TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"EFICACIA DEL USO DE SEMILLAS DE GRANADA (*Punica granatum*) COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN EL TRATAMIENTO FÍSICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL LOTE 57 (CUSCO, PERÚ)"

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Valeria Soleil Alvarado Morales (0009-0001-6335-9673)

Asesor:

Luis Alberto Sanchez Luyo (0009-0002-3363-5224)

Lima – Perú

2026

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 14 de enero del 2026

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Carlos Alberto Satalaya Rengifo
Miembro: Mg. Marisol Nuñez Martinez
Miembro: Mg. Catherine Mariela Coronado Leon

Se reúnen para evaluar la tesis, con código de proyecto PRE-11-2024-00501, titulada :

"EFICACIA DEL USO DE SEMILLAS DE GRANADA (Punica granatum) COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN EL TRATAMIENTO FÍSICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL LOTE 57 (CUSCO, PERÚ)"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Valeria Soleil Alvarado Morales**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Ing. Luis Sanchez Luyo

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime ( ) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Valeria Soleil Alvarado Morales			Nota (en letras): 14 (Catorce)
Aprobado (X)	Aprobado - Muy buena ( )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

Mg. Carlos Alberto Satalaya Rengifo
Presidente

Mg. Marisol Nuñez Martinez
Miembro 1

Mg. Catherine Mariela Coronado Leon
Miembro 2

Ing. Luis Sanchez Luyo
Asesor

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN[1]

Lima, 16 de enero del 2026

Señor,
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Yo: Valeria Soleil Alvarado Morales; egresado de la carrera de ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor Luis Alberto Sanchez Luyo, declaramos que este informe final de tesis titulado: EFICACIA DEL USO DE SEMILLAS DE GRANADA (Punica granatum) COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN EL TRATAMIENTO FÍSICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LOTE 57 (CUSCO, PERÚ), sustentado para obtener el título de Ingeniero Ambiental es original.

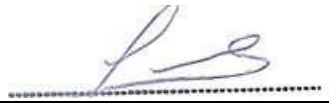
Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista
DNI: 70349375



Firma del asesor de tesis
DNI: 43968260

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Eficacia del uso de semillas de granada (*Punica granatum*) como coagulante natural para la remoción de turbidez en el tratamiento físico de la planta de tratamiento de agua potable del Lote 57 (Cusco, Perú)

Autores. Valeria Soleil Alvarado Morales

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2865624345)

Código de registro. PRE-11-2024-00501

Resultado de la evaluación. 7%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



Eficacia del uso de semillas

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%	7%	4%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	www.revistabionatura.com Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
6	hal.science Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Dedicatoria

A mi madre Luz Morales quien me enseñó a nunca rendirme y ser siempre una mujer fuerte a pesar de cualquier adversidad.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Agradecimientos

A mis padres por su esfuerzo, amor y apoyo al brindarme mi educación a lo largo de mi vida.

A mis hermanas mayores por siempre aconsejarme y apoyarme cada vez que lo necesité.

A mi asesor Luis Sanchez por quien no hubiera podido ser posible el desarrollo de esta tesis,

A mis compañeros de Lote 57, por los años de trabajo y compañerismo en la selva de Cusco, quienes me brindaron el soporte durante la realización de esta tesis.

Finalmente, a mi prometido Alvaro y mis hijos de 4 patas Tupac y Aria por su compañía y amor incondicional durante la realización de esta tesis.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria 3

Agradecimientos 4

ÍNDICE DE FIGURAS 7

ÍNDICE DE TABLAS 8

ÍNDICE DE ANEXOS 9

RESUMEN 10

ABSTRACT 11

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12

II. MARCO TEÓRICO 13

2.1. Antecedentes 14

2.2. Bases teóricas 17

III. OBJETIVOS Y/O HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 26

3.1. Objetivo general 26

3.2. Objetivos específicos 26

3.3. Hipótesis general 27

IV. METODOLOGÍA 27

4.1. Tipo y Nivel de Investigación 27

4.2. Diseño de investigación 28

4.3. Población 28

4.4. Muestra 28

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

4.5. Variables 28

4.6. Operacionalización de variables 28

4.7. Técnicas e instrumentos 29

4.7.1 Materiales y equipos 30

4.8. Procedimientos 32

4.9. Análisis de Datos 43

4.10. Aspectos éticos 44

V. RESULTADOS 45

VI. DISCUSIÓN 59

VII. CONCLUSIONES 64

VIII. RECOMENDACIONES ..... **¡Error! Marcador no definido.**

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65

X. ANEXOS 79

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de coagulación 17

Figura 2 Área de estudio de la investigación 31

Figura 3 Trituración y preparación de solución madre 33

Figura 4 Agitación magnética y filtración de solución madre 34

Figura 5 Esquema de control de calidad de validez de datos 36

Figura 6 Proceso de jarras – Jarra 1 38

Figura 7 Proceso de jarras – Jarra 2 39

Figura 8 Proceso de jarras – Jarra 3 40

Figura 9 Proceso de jarras – Jarra 4 40

Figura 10 Proceso de jarras – Jarra 5 y 6 41

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica 25

Tabla 2 Coordenadas del punto de muestreo 31

Tabla 3 Protocolo de prueba de jarras 37

Tabla 4 Diseño experimental de la evaluación de los tratamientos de coagulación..... 42

Tabla 5 Resultados de los parámetros evaluados en los tratamientos aplicados 45

Tabla 6 Pruebas de normalidad..... 47

Tabla 7 Prueba Kruskal-Wallis..... 47

Tabla 8 Comparaciones múltiples (T3 de Dunnett) para pH 48

Tabla 9 Prueba de normalidad para turbidez 49

Tabla 10 ANOVA para turbidez..... 50

Tabla 11 Prueba de homogeneidad Levene para turbidez 50

Tabla 12 Comparaciones múltiples (T3 de Dunnett) para turbidez..... 51

Tabla 13 Prueba de normalidad para sólidos totales 52

Tabla 14 *ANOVA para sólidos totales*..... 53

Tabla 15 *Prueba de homogeneidad Levene para sólidos*..... 53

Tabla 16 *Comparaciones múltiples (T3 de Dunnett) para sólidos totales* 54

Tabla 17 *Eficiencia de remoción en los tratamientos aplicados*..... 56

Tabla 18 *Comparación de los valores de turbidez por tratamiento frente al límite del D.S. 031-2010-SA* 56

Tabla 19 *Comparación de los valores de pH por tratamiento frente al límite del D.S. 031-2010-SA* 57

Tabla 20 *Comparación de los valores de sólidos totales por tratamiento frente al límite del D.S. 031-2010-SA* 58

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Carta dirigida al Gerente General del Proyecto de Mantenimiento Lote 57 para el uso de sus instalaciones en el proyecto..... 79

Anexo 2. Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales..... 80

Anexo 3. Análisis de pH, sólidos totales y turbidez en el laboratorio acreditado Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. 81

Anexo 4. Acreditación del laboratorio denominado Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. 86

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

RESUMEN

La búsqueda de alternativas sostenibles en el tratamiento de agua ha impulsado el uso de coagulantes naturales, como las semillas de granada, para mejorar la calidad del recurso destinado al consumo humano. El principal objetivo que tuvo esta investigación fue evaluar la efectividad de las semillas de granada como agente coagulante natural en la disminución de la turbidez durante el tratamiento físico del agua destinada al consumo humano. El estudio se desarrolló en la Planta de Tratamiento del Lote 57 (Cusco). Se realizaron pruebas de jarras, con una aplicación de diferentes dosis del extracto de semilla de granada (25, 400, 600 y 800 mg/L) y dosis de sulfato de aluminio (25 mg/L). Se llevaron a cabo mediciones de pH, turbidez y sólidos disueltos totales. Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis estadísticos, mostrándose que la dosis de 25 mg/L de granada alcanzó una remoción de turbidez del 11.39 %, mientras que el sulfato de aluminio logró un 65.84 %. Sin embargo, el coagulante natural no alteró el pH y evitó residuos metálicos, a diferencia del coagulante químico, cuyos niveles superaron el límite permitido por el Decreto Supremo Nº 031-2010-SA, resaltándose su potencial ecológico y la seguridad sanitaria de la semilla de granada como alternativa sostenible, aunque su eficiencia de remoción sea inferior a la del coagulante químico. Se llegó a la conclusión de que la semilla de granada constituye una alternativa viable para el tratamiento de agua, especialmente en entornos donde se prioriza la sostenibilidad. Su uso en dosis bajas permitió preservar la calidad hídrica sin afectar parámetros fisicoquímicos esenciales.

Palabras clave: coagulante natural, turbidez, tratamiento de agua, granada, sulfato de aluminio.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ABSTRACT

The search for sustainable alternatives in water treatment has driven the use of natural coagulants, such as pomegranate seeds, to improve the quality of water intended for human consumption. The main objective of this research was to evaluate the effectiveness of pomegranate seeds as a natural coagulant in reducing turbidity during the physical treatment of water intended for human consumption. The study was conducted at the Lot 57 Treatment Plant (Cusco). Jar tests were conducted, with different doses of pomegranate seed extract (25, 400, 600, and 800 mg/L) and aluminum sulfate (25 mg/L). pH, turbidity, and total dissolved solids measurements were taken. The results were subjected to statistical analysis, showing that the 25 mg/L dose of pomegranate achieved turbidity removal of 11.39%, while the aluminum sulfate achieved 65.84%. However, the natural coagulant did not alter the pH and avoided metallic residues, unlike the chemical coagulant, whose levels exceeded the limit permitted by Supreme Decree No. 031-2010-SA. This highlights the ecological potential and health safety of the pomegranate seed as a sustainable alternative, although its removal efficiency is lower than that of the chemical coagulant. It was concluded that the pomegranate seed constitutes a viable alternative for water treatment, especially in environments where sustainability is a priority. Its use at low doses preserved water quality without affecting essential physicochemical parameters.

Key words: natural coagulant, turbidity, water treatment, pomegranate, aluminum sulfate.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Mundialmente, se estima que cerca de 2 200 millones de personas en el mundo no cuentan con acceso a servicios de agua potable administrados de manera segura, entre ellas, alrededor de 115 millones dependen directamente de fuentes superficiales como ríos, lagos o estanques para su consumo (Naciones Unidas, 2025). En la actualidad, el tratamiento del agua en las plantas suele depender de coagulantes químicos, los cuales no solo generan lodos químicos y alteran el pH del agua, sino que también afecta de forma adversa al ecosistema (Diver, Nhapi, & Ruziwa, 2023). A nivel nacional, el tratamiento del agua potable se realiza mayoritariamente utilizando sulfato de aluminio en la coagulación, mientras que la aplicación de coagulantes naturales en el tratamiento de agua aún no es una práctica generalizada. Este contexto resalta la urgencia de identificar soluciones con menor impacto ambiental y más ecológicas que puedan mejorar la calidad hídrica y reducir los impactos ambientales asociados con los métodos actuales.

En relación con la turbidez, Soros (2019) señala que uno de los propósitos fundamentales en los procesos de potabilización del agua es reducir efectivamente este parámetro, debido a los efectos negativos que puede tener en el consumo humano, tales como la disminución de la eficiencia en la filtración, el aumento en la demanda de oxidantes durante la desinfección química y la reducción de la efectividad de la radiación ultravioleta al bloquear la transmisión de luz. La turbidez interfiere en el proceso de filtración, aumenta la demanda de oxidantes durante la desinfección química y bloquea la transmisión de luz en el proceso de radiación ultravioleta. Por lo tanto, eliminar la turbidez en el agua a potabilizar es fundamental, ya que también ayuda en la eliminación de microorganismos patógenos y la reducción de materia orgánica.

