766^2}{9} - \frac{15400^2}{18} = 968.00$$

Suma de cuadrados para el factor B:

$$B_{XX} = \frac{\sum_{j=1}^a X_{.j...}^2}{ar} - \frac{X_{...}^2}{N} = \frac{1781.8^2 + 1813.3^2 + 1843.3^2}{6} - \frac{5438.4^2}{18} = 315.250$$

Suma de cuadrados para la interacción AB:

$$AB_{XX} = T_{XX} - A_{XX} - B_{XX} = 556.380 - 234.722 - 315.250 = 6.408$$

Suma de cuadrados Total:

$$W_{XX} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r X_{ijk}^2 - \frac{X_{...}^2}{N} = 1645064.68 - \frac{5438.4^2}{18} = 1942.76$$

Error experimental:

$$E_{XX} = W_{XX} - T_{XX} = 1942.76 - 556.380 = 1386.38$$

C. Función de prueba o fórmula

- $F = T/E = 0.604$ Para tratamientos
- $F = A/E = 1.405$ Para factor A
- $F = B/E = 0.748$ Para factor B
- $F = AB/E = 0.060$ Para factor interacción

D. Valor tabular: Tabla F del análisis de Varianza

- $F_{tab} = F(5,12; 0.95) = 3.11$ Para tratamientos
- $F_{tab} = F(1,12; 0.95) = 4.75$ Para factor A
- $F_{tab} = F(2,12; 0.95) = 3.89$ Para factor B
- $F_{tab} = F(2,12; 0.95) = 3.89$ Para interacción

E. Decisión

Rechazar H_0 si $F > F_{tab}$

- $F = T/E = 0.604 < F_{tab} = F(5,12; 0.95) = 3.11$ Se acepta H_0 ($p > 0.05$)
- $F = A/E = 1.405 < F_{tab} = F(1,12; 0.95) = 4.75$ Se acepta H_0 ($p > 0.05$)
- $F = B/E = 0.748 < F_{tab} = F(2,12; 0.95) = 3.89$ Se acepta H_0 ($p > 0.05$)
- $F = AB/E = 0.060 < F_{tab} = F(2,12; 0.95) = 3.89$ Se acepta H_0 ($p > 0.05$)

Tabla 11. Análisis de Varianza (ANOVA) para Turbidez

Repet.	Tratamientos						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
	a1b1	a1b2	a1b3	a2b1	a2b2	a2b3	
1	281.7	286.7	293.3	290.0	293.3	298.3	
2	301.7	308.3	313.3	311.7	315.0	320.0	
3	295.0	300.0	306.7	301.7	310.0	311.7	
Xij	878.4	895.0	913.3	903.4	918.3	930.0	5438.4

Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Tabla 12. Factores para TSS

Factor A: Velocidad de Agitación (i)	Factor B: Concentración de Aloe Vera (j)			Xi.
	b1=2500 ppm	b2=3000 ppm	b3=3500 ppm	
	281.7	286.7	293.3	
a1= 190 rpm	301.7	308.3	313.3	2686.7
	295.0	300.0	306.7	
	290.0	293.3	298.3	
a2= 140 rpm	311.7	315.0	320.0	2751.7
	301.7	310.0	311.7	
X.j	1781.8	1813.3	1843.3	5438.4

Fuente: Alvarado Lujan y Mestanza Abad, 2025

Prueba de Hipótesis:

A. Hipótesis a_i) Para los tratamientos:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$
- H_1 : Al menos 1 tratamiento tiene efecto medio diferente

II. Para el factor A:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

II. Para el factor B:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$
- H_1 : Al menos 1 tratamiento tiene efecto medio diferente

B. Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

Tabla 13. Análisis de Varianza (ANOVA) para TSS

Fuente de Variación (FV)	Grados de Libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrado medio (CM) = SC/GL	Prueba F
Tratamientos	5	556.380	111.276	0.963
A	1	234.722	234.722	2.032
B	2	315.250	157.625	1.364
AB	2	6.408	3.204	0.028
Error experimental	12	1386.380	115.532 = E	
Total	17	1942.760		