En la planta de tratamiento de agua, gestionada por la empresa INMAC “MANTENIMIENTO FLOW LINE Y DDV – LOTE 57”, que brinda soporte a un

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

campamento con una dotación de 15 trabajadores, se utiliza actualmente sulfato de aluminio como agente coagulante. Este compuesto químico forma parte del proceso físico de sedimentación, cuyo propósito es favorecer la precipitación de los sólidos en suspensión y, con ello, disminuir la turbidez del agua tratada a niveles inferiores a 5. No obstante, los informes derivados de las evaluaciones de calidad hídrica tratada en la planta revelan concentraciones de aluminio superiores a los LMP de la normativa vigente D.S. 031-2010-SA, la cual establece un valor de hasta 0.2 mg/L para agua potable (Ministerio de Salud, 2010). En las evaluaciones realizadas durante los dos primeros meses de 2024, se registraron niveles de aluminio entre 0.296 mg/L y 1.575 mg/, superando así los límites máximos permisibles establecidos para el consumo humano, equivalente a un 688% por encima del valor, superando ampliamente los parámetros establecidos para el consumo humano (Ministerio de Salud, 2010).

Esta situación constituye un potencial riesgo para la calidad hídrica destinada al consumo de la población. Frente a esta problemática, la utilización de coagulantes vegetales se perfila como una opción viable y segura dentro del proceso de coagulación, ya que presentan baja toxicidad y no generan impactos negativos en las personas y ecosistema.

La mejora de la calidad del agua destinada al consumo humano es un desafío en la gestión ambiental, principalmente cuando se busca garantizar su inocuidad para la población. Ante esta situación, resulta fundamental explorar enfoques de coagulación que sean eficientes en la eliminación de contaminantes y, a la vez, sostenibles. Una estrategia prometedora ha sido la utilización de coagulantes naturales, que no solo pueden ofrecer soluciones más ecológicas, sino también ser más seguras y económicas.

La elección de la semilla de granada (*Punica granatum*) como coagulante natural se fundamenta en su composición química, rica en polisacáridos, polifenoles y proteínas con

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

grupos funcionales activos (–OH, –COOH, –NH_2), que le confieren capacidad coagulante mediante mecanismos como neutralización de carga y puenteo entre partículas. Si bien estudios previos han explorado el potencial de la cáscara de granada o su uso en aguas hes industriales, existe un vacío en la literatura respecto a la aplicación directa de sus semillas en la potabilización de agua, particularmente en comparación con coagulantes químicos como el sulfato de aluminio y bajo los estándares normativos peruanos. Esta investigación busca cubrir dicha brecha, proponiendo una alternativa ecológica y localmente viable para el tratamiento de agua destinada al consumo humano.

II. MARCO TEÓRICO

2.1.Antecedentes

Recientemente, Ahmed et al. (2024) evaluaron la capacidad coagulante de diversos residuos de origen natural (moringa, quitosano, nopal, cáscara de granada, paja, etc.) con el fin de ser utilizados como biocoagulantes en el tratamiento de aguas servidas domésticas. El estudio se realizó utilizando muestras de aguas servidas filtradas en la PTAR Orascoila, Egipto, utilizaron la prueba de jarras para analizar la eficacia de estos materiales. Según los resultados, demostraron que todos los biocoagulantes probados fueron eficaces en la reducción de contaminantes. En particular, la cáscara de granada mostró una notable eficiencia al reducir el carbono orgánico total en un 95,69%. El quitosano y el altramuz también destacaron, logrando reducciones significativas en nitrógeno Kjeldahl y nitrógeno total, con porcentajes de eliminación del 93,82% y 92,23%, respectivamente. Este estudio evidencia el alto potencial de los subproductos de la granada como biocoagulantes; sin embargo, se centra en aguas servidas domésticas y en la cáscara del fruto, no en las semillas, y no realiza una comparación directa con coagulantes químicos bajo estándares de agua potable, lo que limita su extrapolación directa al objetivo de esta investigación.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Numerosos estudios alentadores sobre la aplicación de coagulantes naturales se han visto impulsados por el creciente interés en técnicas con bajo impacto ecológico aplicadas al tratamiento de aguas residuales. Khankishiyeva et al. (2024) crearon un bioadsorbente a de quitosano y cáscara de granada como forma ambientalmente aceptable de eliminar metales pesados de aguas superficiales contaminadas con cobre, zinc y níquel. Con reducciones de hasta el 90% para el cobre, el 75% para el zinc y el 70% para el níquel, los resultados demostraron la extraordinaria eficacia en la eliminación de estos metales. Esto sugiere que este floculante natural tiene potencial para ser una alternativa eficaz y menos complicada a los métodos convencionales. La investigación destaca la versatilidad de la granada para remover metales pesados, pero su enfoque es en bioadsorción y no en coagulación para la remoción de turbidez. Además, el uso de quitosano en combinación con la cáscara dificulta discernir la contribución específica de la granada, señalando la necesidad de estudiar el componente semilla de forma aislada.

De forma análoga, el trabajo de Shabanizadeh y Taghavijeloudar (2023) evaluaron la eficacia del polvo de semillas de granada en efluentes del sector papelero como floculante. Según este estudio, a concentraciones óptimas, las semillas de granada eliminaron el 87% de la turbidez y redujeron la DQO en un 60%. Las semillas de granada y el alumbre también mostraron un excelente rendimiento sinérgico, reduciendo la DQO en un 81% y la turbidez en un 98% en un periodo de tratamiento notablemente más corto. Este es uno de los pocos estudios que evalúa específicamente el polvo de semillas de granada, mostrando resultados prometedores. No obstante, su aplicación en efluentes papeleros, con características muy diferentes al agua para consumo humano, y el enfoque en DQO sobre parámetros físico-químicos normativos como sólidos totales, revela un vacío que la presente tesis busca abordar.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En un método diferente, Gandiwa et al. (2020) contrastaron los coagulantes de Moringa oleífera, Cactus opuntia y sulfato de aluminio en la depuración de agua. El estudio descubrió que las proporciones particulares de estos coagulantes naturales producían una turbidez de 2,7 NTU, satisfaciendo los requisitos de potabilidad de la OMS. La relevancia de este estudio radica en demostrar que los coagulantes naturales pueden cumplir con estándares internacionales de potabilidad. Sin embargo, la combinación de Moringa y Cactus opaca el desempeño individual de cada material, y no se explora el potencial de la granada, lo que justifica la evaluación específica de Punica granatum en este trabajo.

Sin embargo, Schmitt et al. (2021) examinaron la eficacia de dos taninos naturales para disminuir el nivel de turbidez del agua a comparación con el sulfato de aluminio. Sus resultados demostraron la eficiencia y la capacidad de los taninos naturales para tratar el agua, logrando una reducción de turbidez el color a una concentración de 15 mg/L. Este antecedente es valioso porque compara directamente taninos naturales con sulfato de aluminio, estableciendo un precedente metodológico. No obstante, al utilizar taninos comerciales y no un extracto de un residuo agroindustrial específico como la semilla de granada, subestima el potencial de soluciones hiperlocales y de economía circular que esta investigación propone.

A nivel nacional, Manrique y Mamani (2023) evaluaron la efectividad de biofloculantes derivados de varias fuentes naturales, para elevar el límite máximo permisibles del agua potable en Samegua, Moquegua. Este estudio demostró la asombrosa capacidad de los biofloculantes para reducir la turbidez y las concentraciones de metales pesados; Solanum tuberosum demostró la mayor eficacia, eliminando la turbidez en un 97,85%. La investigación nacional confirma la viabilidad de los coagulantes naturales en el Perú. Sin embargo, se enfoca en otros materiales (*Solanum tuberosum*) y no explora la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

granada, a pesar de ser un cultivo presente en el país. Esto resalta la oportunidad y novedad de investigar la semilla de granada como una alternativa autóctona y sostenible para el tratamiento de agua.

En síntesis, los estudios revisados demuestran el potencial de diversos materiales naturales, incluidos subproductos de la granada, como coagulantes o floculantes en el tratamiento de aguas residuales o industriales. No obstante, la mayoría se centra en la cáscara o en efluentes con alta carga orgánica, dejando un vacío en la evaluación de las semillas de granada en la potabilización de agua para consumo humano. Además, son escasos los trabajos que comparan directamente su eficacia frente a coagulantes químicos bajo condiciones normativas locales, como el D.S. 031-2010-SA. Esta investigación busca llenar ese vacío, evaluando sistemáticamente la eficacia del extracto de semilla de granada en la remoción de turbidez en un contexto de planta de tratamiento de agua potable.

2.2.Bases teóricas

a. Importancia y ciclo del agua

El agua es un recurso esencial para los ecosistemas y el desarrollo humano, sin embargo, el acceso a fuentes seguras constituye un desafío global. Se estima que 2,200 millones de personas carecen de acceso a agua potable gestionada de manera segura Organización Mundial de la Salud & UNICEF, (2023). Este recurso se distribuye mediante el ciclo hidrológico; que incluye evaporación, condensación y precipitación (Acosta, et al., 2025), originando diferentes fuentes como aguas superficiales (ríos, lagos), subterráneas (acuíferos) y pluviales, cada una con características y vulnerabilidades particulares ante la contaminación (Araque, 2022).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

b. Impurezas y contaminantes en el agua

Las impurezas en el agua pueden clasificarse según su tamaño y estado. Algunas se encuentran suspendidas, como arenas, algas o residuos vegetales; otras son coloidales, como ciertas sustancias orgánicas que alteran el color del agua (Araque, Capítulo 1 – El agua en la naturaleza, 2022). Además, el agua puede contener metales pesados y productos químicos como pesticidas o hidrocarburos, muchos de ellos tóxicos o dañinos a largo plazo (Quirós, Robles, Caballero, & Calvo, 2022). La acumulación de estos contaminantes puede complicar la potabilización.

c. Diferencias entre coagulantes y biofloculantes naturales

Aunque en la práctica los términos pueden solaparse, es crucial establecer una distinción conceptual entre coagulante natural y biofloculante. Un coagulante natural (semilla de granada, *Moringa oleifera*) actúa en la primera etapa del proceso, desestabilizando las partículas coloidales suspendidas principalmente mediante la neutralización de su carga eléctrica superficial. En contraste, un biofloculante (almidones, quitosano, algunos polímeros microbianos) actúa típicamente después, sobre las partículas ya desestabilizadas, promoviendo su aglomeración en flóculos más grandes y sedimentables a través del mecanismo de puente entre partículas (Bhupendra, et al., 2022). La semilla de granada, por su composición química dual que incluye tanto proteínas catiónicas como polisacáridos poliméricos, posee la capacidad de funcionar principalmente como coagulante, aunque algunos de sus componentes también pueden contribuir a una acción floculante secundaria.

d. Tratamiento del agua

El tratamiento del agua tiene como propósito eliminar contaminantes y agentes patógenos que sean un riesgo para la salud. Su aplicación es importante para tener

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

accesibilidad a agua potable y prevenir la propagación de enfermedades. Además, un tratamiento adecuado mejora la apariencia, el olor y sabor del agua, facilitando su aceptación por parte de la población (Araque, Capítulo 1 – El agua en la naturaleza, 2022).

En la depuración y tratamiento del agua, uno de los objetivos principales es la reducción de la turbidez, ya que esta representa una señal clara de la presencia de partículas que pueden tener microorganismos peligrosos. La turbidez, que da al agua un aspecto turbio u opaco, no solo afecta negativamente su apariencia y aceptabilidad por parte del consumidor, sino que también compromete su seguridad sanitaria (Foraquita, Jarro, Cosi, & Paniagua, 2024).

e. La coagulación en las etapas del tratamiento

Las PTAP procesan agua cruda con propiedades fisicoquímicas distintas y la transforman en agua óptima para el consumo de la población en general, cumpliendo con los ECA establecidos. Además, estas instalaciones permiten la accesibilidad de agua de calidad, importante para prevenir enfermedades de origen hídrico (Araque, 2022).

La coagulación es fundamental en la depuración del agua cuya función principal es neutralizar las cargas eléctricas que mantienen dispersas las partículas coloidales como arcillas y materia orgánica, responsables de la turbidez (Foraquita, Jarro, Cosi, & Paniagua, 2024). Al añadir coagulantes, estas partículas pierden su repulsión electrostática y comienzan a agruparse, facilitando su posterior eliminación por sedimentación o filtración (Araque, 2022).

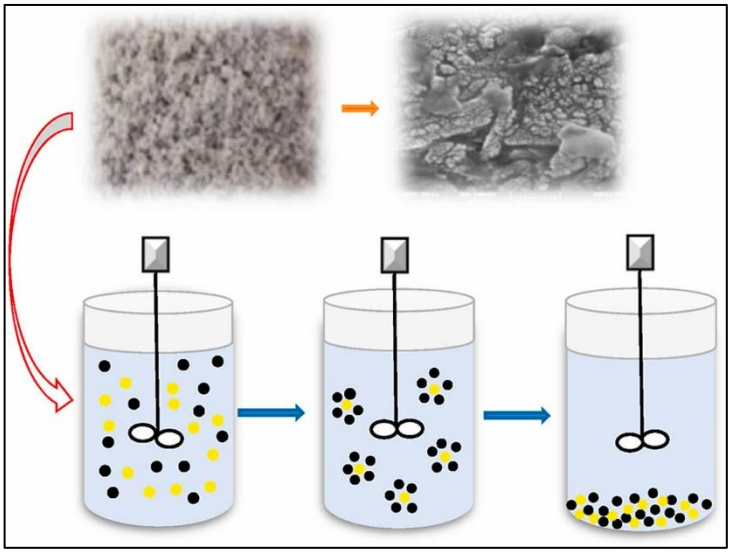
Esta es una de las etapas más relevantes dentro del tratamiento de aguas potables, principalmente cuando se busca eliminar partículas coloidales y una amplia variedad de contaminantes en el agua cruda. Este proceso ha resultado ser eficaz no solo en la disminución de turbidez y sólidos suspendidos (Nayeri & Alireza, 2022).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

La eficacia de este proceso depende de los coagulantes empleados. Estos productos se dividen principalmente en cuatro grupos: sustancias químicas, agentes no químicos, compuestos sintéticos y coagulantes de origen natural. Generalmente, los más utilizados son los coagulantes inorgánicos, especialmente las sales metálicas como los compuestos de hierro ($FeCl_2$, $FeSO_4$ y $FeCl_3$) y de aluminio (Al2(SO4)3) y el policloruro de aluminio (PAC). Estos compuestos actúan desestabilizando las partículas con carga eléctrica negativa, lo que permite que se aglomeren en flóculos más grandes y fáciles de remover mediante sedimentación o filtración (Nayeri & Alireza, 2022).

Figura 1

Proceso de coagulación



Nota. Nayeri & Alireza (2022)

f. Los coagulantes químicos

La coagulación química en la tratamiento de aguas consiste en añadir sustancias químicas para eliminar impurezas coloidales. Estos coagulantes actúan neutralizando las cargas eléctricas de las partículas en suspensión, facilitando su unión y sedimentación posterior. Entre los insumos coagulantes de origen químico que más se utilizan son el sulfato de aluminio y potasio (Bhupendra, et al., 2022).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

El sulfato de aluminio y otros coagulantes químicos, son valorados por su disponibilidad, eficiencia a bajas dosis, alta solubilidad y su capacidad para operar en un rango amplio de pH. Además, permiten reducir turbidez, color, sólidos disueltos totales y microorganismos patógenos. Estas características los convierten en herramientas para el tratamiento del agua (Mustereț, et al., 2021).

Sin embargo, su uso no está exento de desventajas. El principal riesgo radica en que los residuos de estos compuestos, especialmente del aluminio, pueden permanecer en el agua tratada. Se ha relacionado la exposición prolongada a trazas de aluminio con trastornos neurológicos graves, como la enfermedad de Alzheimer, encefalopatía, demencia, síndrome de Down y Parkinson (Bhupendra, et al., 2022).

g. Los coagulantes naturales

Estos coagulantes, son una fuente sustentable y efectiva dentro del tratamiento de aguas, su origen puede ser vegetal, animal o incluso microbiano. Entre los más utilizados son el almidón, la gelatina, galactomananos, quitosano, alginato y otros polisacáridos obtenidos de microorganismos (Prabhakaran, Jothieswari, Swarnalatha, & Sekaran, 2022). Estas sustancias se caracterizan por ser biodegradables, no tóxicas, renovables y, además, accesibles en términos económicos. Esta se basa en procesos como la adsorción, la formación de puentes moleculares entre partículas en suspensión y la neutralización de cargas superficiales, lo que ayuda en la aglomeración y posterior eliminación de las mismas. Gracias a estas propiedades, los coagulantes naturales son especialmente eficaces para disminuir la turbidez del agua (Bhupendra, et al., 2022).

h. Las semillas de granada como coagulante

La granada (Punica granatum L.) es un arbusto frutal perteneciente a la familia Punicaceae, cultivado extensamente a nivel mundial, tanto por sus frutos como por sus

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

propiedades funcionales. Durante el procesamiento industrial, especialmente en la producción de jugos, se generan residuos significativos como las semillas, que tradicionalmente han sido utilizadas en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica por su riqueza en aceites esenciales y compuestos bioactivos (Shabanizadeh & Taghavijeloudar, 2023).

Aunque el potencial de la semilla de granada como coagulante natural ha sido poco explorado, su contenido químico incluyendo polisacáridos, polifenoles, proteínas y ácidos grasos poliinsaturados sugiere una capacidad para actuar sobre partículas coloidales en suspensión, promoviendo su aglomeración y sedimentación. Estos compuestos poseen grupos funcionales activos como –OH, –COOH y $–NH_2$, que ayudan en los mecanismos como la neutralización de cargas y el puenteo entre partículas, similares a los observados en coagulantes sintéticos (Shabanizadeh & Taghavijeloudar, 2023).

i. Etapas de la extracción de coagulante natural

Según, Bhupendra et al. (2022), la extracción del coagulante natural consta de las siguientes etapas:

Extracción primaria

En esta etapa, las semillas seleccionadas se recolectan, se secan al aire o en horno a baja temperatura, y posteriormente se muelen hasta tener un polvo fino.

Extracción secundaria

Para mejorar el coagulante y disminuir la materia orgánica no deseada, se recurre a métodos para la extracción por solventes. Esta técnica busca aislar los compuestos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

bioactivos responsables de la coagulación, como proteínas, polisacáridos, taninos o flavonoides.

Entre los métodos más empleados destacan:

- Extracción con soluciones salinas, que favorecen la liberación de proteínas de carga positiva capaces de neutralizar partículas coloidales.
- Extracción acuosa con agua destilada o potable, la cual suele ser más utilizada por su bajo costo y accesibilidad, especialmente en proyectos comunitarios o rurales.
- Extracción con alcohol o solventes orgánicos, como etanol o metanol, que permiten aislar compuestos fenólicos, aunque se utilizan principalmente en investigaciones debido a su mayor complejidad y costo.

Extracción terciaria

La tercera etapa corresponde a un proceso de purificación más avanzado, poco utilizado debido a su alto costo. En esta fase, los componentes activos extraídos se someten a técnicas de refinamiento, como ultrafiltración, precipitación selectiva o cromatografía, para eliminar completamente las fracciones orgánicas no deseadas.

j. Mecanismos de acción de los coagulantes

Bhupendra et al. (2022), estipula que los coagulantes naturales actúan mediante cuatro mecanismos fundamentales: floculación por barrido, compresión de la doble capa eléctrica, neutralización de carga, y puente entre partículas. Cada uno de estos mecanismos presenta características particulares y determina la naturaleza, tamaño y resistencia de los flóculos formados durante el proceso.

En el caso específico de la semilla de granada, los mecanismos que se consideran más relevantes son la neutralización de carga, debido a la presencia de grupos funcionales

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

cargados positivamente en sus proteínas y polisacáridos, y el puente entre partículas, facilitado por sus cadenas poliméricas naturales. La floculación por barrido y la compresión de la doble capa podrían presentarse en menor medida, dependiendo de las condiciones del agua y la dosis aplicada (Bhupendra, et al., 2022; Shabanizadeh & Taghavijeloudar, 2023).

Floculación por barrido

Este mecanismo implica la formación de una malla física en el agua a partir de la precipitación de hidróxidos metálicos amorfos que atrapan a las partículas coloidales. Funciona como una especie de red que barre y captura a los contaminantes presentes. Aunque este método genera una gran cantidad de flóculos, su velocidad de formación es relativamente baja (Bhupendra, et al., 2022).

Neutralización de carga

La mayor parte de partículas coloidales en el agua tienen carga negativa, lo que genera fuerzas repulsivas entre ellas y evita su unión. La neutralización de carga consiste en la adsorción de los iones positivos que se encuentran presentes en los coagulantes sobre la superficie de los coloides, anulando esta carga superficial y permitiendo la unión de las partículas por atracción de fuerzas de Van der Waals (Chong, et al., 2021).

Compresión de la doble capa eléctrica

En cada partícula coloidal existe una doble capa eléctrica formada por iones que estabilizan su suspensión. Este mecanismo se basa en la introducción de iones de carga opuesta que comprimen esa doble capa, reduciendo la repulsión electrostática entre las partículas y facilitando su aglomeración. Para que el proceso sea eficiente depende en gran medida de la valencia y carga de los iones utilizados (Ghernaout, Elboughdiri, & Ghareba, 2020).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Puente entre partículas

Este mecanismo se basa en la presencia de largas cadenas poliméricas que actúan como puentes entre partículas coloidales. Una parte de la cadena del coagulante se adhiere a una partícula, mientras que otra parte se extiende y se une a una segunda. Los flóculos generados son irregulares y con espacios vacíos, lo que les da una menor complejidad estructural, pero al mismo tiempo una gran resistencia a la ruptura (Nimesha, et al., 2022).

k. Normativa de calidad de agua potable

El agua que va ser consumida por los humanos debe cumplir con los límites máximos permisibles físico-químicos y microbiológicos que garanticen su inocuidad y aceptabilidad. En el Perú, el marco legal que regula esta normativa es el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, el cual menciona los valores máximos permisibles para diversos parámetros como la turbidez, pH, sólidos disueltos, color, olor, sabor, metales pesados y contaminantes microbiológicos.