Fuente: elaboración propia

Suma de cuadrados para los tratamientos:

$$T_{XX} = \frac{\sum_{j=1}^r X_{ij}^2}{r} - \frac{X_{...}^2}{N} = \frac{878.4^2 + 895.0^2 + 913.3^2 + 903.4^2 + 918.3^2 + 930.0^2}{3} - \frac{5438.4^2}{18} = 556.380$$

Suma de cuadrados para el factor A:

$$A_{XX} = \frac{\sum_{j=1}^a X_{i.}^2}{br} - \frac{X_{...}^2}{N} = \frac{2686.7^2 + 2751.7^2}{9} - \frac{5438.4^2}{18} = 234.722$$

Suma de cuadrados para el factor B:

$$B_{XX} = \frac{\sum_{j=1}^a X_{.j..}^2}{ar} - \frac{X_{...}^2}{N} = \frac{1781.8^2 + 1813.3^2 + 1843.3^2}{6} - \frac{5438.4^2}{18} = 315.250$$

Suma de cuadrados para la interacción AB:

$$AB_{XX} = T_{XX} - A_{XX} - B_{XX} = 556.380 - 234.722 - 315.250 = 6.408$$

Suma de cuadrados Total:

$$W_{xx} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r X_{ijk}^2 - \frac{X^2}{N} = 1645064.68 - \frac{5438.4^2}{18} = 1942.76$$

Error experimental:

$$E_{xx} = W_{xx} - T_{xx} = 1942.76 - 556.380 = 1386.38$$

C. Función de prueba o fórmula

- $F = T/E = 0.963$ Para tratamientos
- $F = A/E = 2.032$ Para factor A
- $F = B/E = 1.364$ Para factor B
- $F = AB/E = 0.028$ Para factor interacción

D. Valor tabular: Tabla F del análisis de Varianza $F_{tab} = F(5,12; 0.95) = 3.11$
Para tratamientos

- $F_{tab} = F(1,12; 0.95) = 4.75$ Para factor A
- $F_{tab} = F(2,12; 0.95) = 3.89$ Para factor B
- $F_{tab} = F(2,12; 0.95) = 3.89$ Para interacción

E. Decisión

Rechazar H_0 si $F > F_{tab}$

- $F = T/E = 0.963 < F_{tab} = F(5,12; 0.95) = 3.11$ Se acepta H_0 ($p > 0.05$)
- $F = A/E = 2.032 < F_{tab} = F(1,12; 0.95) = 4.75$ Se acepta H_0 ($p > 0.05$)
- $F = B/E = 1.364 < F_{tab} = F(2,12; 0.95) = 3.89$ Se acepta H_0 ($p > 0.05$)
- $F = AB/E = 0.028 < F_{tab} = F(2,12; 0.95) = 3.89$ Se acepta H_0 ($p > 0.05$)

En base a los resultados obtenidos por parte de la evaluación del porcentaje de remoción y eficiencia del tratamiento se tiene que, a las condiciones sometidas y los ensayos realizados, el coagulante de Aloe Vera no presenta un efecto significativo a lo esperado en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos totales al trabajar con efluente de remojo de una curtiembre.

A las condiciones de velocidad de agitación y concentraciones de coagulante establecidas se obtuvieron resultados con una eficacia menor al 5% respecto a la eliminación de turbidez y una eficacia menor al 8% respecto a la remoción de sólidos en suspensión. De los tres lotes de pruebas realizadas los resultados de mayor nivel se presentan en el tratamiento 1 (remoción de turbidez 4.67% y 7.34% en TSS), en el tratamiento 7 (remoción de turbidez 4.94% y 6.88% en TSS) y en el tratamiento 13 (remoción de turbidez 5.06% y 7.03% en TSS) cabe resaltar que dichos ensayos se realizaron a una velocidad de agitación de 190 rpm y una concentración de 2500 ppm de Aloe Vera, siendo el tratamiento 13 el que denota mejor respuesta.

No solo conforme con la aplicación de la fórmula para determinar la eficiencia del coagulante natural respecto a la reducción de turbidez y sólidos en suspensión cuyos resultados se aprecian en las tablas anteriores, se ratifica la poca eficacia mediante el análisis de varianza aplicado en los resultados de forma independiente y ordenada, llegando a concluir con la aceptación de la hipótesis nula.

Entre las causas posibles de que no haber obtenido un buen rendimiento, se evalúa que la concentración de aloe vera utilizada no haya sido la óptima para el efluente de curtiembre o la presencia de otros contaminantes como coloides, grasas o aceites y la concentración de sólidos disueltos que imposibilitan la acción coagulante de los polisacáridos.

Capítulo 5

Entre la Esperanza Verde y la Realidad Industrial

El Desafío de lo Natural

Resultados Experimentales y Eficacia Limitada

Los ensayos realizados con efluentes de la etapa de remojo de curtiembre, utilizando Aloe Vera como coagulante natural en procesos de coagulación-floculación, demostraron una eficacia notablemente inferior a lo esperado. A pesar de emplear condiciones controladas de agitación (140-190 rpm) y concentraciones específicas (2500 ppm), el tratamiento no superó el 8% de reducción en los parámetros clave evaluados. Estos resultados sugieren que, aunque el Aloe

Vera contiene compuestos teóricamente efectivos, su aplicación en efluentes industriales complejos presenta limitaciones significativas que requieren mayor investigación.

Análisis de Parámetros y Factores Limitantes

En el caso específico de la turbidez, la reducción máxima alcanzada fue de apenas 5.06% bajo las condiciones más favorables (2500 ppm y 190 rpm). Este bajo rendimiento parece estar asociado a la alta carga orgánica característica de estos efluentes, que interferiría con los mecanismos de acción del coagulante natural. Respecto a los sólidos suspendidos, aunque el pretratamiento eliminó eficazmente las partículas grandes, la persistencia de coloides finos limitó la eficiencia del proceso, obteniéndose una remoción máxima de solo 7.34% en condiciones similares.

Condiciones Óptimas y Perspectivas Futuras

Los mejores resultados, aunque modestos, se obtuvieron con la concentración de 2500 ppm y velocidad de 190 rpm, sugiriendo que estos parámetros podrían representar un punto de partida para investigaciones futuras. Sin embargo, los datos indican la necesidad de explorar concentraciones significativamente mayores o combinaciones con otros coagulantes naturales para alcanzar niveles de tratamiento aceptables. La naturaleza compleja de los efluentes de curtiembre plantea desafíos particulares que requieren soluciones innovadoras y posiblemente tratamientos combinados para superar las limitaciones observadas en este estudio.

Implicaciones Prácticas y Recomendaciones

Los hallazgos tienen importantes implicaciones para el desarrollo de alternativas ecológicas en el tratamiento de aguas residuales industriales. Se recomienda investigar modificaciones en el proceso de extracción y preparación del Aloe Vera, así como evaluar su combinación con otros coagulantes naturales. Además, sería valioso estudiar el efecto de pretratamientos que reduzcan la carga orgánica antes de la aplicación del coagulante. Estos enfoques podrían ayudar a superar las limitaciones identificadas, acercando esta solución sostenible a aplicaciones prácticas en la industria del cuero.

Claves para Optimizar el Uso del Aloe Vera en Tratamiento de Aguas Residuales

Selección y Preparación del Material Vegetal

La elección de la materia prima resulta fundamental para garantizar la efectividad del coagulante natural. Es prioritario seleccionar pencas de Aloe Vera que presenten características óptimas: frescura, madurez fisiológica, ausencia de daños y tamaño considerable. Estas condiciones aseguran una mayor concentración de los compuestos activos responsables de la acción coagulante. El proceso de pulverización posterior debe realizarse con cuidado para preservar la integridad de los polisacáridos, manteniendo sus propiedades funcionales intactas durante todo el tratamiento.