Tabla 1

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL^{-1}	1 000
8. Cloruros	mg Cl^{-} L^{-1}	250
9. Sulfatos	mg $SO_4^{=}$ L^{-1}	250
10. Dureza total	mg $CaCO_3$ L^{-1}	500
11. Amoniaco	mg N L^{-1}	1,5
12. Hierro	mg Fe L^{-1}	0,3
13. Manganeso	mg Mn L^{-1}	0,4
14. Aluminio	mg Al L-1	0,2
15. Cobre	mg Cu L^{-1}	2,0
16. Zinc	mg Zn L^{-1}	3,0
17. Sodio	mg Na L^{-1}	200

III. OBJETIVOS Y/O HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.Objetivo general

- Evaluar la eficacia extracto de semillas de granada (*Punica granatum)* como coagulante natural para la remoción de turbidez en el tratamiento físico del agua destinada al consumo humano en la Planta de Tratamiento del Lote 57, Cusco, 2024.

3.2.Objetivos específicos

- Determinar las condiciones óptimas de tratamiento (dosis, tiempo de mezcla y velocidad de agitación) del extracto de semillas de granada *(P. granatum)* para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento físico.
- Calcular la eficiencia del extracto de semillas de granada (*P. granatum)* en comparación con el sulfato de aluminio utilizado actualmente en el proceso del

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

tratamiento físico de la Planta de tratamiento de agua destinada al consumo humano.

- Evaluar el cumplimiento de los parámetros de turbidez, pH y sólidos totales en el agua tratada con el extracto de semillas de granada y con sulfato de aluminio, en comparación con los límites establecidos en el D.S. 031-2010-SA.

3.3.Hipótesis general

El extracto de semilla de granada (*Punica granatum*) presenta una eficacia significativa como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua destinada al consumo humano, alcanzando una reducción de al menos 10% en condiciones óptimas de dosis y agitación, y constituyéndose en una alternativa viable al sulfato de aluminio al no alterar el pH del agua ni generar residuos metálicos, en concordancia con lo establecido en el D.S. 031-2010-SA.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Tipo y Nivel de Investigación

La presente investigación fue experimental. De acuerdo con Arias (2021), este enfoque se orienta a la solución de problemas en contextos reales. De esta manera, el estudio desarrollado se clasifica como experimental, ya que propone una alternativa innovadora en la depuración del agua destinada a consumo humano mediante el uso de semillas de granada como base de coagulante natural, con el objetivo de reducir la turbidez en la depuración física en la PTAP.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque explicativo, ya que, conforme a lo señalado por Ríos (2017), este nivel se orienta a examinar y detallar las características y propiedades del fenómeno estudiado. El estudio se centró en evaluar la efectividad de las

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

semillas como coagulante en la disminución de la turbidez, utilizando para ello muestras obtenidas de la PTAP en el campamento del Lote 57.

El estudio fue cuantitativo, dado que se buscó estimar magnitudes y probar hipótesis, conforme a lo señalado por Hernández-Sampieri (2018). Se evaluaron las variables, tales como la remoción de turbidez, el pH, SST, sedimentación, la dosis del coagulante y la relación entre estos.

4.2. Diseño de investigación

El diseño fue experimental, se manipuló la concentración de las semillas de granada como variable independiente. Para ello, se empleó un diseño experimental factorial con tres réplicas, con el propósito de identificar los niveles óptimos de los parámetros durante el proceso de reducción de la turbidez.

4.3. Población

La población del estudio fue agua contenida en el tanque de la Planta de Tratamiento ubicada en el Lote 57.

4.4. Muestra

Fue compuesta por un volumen de entre 20 y 30 L de agua sin tratar, extraída del tanque de sedimentación de la Planta de Tratamiento del Lote 57. Esta muestra fue empleada tanto para el análisis inicial de sus características como para el desarrollo del experimento.

4.5. Variables

Variable independiente: Concentración de semillas de granada *(P. granatum*)

Variable dependiente: Eficacia de remoción de turbidez

4.6. Operacionalización de variables

Las mediciones y métodos empleados para analizar la eficacia de las semillas de granada (*P. granatum*) como coagulante natural en la depuración física del agua fueron

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

detallados, la cual presenta la operacionalización de variables. Incluyendo las variables independientes y dependientes, así como los instrumentos y procedimientos de análisis que se utilizaron.

4.7. Técnicas e instrumentos

La técnica aplicada fue la observación, mediante la cual se registró los fenómenos que se presentaron en el objeto de estudio. Esta técnica permitió recolectar la información necesaria de manera directa de la población, razón por la cual fue ejecutada de forma precisa, clara, selectiva y con la atención e inteligencia requeridas (Arias , 2020).

Asimismo, se utilizó observación como instrumento, ya que se requirió anotar los datos obtenidos durante la aplicación de los tratamientos mencionados. Las anotaciones realizadas fueron producto de la observación directa y, en algunos casos, incluyeron interpretaciones del investigador. La guía de observación permitió mediar la información proveniente de la población a través de criterios, dimensiones o indicadores, facilitando la medición de situaciones que aún no habían sido exploradas (Sánchez, Fernández, & Diaz, 2021).

De acuerdo con ello, la validez, definida según Núñez et al. (2021) como el nivel en la cual tanto la teoría, así como la evidencia científica, permiten la interpretación de los resultados, asimismo señala que es el nivel por el cual se mide lo necesario para la investigación planteada, Por ello, la finalidad se centró en asegurar la adecuada interpretación de resultados.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

4.7.1 Materiales y equipos

Material biológico

Semillas de granada (*P. granatum)*

Insumos y reactivos químicos

Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)

Materiales de laboratorio

Tamizador de acero inoxidable con malla de 70 µm

6 beakers de vidrio con capacidad de 1 L

1 mortero

Cintas de pH marca MERCK

Pipetas mecánicas de un solo canal 10 – 100 µL

Probeta graduada de polipropileno de 250 mL

Equipos

Turbidímetro Hanna modelo HI88713 – 01

Multiparámetro Hanna modelo HI98129

Equipo de Jarras ECOSHEL modelo JT – 4

Balanza analítica de alta precisión KUSITEST de 210 g/ 0.001 g modelo JA203P

Programas

Microsoft Office Excel 2016 (16.0)

Microsoft Office Word 2021

IBM SPSS Statistics 26

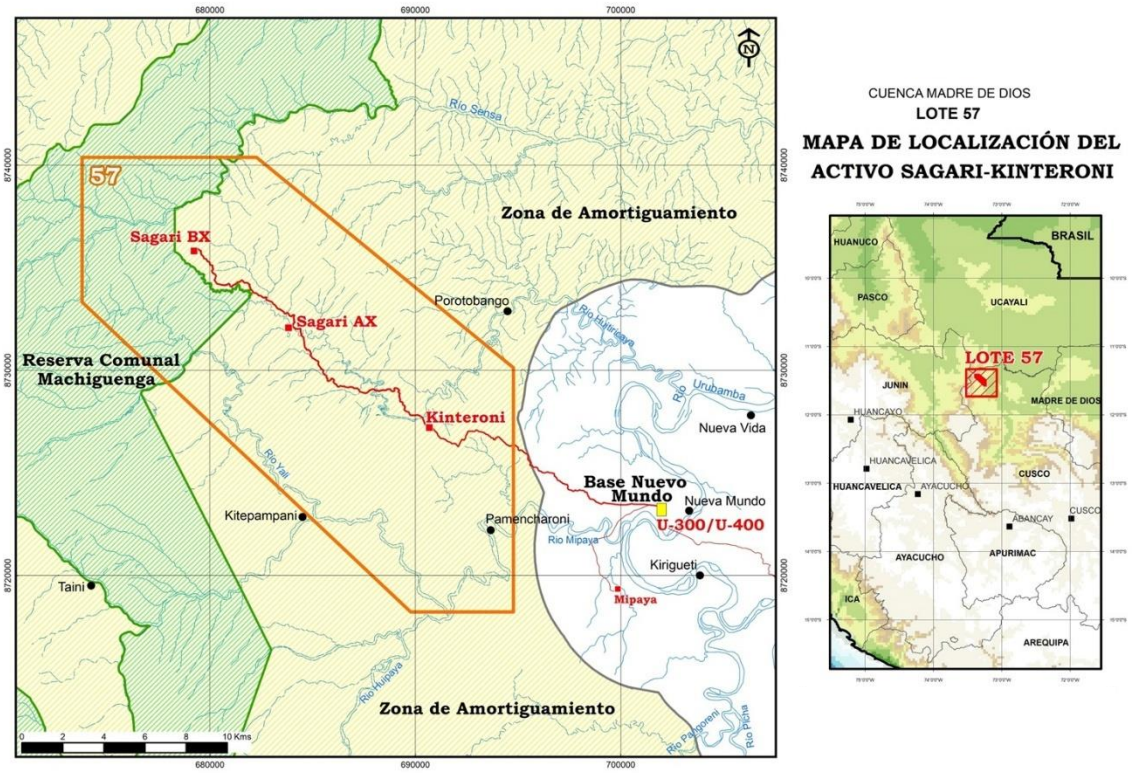
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

4.7.2. Área de estudio

El área de estudio corresponde a la Planta de Tratamiento de Agua del Lote 57, ubicada en la región Cusco, Perú, operada por Repsol Exploration. Esta instalación tiene como finalidad garantizar la potabilización del recurso hídrico para el consumo humano de la población vinculada a las operaciones del lote. La zona se caracteriza por un clima de variabilidad estacional, lo cual influye en la calidad del agua cruda disponible para tratamiento, particularmente en parámetros como la turbidez, que suelen incrementarse en época de lluvias debido a la escorrentía superficial (Autoridad Nacional del Agua, 2022). La Figura muestra la localización geográfica del área de estudio, mientras que en la Tabla 2 se presentan las coordenadas UTM correspondientes al punto de muestreo considerado para la investigación.

Figura 2

Área de estudio de la investigación



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Nota: Elaboración propia.

4.8. Procedimientos

Determinación de la dosis óptima de granada (*P. granatum*) para la remoción de turbidez en el proceso del tratamiento físico de la Planta de tratamiento de agua potable.

- **Caracterización del agua cruda**

Se recolectaron muestras representativas de agua cruda del tanque de sedimentación de la Planta de Tratamiento del Lote 57, durante una temporada sin lluvias para evitar alteraciones por escorrentía. Las muestras fueron transferidas a frascos de vidrio de 1 L y enviadas al laboratorio para su caracterización inicial, considerando su conservación a temperatura ambiente y, en los casos necesarios, bajo refrigeración a 4 °C conforme a las buenas prácticas de preservación (Shabanizadeh & Taghavijeloudar, Potential of pomegranate seed powder as a novel natural flocculant for pulp and paper wastewater treatment: Characterization, comparison and combination with alum, 2023). Se evaluaron parámetros como turbidez, pH, SST y tiempo de sedimentación

- **Preparación del coagulante natural de granada *(P. granatum)***

a) Procesamiento de las semillas

Se recolectaron frutos de granada del mercado Municipal Gran Mariscal Domingo Castilla. Las semillas fueron lavadas con agua del grifo y agua destilada, trituradas con un molinillo de laboratorio y tamizadas con malla 70 (200 µm). Luego, se secaron a 40 °C durante 24 h para reducir su contenido de humedad (Shabanizadeh & Taghavijeloudar, Potential of pomegranate seed powder as a novel natural

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

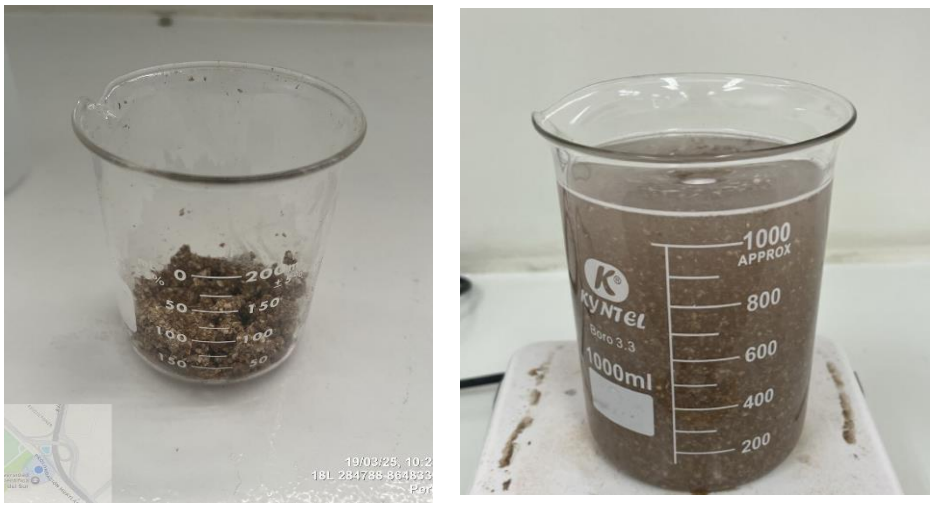
flocculant for pulp and paper wastewater treatment: Characterization, comparison and combination with alum, 2023).

- **Extracción del coagulante a base de granada *(P. granatum)***

Siguiendo la metodología de Shabanizadeh & Taghavijeloudar (2023) y de Gómez (2010), se preparó la solución madre añadiendo 25 g de polvo de semilla a 1 L de solución de NaCl, como se muestra en la Figura 3. En la Figura 4 la mezcla se agitó durante 60 rpm con agitador magnético durante 10 min, favoreciendo la liberación de compuestos activos como proteínas y polisacáridos. Posteriormente, se filtró con papel Whatman® Nº 47 de 0.45 µm y el extracto fue almacenado en un vaso precipitado cubierto.

Figura 3

Trituración y preparación de solución madre



(a) (b)

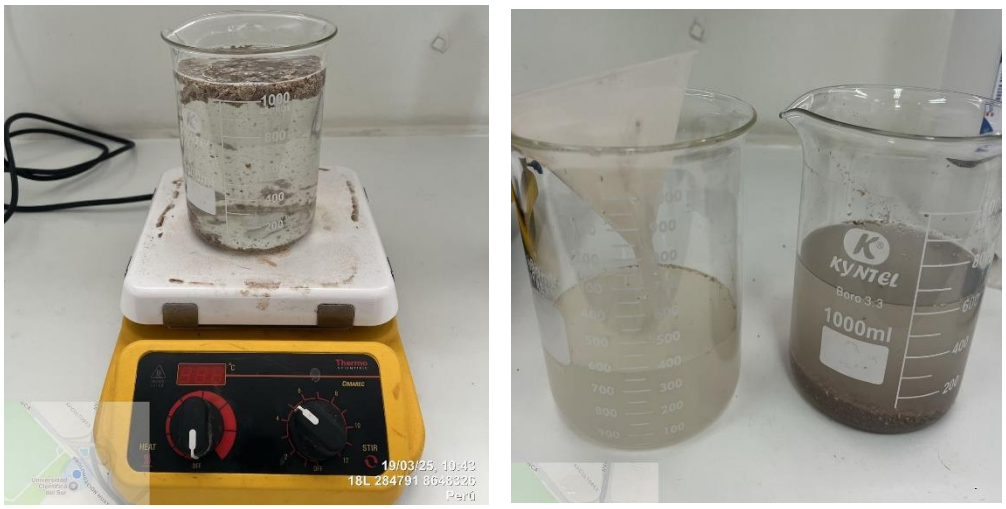
Nota: (a) Resultado de la trituración de la semilla de granada. (b) Preparación de solución madre, 25 g de polvo de semilla de granada a 1 L de solución de NaCl.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 4

Agitación magnética y filtración de solución madre



(a) (b)

Nota: (a) Se observa el proceso de agitación magnética a 60 rpm por 10 min de la mezcla madre. (b) Filtración con papel Whatman® Nº 47 de 0.45 µm de la mezcla madre previamente agitada.

- **Caracterización del coagulante a base de granada *(P. granatum)***

Se realizaron pruebas de jarras a temperatura ambiente (25 °C) utilizando vasos precipitados de 250 mL con 200 ml de agua cruda cada uno. Se evaluaron cinco dosis del coagulante a base de semilla de granada (25, 400, 600 y 800 mg/L) y una dosis de sulfato de aluminio (25 mg/L), empleada actualmente en la Planta de Tratamiento del Lote 57. La solución de aluminio fue preparada al 5 % p/v con agua destilada.

El diseño experimental incluyó seis tratamientos (incluido el control sin coagulante) con tres réplicas cada uno. El protocolo consistió en una mezcla rápida (200 rpm, 5 min), mezcla lenta (50 rpm, 15 min) y sedimentación (60 min).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Posteriormente, se extrajeron muestras a 2 cm de la superficie para medir la turbidez y el pH final, con el fin de comparar la eficiencia de los tratamientos.

- Diseño experimental

El experimento siguió un diseño factorial completamente aleatorizado, considerando dos factores:

a) Tipo de coagulante: control (sin tratamiento), granada y sulfato de aluminio.
b) Dosis: 0, 25, 400, 600 y 800 mg/L (granada); 25 mg/L (aluminio).

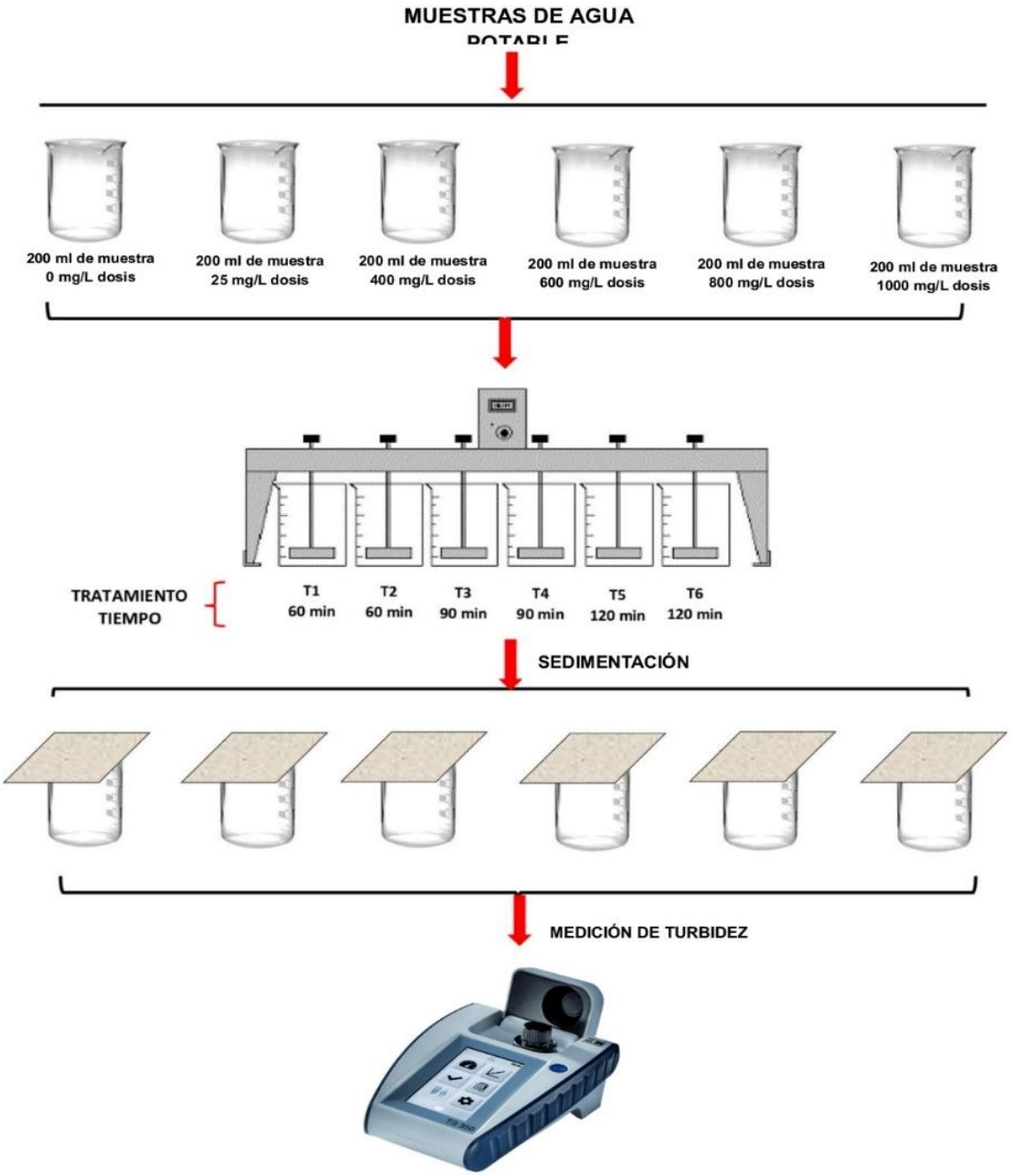
El diseño incluyó seis tratamientos y tres réplicas por tratamiento como se muestra en la Figura 5.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 5

Esquema de control de calidad de validez de datos



Nota: Elaboración propia.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 3

Protocolo de prueba de jarras

Etapa del proceso	Velocidad de mezcla (rpm)	Duración (min)
Mezcla rápida	200	5
Floculación	50	15
Sedimentación	-	60

Nota. Adaptado de Shabanizadeh y Taghavijeloudar (2023).

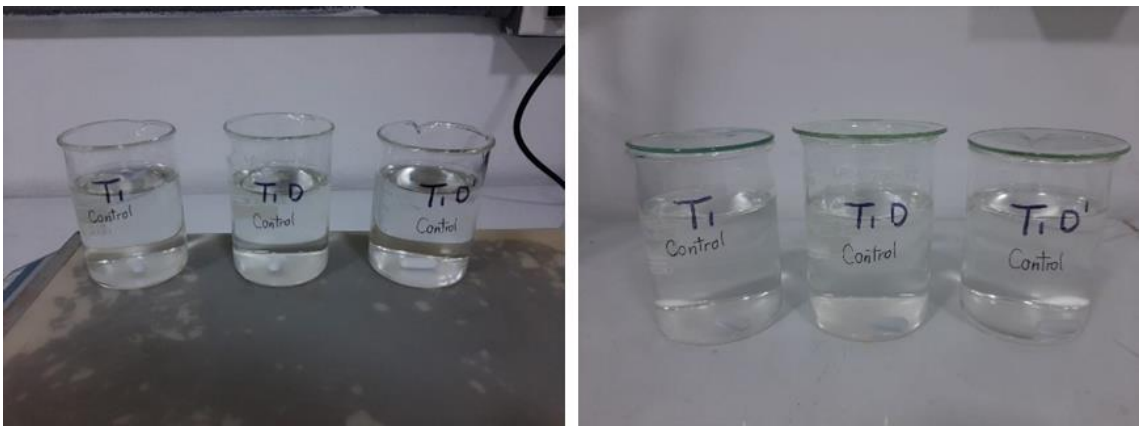
La Tabla 3 presenta el protocolo de prueba de jarras utilizado para evaluar la capacidad coagulante de las semillas de granada en el proceso de potabilización. El procedimiento comprende tres etapas: la mezcla rápida a 200 rpm durante 5 minutos, que permite una dispersión homogénea del coagulante; la floculación a 50 rpm por 15 minutos, donde las partículas suspendidas empiezan a aglomerarse; y finalmente la sedimentación durante 60 minutos, tiempo suficiente para que los flóculos formados decanten. Este protocolo, adaptado de Shabanizadeh y Taghavijeloudar (2023), constituye una metodología estandarizada que asegura condiciones reproducibles para la comparación de tratamientos, garantizando que los resultados obtenidos puedan atribuirse al tipo y dosis del coagulante empleado.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Se observa en la Figura 6 el proceso de Prueba de Jarras correspondiente al Tratamiento 1. En la primera fase, se realiza la etapa de agitación, durante la cual los reactivos se dispersan homogéneamente en las muestras para favorecer la coagulación y el inicio de la floculación. Posteriormente, las muestras pasan a la fase de reposo, permitiendo que los flóculos formados sedimenten de manera gradual, lo que facilita la evaluación de la eficiencia del tratamiento.