Control de Procesos y Seguridad en Laboratorio

La etapa de secado requiere especial atención, ya que temperaturas superiores a 102°C o tiempos prolongados pueden degradar los componentes activos del Aloe Vera. Es crucial monitorear constantemente estos parámetros para evitar la desnaturalización de enzimas y la ruptura de enlaces moleculares clave. En cuanto al manejo de reactivos, el ácido fosfórico exige protocolos estrictos de seguridad por su naturaleza corrosiva y las reacciones exotérmicas que genera durante la dilución. Se recomienda realizar ajustes de pH mediante adiciones graduales, verificando constantemente los cambios con pH-metro calibrado.

Metodología Experimental y Recomendaciones

La homogeneización previa de las muestras es un paso crítico que no debe subestimarse. Una agitación vigorosa y uniforme del efluente garantiza que las alícuotas sean representativas y comparables entre sí. Antes de iniciar cada prueba de jarras, es imperativo verificar que todas las condiciones experimentales (concentraciones, volúmenes, parámetros físicos) coincidan exactamente con el protocolo establecido. La codificación sistemática de muestras y el estricto control de tiempos en cada fase del proceso son esenciales para obtener resultados confiables y reproducibles.

Perspectivas Futuras de Investigación

Los resultados obtenidos abren nuevas líneas de investigación que merecen ser exploradas. Sería valioso evaluar el comportamiento del Aloe Vera en un rango más amplio de concentraciones, incluyendo dosis significativamente mayores a las probadas en este estudio. También se sugiere investigar posibles sinergias con otros coagulantes naturales o modificaciones en el método de extracción que puedan potenciar su eficacia. Estos avances podrían superar las limitaciones observadas y hacer viable la aplicación industrial de esta alternativa ecológica en plantas de tratamiento de efluentes.

Referencias

- Abebe, L. S., Chen, X., & Sobsey, M. D. (2016). Chitosan Coagulation to Improve Microbial and Turbidity Removal by Ceramic Water Filtration for Household Drinking Water Treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph13030269>
- Alvarado Lujan, J. A., y Mestanza Abad, J. E. (2025). Efecto del Aloe Vera en la coagulación- floculación del efluente de remojo en la curtiembre Orión, Trujillo- 2024 [Universidad Nacional de Trujillo].
- American Water Works Association. (2011). *Operational Control of Coagulation and Filtration Processes: AWWA MANUAL M37*. American Water Works Association.
- Bratby J. (2016). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. IWA Publishing.
- Coronado, F. (2018). *Eficiencia del Agave y el Aloe vera en la remoción de materia orgánica de las aguas del río Lurín en el AA. HH Julio César Tello* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].
- Diestra Ramos, F., y Ramos Paredes, I. (2019). *Efecto de la concentración de Aloe Vera (Sábila) y tiempo de floculación en la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica biodegradable de aguas residuales municipales sector el Cerrillo, Santiago de Chuco* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo].
- Kakoi, B., Kaluli, J. W., Ndiba, P., & Thiong'o, G. (2016). Banana pith as a natural coagulant for polluted river water. *Ecological Engineering*, 95, 699–705. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.001>
- Olivera Huaman, D. (2022). *Aplicación del coagulante natural áloe vera como tratamiento terciario en la PTAR* [Tesis de grado, Universidad Continental]
- Pérez, C., León, F., y Deldadillo, G. (2013). *Tratamiento de aguas. Manual de Laboratorio*. Ediciones UNAM.
- Ruiz Ortega, E., Oré Cierito, E., Vega Guevara, M., Angulo Romero, A., Ruiz Huaman, G., Garcia Curo, G., y Diaz Dumont, J. (2022). Aloe Vera (L.) como floculante para remoción de turbidez de aguas superficiales. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, LXII.

- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1).
- Yin, C. Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 1437–1444. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>



Religación
Press
Ideas desde el Sur Global



Religación
Press

ISBN: 978-9942-561-59-6



9 789942 561596