Figura 6

Proceso de jarras – Jarra 1



(a) (b)

Nota: (a) Se observa el proceso de Prueba de Jarras – Tratamiento 1, agitación. (b) Reposo.

Se observa en la Figura 7 el proceso de Prueba de Jarras correspondiente al Tratamiento 2. En la fase inicial, se desarrolla la etapa de agitación, donde los reactivos se mezclan uniformemente para promover la formación de flóculos. (b) Luego, las muestras pasan al periodo de reposo, permitiendo la sedimentación natural de los flóculos y facilitando la evaluación del comportamiento del tratamiento aplicado.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 7

Proceso de jarras – Jarra 2



(a) (b)

Nota: (a) Se observa el proceso de Prueba de Jarras – Tratamiento 2, agitación. (b) Reposo.

Se observa el proceso de Prueba de Jarras correspondiente al Tratamiento 3. En la primera etapa, se lleva a cabo la agitación, con el fin de asegurar una adecuada dispersión de los reactivos y favorecer la formación inicial de flóculos. (b) Posteriormente, las muestras entran en la fase de reposo, donde los flóculos sedimentan de manera natural, permitiendo evaluar la eficacia del tratamiento aplicado.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 8

Proceso de jarras – Jarra 3



(a) (b)

Nota: (a) Se observa el proceso de Prueba de Jarras – Tratamiento 3, agitación. (b) Reposo.

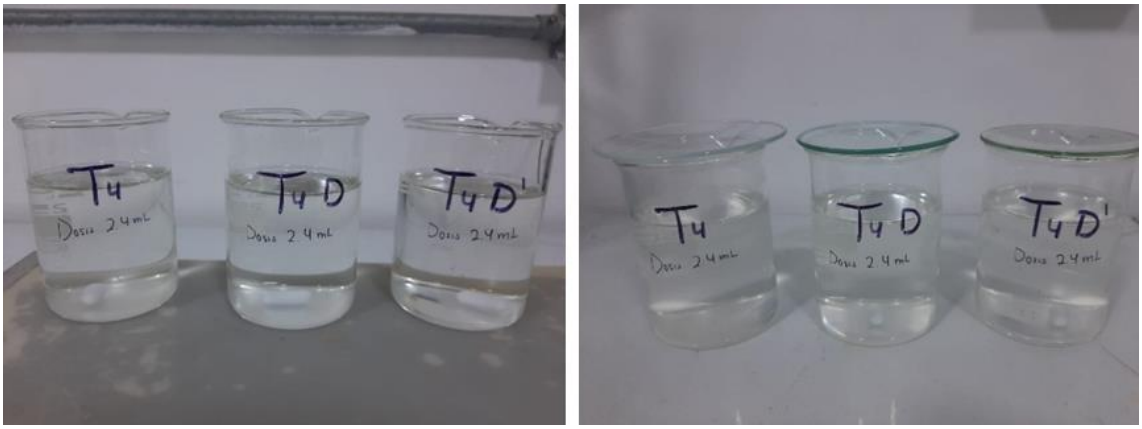
Se observa que la Figura 9 el proceso de Prueba de Jarras correspondiente al Tratamiento 4. En la etapa inicial, se ejecuta la fase de agitación, mediante la cual los reactivos se distribuyen homogéneamente para facilitar la coagulación y el inicio de la floculación. Luego, las muestras pasan a la fase de reposo, permitiendo la sedimentación progresiva de los flóculos y la posterior evaluación del desempeño del tratamiento.

Figura 9

Proceso de jarras – Jarra 4

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR



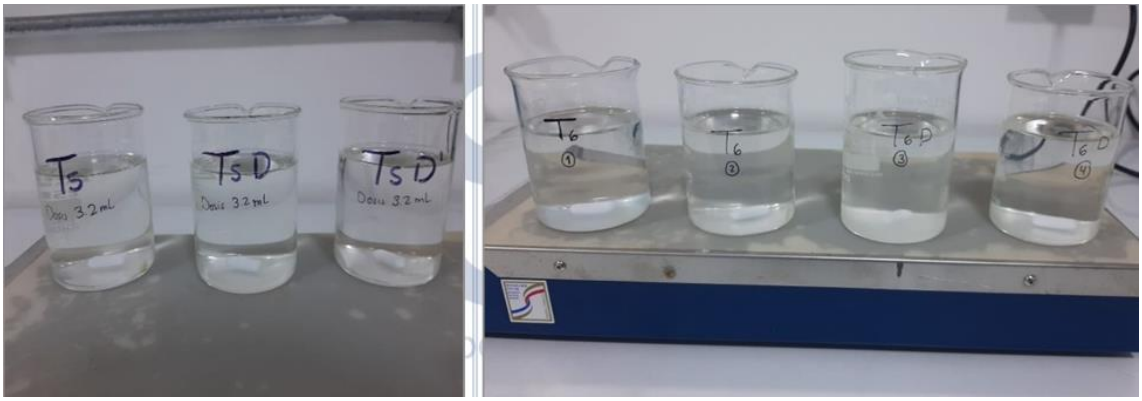
(a) (b)

Nota: (a) Se observa el proceso de Prueba de Jarras – Tratamiento 4, agitación. (b) Reposo.

Se observa en la Figura 10 el proceso de Prueba de Jarras correspondiente al Tratamiento 5, donde se desarrolla la fase de agitación destinada a mezclar uniformemente los reactivos y favorecer la formación inicial de flóculos. Asimismo, se aprecia el proceso de Prueba de Jarras del Tratamiento 6, que continúa con la misma secuencia metodológica para evaluar el comportamiento y la eficiencia del tratamiento aplicado.

Figura 10

Proceso de jarras – Jarra 5 y 6



(a) (b)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Nota: (a) Se observa el proceso de Prueba de Jarras – Tratamiento 5, agitación. (b) Prueba de Jarras – Tratamiento 6.

Tabla 4

Diseño experimental de la evaluación de los tratamientos de coagulación

Tratamientos	Dosis (mg/L)	Velocidad Inicial (rpm)	Tiempo mezcla inicial (min)	Velocidad mezcla lenta (rpm)	Tiempo mezcla lenta (min)	Tiempo sedimentación (min)	Réplicas
T1: Control	0.0	200	5	50	15	60	3
T2: Granada	25	200	5	50	15	60	3
T3: Granada	400	200	5	50	15	60	3
T4: Granada	600	200	5	50	15	60	3
T5: Granada	800	200	5	50	15	60	3
T6: Aluminio	25	200	5	50	15	60	3

Nota. Adaptado de Shabanizadeh y Taghavijeloudar (2023).

En la Tabla 4 se muestra el diseño experimental planteado para la evaluación de los tratamientos de coagulación, comparando el efecto de diferentes dosis de semillas de granada frente a un control y a un tratamiento convencional con aluminio. Se establecieron seis tratamientos con tres réplicas cada uno, manteniendo constantes los parámetros de mezcla y sedimentación del protocolo de jarras. El control (T1) permite medir el comportamiento natural del agua sin coagulante, mientras que los tratamientos con granada abarcan un rango de dosis desde 25 mg/L hasta 800 mg/L, lo que posibilita identificar la concentración óptima para la remoción de turbidez. El tratamiento con aluminio (T6) se incorpora como referencia frente a un coagulante químico ampliamente utilizado, permitiendo contrastar la eficacia del coagulante natural. Este diseño experimental asegura tanto la validez estadística como la pertinencia comparativa del estudio.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Evaluación de la eficacia de semillas de granada *(P. granatum)* en comparación con el sulfato de aluminio para remover turbidez

- **Comparación de la remoción de turbidez con sulfato de aluminio utilizado y granada *(P. granatum)***

La eficiencia de remoción de turbidez se calculó con la Ecuación 1:

$$Remoción\ de\ turbidez\ (\%) = \frac{TUR_{inicial} - TUR_{final}}{TUR_{inicial}} \times 100 \qquad (1)$$

Donde TUR inicial y TUR final corresponden a los valores antes y después del tratamiento.

Comparación de los parámetros de turbidez y pH obtenidos con los límites máximos permisibles aplicables a la legislación existente.

Los valores de turbidez y pH obtenidos fueron comparados con los límites establecidos por el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA – Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, para determinar la viabilidad del uso del coagulante natural frente al químico.

4.9. Análisis de Datos

Se evaluaron los datos mediante pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). Según los resultados, se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) o la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Para comparaciones múltiples, se empleó la prueba T3 de Dunnett, adecuada para condiciones de varianza desigual. Los análisis se realizaron mediante el programa SPSS Statistics 26, y se empleó un nivel de significancia del 5 % ($p < 0.05$).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

4.10. Aspectos éticos

Se realizó la correspondiente solicitud al Gerente General del Proyecto (ver Anexo 1) para acceder de forma adecuada a la obtención de la muestra. Además, se garantizó el adecuado traslado y manipulación de las muestras de agua, evitando su contaminación y asegurando resultados reales, conforme a lo dispuesto en la R.M. 2254-2007-DIGESA-SA, la cual establece lineamientos para la manipulación de aguas residuales provenientes de uso no doméstico (ver Anexo 2).

Asimismo, para la confiabilidad de los resultados, se utilizaron instrumentos correctamente calibrados y alineados a límites máximos permisibles internacionales, de modo que los datos generados pudieran ser considerados válidos para futuras investigaciones.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

V. RESULTADOS

5.1. Determinación de la dosis óptima de granada (*P. granatum*) para la remoción de turbidez en el proceso del tratamiento físico de la Planta de tratamiento de agua de potable.

La caracterización inicial que se le realizó a la muestra de agua fue de 66 mg/L de SST, lo cual sirvió como referencia para comparar y evaluar los efectos y variaciones en los tratamientos aplicados.

Los resultados respecto a la remoción de turbidez mediante diferentes dosis de coagulante de semilla de granada como coagulante no fueron completamente satisfactorios, ya que la eficiencia varió según la cantidad aplicada, e incluso en algunos casos se observó un aumento de los parámetros, resultando contraproducente su aplicación en el agua.

Tabla 5

Resultados de los parámetros evaluados en los tratamientos aplicados

Tratamiento	Dosis (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	Sólidos Totales (mg/L)
1	0	7.13	2.02	65.3
2	25	7.13	1.79	90.3
3	400	7.44	4.86	509.0
4	600	7.28	5.04	730.7
5	800	6.88	6.46	963.3
6	25	4.10	0.69	785.3

En el Tratamiento 1 que fue el tratamiento control con 0 mg/L de coagulante natural, los valores promedio fueron de turbidez 2.02 NTU y sólidos totales 65.3 mg/L,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

valores similares a la caracterización inicial, confirmando que sin tratamiento no se producen cambios relevantes en el tratamiento. En el Tratamiento 2, que contenía 25 mg/L de coagulante a base de granada, se obtuvo el mejor valor en cuanto a la remoción de turbidez, alcanzando un valor promedio de 1.79 NTU, esto comparado con los demás tratamientos que utilizaban el coagulante natural a base de granada. Sin embargo, a pesar de esta mejora en la turbidez, los sólidos totales se incrementaron a un promedio de 90.3 mg/L, indicando que, aunque se logró una reducción en la turbidez, el tratamiento también provocó un aumento en la carga de sólidos disueltos en el agua. En los tratamientos posteriores con mayor contenido de la sustancia (T3, T4 y T5), los resultados mostraron un incremento progresivo tanto en la turbidez como en los sólidos totales, alcanzándose los valores máximos en el tratamiento 5. Este tratamiento que era el que presentaba la mayor cantidad de coagulante natural, tuvo una turbidez promedio de 6.46 NTU y sólidos totales de 963.3 mg/L, lo cual es un claro indicativo de que el exceso de coagulante natural haya generado una saturación y deterioro en la calidad del agua.

Para evaluar la eficacia de las semillas de granada se utilizaron seis tratamientos (T1 a T6) bajo distintos parámetros. El análisis se desarrolló a partir de pruebas de normalidad, pruebas de hipótesis (ANOVA o Kruskal-Wallis), homogeneidad de varianzas (prueba de Levene), y comparaciones múltiples (*post hoc* T3 de Dunnett).

Para este propósito, se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk. Se observa que el tratamiento T6 no cumple con el supuesto de normalidad, al presentar un valor de significancia de 0.000 en la prueba de Shapiro-Wilk, mientras que los tratamientos T1 a T5 sí muestran distribución normal ($p > 0.05$).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 6

Pruebas de normalidad

		Shapiro-Wilk		
	Tratamiento	Estadístico	gl	Sig.
pH	T1	,855	3	,253
	T2	,964	3	,637
	T3	,842	3	,220
	T4	1,000	3	1,000
	T5	1,000	3	1,000
	T6	,750	3	,000

Al no cumplirse el supuesto de normalidad en todos los tratamientos, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis. Esta prueba permite definir si existen diferencias significativas entre grupos independientes no paramétricos. La Tabla 7 muestra un valor de significancia de 0.007, indicando que existen diferencias entre los tratamientos en cuanto al pH.

Tabla 7

Prueba Kruskal-Wallis

Estadísticos de prueba	pH
H de Kruskal-Wallis	15,847
Gl	5
Sig. asin.	,007

Con el fin de identificar específicamente qué tratamientos difieren entre sí, se aplicó la prueba *post hoc* T3 de Dunnett, adecuada para muestras con varianzas no

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

homogéneas. La Tabla 8 muestra que el tratamiento T6 difiere de forma significativa respecto a todos los demás tratamientos ($p < 0.001$), con diferencias medias entre 2.78 y 3.34 unidades de pH. Las comparaciones entre los tratamientos T1 a T5 no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 8

Comparaciones múltiples (T3 de Dunnett) para pH

T3 Dunnett

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-,00333	,06791	1,000	-,5455	,5388
	T3	-,31000	,07024	,151	-,8095	,1895
	T4	-,15000	,06782	,550	-,6940	,3940
	T5	,25000	,06583	,254	-,3498	,8498
	T6	3,03000	,07681	,000	2,5825	3,4775
T2	T1	,00333	,06791	1,000	-,5388	,5455
	T3	-,30667	,03073	,007	-,4764	-,1370
	T4	-,14667	,02472	,031	-,2744	-,0189
	T5	,25333	,01856	,012	,1135	,3932
	T6	3,03333	,04372	,000	2,7397	3,3270
T3	T1	,31000	,07024	,151	-,1895	,8095
	T2	,30667	,03073	,007	,1370	,4764
	T4	,16000	,03055	,060	-,0098	,3298
	T5	,56000	,02582	,006	,3462	,7738
	T6	3,34000	,04726	,000	3,0682	3,6118
T4	T1	,15000	,06782	,550	-,3940	,6940

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

	T2	,14667	,02472	,031	,0189	,2744
	T3	-,16000	,03055	,060	-,3298	,0098
	T5	,40000	,01826	,004	,2633	,5367
	T6	3,18000	,04359	,000	2,8849	3,4751
T5	T1	-,25000	,06583	,254	-,8498	,3498
	T2	-,25333	,01856	,012	-,3932	-,1135
	T3	-,56000	,02582	,006	-,7738	-,3462
	T4	-,40000	,01826	,004	-,5367	-,2633
	T6	2,78000	,04041	,001	2,4225	3,1375
T6	T1	-3,03000	,07681	,000	-3,4775	-2,5825
	T2	-3,03333	,04372	,000	-3,3270	-2,7397
	T3	-3,34000	,04726	,000	-3,6118	-3,0682
	T4	-3,18000	,04359	,000	-3,4751	-2,8849
	T5	-2,78000	,04041	,001	-3,1375	-2,4225

El tratamiento T6 genera una modificación significativa del pH respecto a todos los demás tratamientos (T1–T5).

Asimismo, las pruebas de normalidad para la variable turbidez mostraron que todos los tratamientos tienen distribución normal (Tabla 9), lo cual habilita el uso de ANOVA.

Tabla 9

Prueba de normalidad para turbidez

		Shapiro-Wilk		
	Tratamiento	Estadístico	gl	Sig.
Turbidez (NTU)	T1	,936	3	,510
	T2	,949	3	,567

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

	T3	1,000	3	,986
	T4	,977	3	,708
	T5	,929	3	,486
	T6	,964	3	,637

El ANOVA mostró diferencias significativas (Tabla 10), confirmó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (F = 33.551; p = 0.000). Sin embargo, la prueba de Levene reveló una falta de homogeneidad de varianzas (p = 0.035), lo cual requiere el uso de una prueba *post hoc* robusta.

Tabla 10

ANOVA para turbidez

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	78,036	5	15,607	33,551	,000
Dentro de grupos	5,582	12	,465		
Total	83,618	17			

Tabla 11

Prueba de homogeneidad Levene para turbidez

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Turbidez (NTU)	Se basa en la media	3,488	5	12	,035
	Se basa en la mediana	1,388	5	12	,296
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,388	5	4,903	,366
	Se basa en la media recortada	3,317	5	12	,041

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Dado que no se cumple la homogeneidad, se aplicó T3 de Dunnett. A continuación, se muestran los resultados más importantes (Tabla 12).

Tabla 12

Comparaciones múltiples (T3 de Dunnett) para turbidez

					Intervalo de confianza al 95%	
(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Límite inferior	Límite superior
T1	T2	,23333	,10285	,528	-,5626	1,0292
	T3	-2,84333	,45535	,091	-6,6409	,9543
	T4	-3,02000	,53488	,116	-7,6087	1,5687
	T5	-4,44333	,67202	,089	-10,3728	1,4861
	T6	1,32667	,11624	,006	,6570	1,9963
T2	T1	-,23333	,10285	,528	-1,0292	,5626
	T3	-3,07667	,44556	,087	-7,1679	1,0146
	T4	-3,25333	,52657	,107	-8,1030	1,5963
	T5	-4,67667	,66542	,085	-10,8225	1,4692
	T6	1,09333	,06848	,004	,6501	1,5366
T3	T1	2,84333	,45535	,091	-,9543	6,6409
	T2	3,07667	,44556	,087	-1,0146	7,1679
	T4	-,17667	,68851	1,000	-3,7902	3,4369
	T5	-1,60000	,79972	,596	-6,0916	2,8916
	T6	4,17000	,44884	,046	,1864	8,1536
T4	T1	3,02000	,53488	,116	-1,5687	7,6087
	T2	3,25333	,52657	,107	-1,5963	8,1030
	T3	,17667	,68851	1,000	-3,4369	3,7902
	T5	-1,42333	,84753	,738	-5,9368	3,0901

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

	T6	4,34667	,52935	,060	-,4099	9,1032
T5	T1	4,44333	,67202	,089	-1,4861	10,3728
	T2	4,67667	,66542	,085	-1,4692	10,8225
	T3	1,60000	,79972	,596	-2,8916	6,0916
	T4	1,42333	,84753	,738	-3,0901	5,9368
	T6	5,77000	,66762	,055	-,3006	11,8406
T6	T1	-1,32667	,11624	,006	-1,9963	-,6570
	T2	-1,09333	,06848	,004	-1,5366	-,6501
	T3	-4,17000	,44884	,046	-8,1536	-,1864
	T4	-4,34667	,52935	,060	-9,1032	,4099
	T5	-5,77000	,66762	,055	-11,8406	,3006

T6 es significativamente más efectivo en la reducción de turbidez que T1, T2 y T3.

Para el análisis de STD (mg/L); en la evaluación de normalidad, todos los tratamientos cumplieron con el supuesto (Tabla 13).

Tabla 13

Prueba de normalidad para sólidos totales

		Shapiro-Wilk		
	Tratamiento	Estadístico	gl	Sig.
Sólidos Totales (mg/L)	T1	,964	3	,637
	T2	,832	3	,194
	T3	,862	3	,274
	T4	,996	3	,878
	T5	,984	3	,756
	T6	,947	3	,554

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

El ANOVA evidenció diferencias significativas (Tabla 14).

Tabla 14

ANOVA para sólidos totales

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2108060,667	5	421612,133	743,438	,000
Dentro de grupos	6805,333	12	567,111		
Total	2114866,000	17			

La prueba de Levene indicó que las varianzas no son homogéneas (p = 0.001), por lo cual se empleó T3 de Dunnett.

Tabla 15

Prueba de homogeneidad Levene para sólidos

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Sólidos Totales (mg/L)	Se basa en la media	9,400	5	12	,001
	Se basa en la mediana	1,225	5	12	,356
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,225	5	2,214	,495
	Se basa en la media recortada	8,126	5	12	,001

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 16

Comparaciones múltiples (T3 de Dunnett) para sólidos totales

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-25,000	2,981	,041	-47,87	-2,13
	T3	-443,667	32,344	,023	-743,28	-144,05
	T4	-665,333	5,281	,000	-711,25	-619,41
	T5	-898,000	5,312	,000	-944,23	-851,77
	T6	-720,000	5,121	,000	-764,35	-675,65
T2	T1	25,000	2,981	,041	2,13	47,87
	T3	-418,667	32,457	,025	-714,38	-122,95
	T4	-640,333	5,935	,000	-676,58	-604,09
	T5	-873,000	5,963	,000	-909,51	-836,49
	T6	-695,000	5,793	,000	-729,88	-660,12
T3	T1	443,667	32,344	,023	144,05	743,28
	T2	418,667	32,457	,025	122,95	714,38
	T4	-221,667	32,748	,084	-508,12	64,78
	T5	-454,333	32,753	,019	-740,63	-168,04
	T6	-276,333	32,723	,054	-563,55	10,89
T4	T1	665,333	5,281	,000	619,41	711,25
	T2	640,333	5,935	,000	604,09	676,58
	T3	221,667	32,748	,084	-64,78	508,12
	T5	-232,667	7,386	,000	-270,83	-194,51
	T6	-54,667	7,250	,013	-92,14	-17,19
T5	T1	898,000	5,312	,000	851,77	944,23
	T2	873,000	5,963	,000	836,49	909,51

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

	T3	454,333	32,753	,019	168,04	740,63
	T4	232,667	7,386	,000	194,51	270,83
	T6	178,000	7,272	,000	140,40	215,60
T6	T1	720,000	5,121	,000	675,65	764,35
	T2	695,000	5,793	,000	660,12	729,88
	T3	276,333	32,723	,054	-10,89	563,55
	T4	54,667	7,250	,013	17,19	92,14
	T5	-178,000	7,272	,000	-215,60	-140,40

Existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. T5 y T6 presentan los valores más altos de sólidos totales, lo que indica una posible liberación de sólidos adicionales por la semilla.

5.2. Cálculo de la eficiencia del extracto de semillas de granada (*P. granatum*) en comparación con el sulfato de aluminio utilizado actualmente en el proceso del tratamiento físico de la Planta de tratamiento de agua destinada al consumo humano.

De los tratamientos con coagulante natural, el mejor resultado se obtuvo en la Tratamiento 2, donde con 25 mg/L de coagulante a base de semilla de granada la turbidez bajó de 2.02 a 1.79 NTU, teniendo un porcentaje de remoción del 11.39 %. Por su parte, el Tratamiento 6 que utilizó 25 mg/L de sulfato de aluminio, redujo la turbidez de 2.02 a 0.69 NTU, teniendo una eficiencia del 65.84 %. Reafirmando que el Sulfato de aluminio es alrededor de 6 veces más efectivo en remover la turbidez del agua que el coagulante natural a base de semilla de granada (Tabla 17).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 17

Eficiencia de remoción en los tratamientos aplicados

Tratamiento	Tipo de coagulante	Turbidez promedio (NTU)	Eficiencia de remoción de turbidez (%)
T1	Sin coagulante (control)	2.02	0%
T2	Semilla de granada (25mg/L)	1.79	11.39%
T3	Semilla de granada (400 mg/L)	4.86	-140.6%
T4	Semilla de granada (600 mg/L)	5.04	-149.5%
T5	Semilla de granada (800 mg/L)	6.46	-219.80%
T6	Sulfato de aluminio (25mgL/)	0.69	65.84%

5.3. Evaluación del cumplimiento de los parámetros de turbidez, pH y sólidos totales en el agua tratada con el extracto de semillas de granada y con sulfato de aluminio, en comparación con los límites establecidos en el D.S. 031-2010-SA.

El T2 correspondiente a la dosis más baja de coagulante de semilla de granada, tuvo una turbidez promedio de 1.79 NTU, teniendo el mejor resultado entre los tratamientos naturales y cumpliendo los estándares de la normativa. No obstante, el T4 y T5 que utilizaron la mayor concentración de coagulante natural, superaron los límites establecidos por la normativa, alcanzando una turbidez promedio de 6.46 NTU. Por su parte, el T6, obtuvo una turbidez aún menor que el T2, con un promedio de 0.69 NTU, lo que confirma su mayor eficacia como coagulante convencional (Tabla 18).

Tabla 18

Comparación de los valores de turbidez por tratamiento frente al límite del D.S. 031-2010-SA

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Estándar D.S. 031-2010-SA (pH)	Tratamiento	pH Promedio	Cumple el parámetro
6.5 - 8.5	T1	7.13	Sí
	T2	7.13	Sí
	T3	7.44	Sí
	T4	7.28	Sí
	T5	6.88	Sí
	T6	4.10	No

En cuanto al parámetro de pH, todos los tratamientos que utilizaron coagulante natural tuvieron valores dentro del rango establecido por el D.S. 031-2010-SA, el cual estipula un pH entre 6.5 y 8.5. Por el contrario, el T6, que empleó sulfato de aluminio como coagulante convencional, mostró un pH promedio de 4.10, valor que no cumple con los estándares normativos (Tabla 19).

Tabla 19

Comparación de los valores de pH por tratamiento frente al límite del D.S. 031-2010-SA

Estándar D.S. 031-2010-SA (Turbidez)	Tratamiento	Turbidez Promedio (NTU)	Cumple el parámetro
5 NTU	T1	2.02	Sí
	T2	1.79	Sí
	T3	4.86	Sí

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

	T4	5.04	No
	T5	6.46	No
	T6	0.69	Sí

Respecto a los sólidos totales disueltos, según la normativa establece un límite máximo de 500 mg/L. A partir de esto, solo el T1 y T2 cumplieron con dicho estándar. Siendo el T2 el que tuvo mejor desempeño entre los tratamientos con coagulante natural. Sin embargo, a medida que se incrementó la dosis del coagulante en los tratamientos T3, T4 y T5, los sólidos totales aumentaron superando el límite establecido y alcanzando un valor máximo de 963.3 mg/L en el T5. Por su parte, el T6 con sulfato de aluminio también sobrepasó el límite, teniendo un promedio de 785.3 mg/L (Tabla 20).

Tabla 20

Comparación de los valores de sólidos totales por tratamiento frente al límite del D.S. 031-2010-SA

Estándar D.S. 031-2010-SA (Sólidos Totales)	Tratamiento	Sólidos Totales Promedio (mg/L)	Cumple el parámetro
500 mg/L	T1	65.3	Sí
	T2	90.3	Sí
	T3	509.0	No
	T4	730.7	No
	T5	963.3	No
	T6	785.3	No

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

VI. DISCUSIÓN

Los resultados confirman parcialmente la hipótesis planteada, evidenciando que la semilla de granada alcanzó una reducción superior al 10 % de turbidez, aunque con un rendimiento moderado frente al sulfato de aluminio. La semilla de granada demostró un rendimiento moderado como coagulante natural, con una eficacia del 11.39 % en la remoción de turbidez a dosis óptimas (25 mg/L), frente al 65.84 % obtenido con sulfato de aluminio. A pesar de su menor eficiencia, su principal ventaja fue la ausencia de residuos metálicos, lo cual es relevante considerando que el sulfato de aluminio generó concentraciones de aluminio residual por encima del límite normativo (Diver et al., 2023). Esto coincide con Schmitt et al. (2021), quienes sostienen que los coagulantes naturales requieren optimización, pero presentan beneficios sanitarios y ecológicos. Por tanto, la granada podría ser una alternativa viable para contextos rurales o sostenibles, en línea con el ODS 6 (Tunggolou & Payus, 2017). El uso de semillas de granada (*Punica granatum L.*) en zonas con poco acceso se plantea mediante la elaboración de coagulantes naturales a partir de semillas secas molidas, fácilmente transportables y conservables sin refrigeración. Estas pueden ser recolectadas de la producción regional, principalmente en Ica, Arequipa y Moquegua, donde se concentra la mayor proporción del cultivo nacional (Saldaña, 2019), y distribuidas a comunidades rurales para su preparación local mediante mezclas acuosas o salinas, sin requerir equipamiento especializado. Según Gutiérrez et al. (2025), la molienda y extracción artesanal permite obtener proteínas y polifenoles activos con capacidad coagulante. Además, investigaciones de Martínez et al. (2023) evidencian que los extractos de granada mantienen estabilidad y eficacia hasta por tres meses almacenados a temperatura ambiente. De este modo, su empleo en pequeñas plantas comunitarias o sistemas domésticos constituye una alternativa sostenible,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

económica y replicable frente a los coagulantes químicos tradicionales, especialmente en zonas rurales con limitada infraestructura.

En este sentido, estudios recientes refuerzan la relevancia del presente hallazgo. Shabanizadeh y Taghavijeloudar (2023) comprobaron que el polvo de semilla de granada logró una remoción de turbidez de hasta 87 % y una reducción de DQO del 60 % en efluentes papeleros, resultados que se incrementaron hasta 98 % cuando se combinó con alumbre, confirmando que la efectividad del coagulante natural puede potenciarse mediante sinergias con coagulantes convencionales. Por su parte, Khankishiyeva et al. (2024) demostraron que la cáscara de granada posee un notable poder floculante, logrando eliminar más del 90 % de cobre, 75 % de zinc y 70 % de níquel en aguas contaminadas con metales pesados, lo que evidencia que distintos tejidos de *Punica granatum* (semilla y cáscara) presentan un alto potencial para procesos de purificación de agua. Del mismo modo, Ahmed et al. (2024) reportaron que los residuos vegetales de granada aplicados como bio-coagulantes en aguas residuales domésticas lograron una reducción de 95.7 % del carbono orgánico total, demostrando la efectividad de los compuestos naturales como alternativa ecológica y de bajo costo. Estos antecedentes internacionales fortalecen los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que evidencian que la granada puede alcanzar rendimientos altos bajo condiciones controladas y con optimización de dosis y pH.

El tratamiento con 25 mg/L de semilla de granada logró la mayor reducción de turbidez (1.79 NTU), cumpliendo el estándar del D.S. 031-2010-SA. Dosis superiores produjeron un efecto adverso, con aumentos de turbidez y sólidos disueltos, alcanzando hasta 963.3 mg/L (T5), superando el límite normativo de 500 mg/L. Esto confirma lo reportado por Shabanizadeh y Ta0ghavijeloudar (2023), quienes atribuyen este comportamiento a la sobresaturación del medio por exceso de material vegetal. En

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

consecuencia, dosis mínimas y bien ajustadas son claves para mantener la eficiencia del tratamiento sin comprometer la calidad hídrica. Por tanto, se estableció que las condiciones óptimas de tratamiento correspondieron a una dosis de 25 mg/L, con mezcla rápida de 200 rpm durante 5 minutos y lenta de 50 rpm durante 15 minutos, parámetros que mantuvieron el pH dentro del rango normativo.

Un aspecto relevante que considerar es la brecha entre la dosis de 25 mg/L y la de 400 mg/L aplicada en los tratamientos. La ausencia de concentraciones intermedias (p. ej., 50, 100 o 200 mg/L) constituye una limitación metodológica que restringió la posibilidad de identificar con mayor precisión la dosis óptima del coagulante natural. Diversos estudios señalan que el desempeño de coagulantes naturales, como la semilla de granada, no es lineal y puede presentar rangos de eficiencia en dosis intermedias antes de evidenciar efectos negativos por sobresaturación del medio (Shabanizadeh & Taghavijeloudar, 2023; Schmitt et al., 2021). En consecuencia, es posible que entre 25 mg/L y 400 mg/L se hubiera alcanzado un punto de equilibrio más eficiente en la remoción de turbidez sin el incremento de sólidos totales observado en dosis elevadas. Por lo tanto, futuros trabajos deberían considerar un diseño experimental con intervalos más progresivos de concentración, siguiendo las recomendaciones de Gandiwa et al. (2020) y Manrique & Mamani (2023), quienes resaltan la importancia de la gradualidad en la dosificación de coagulantes naturales para lograr resultados reproducibles y ambientalmente sostenibles.

La eficiencia de la granada como coagulante fue considerablemente inferior al sulfato de aluminio, el cual alcanzó una reducción de turbidez hasta seis veces mayor. No obstante, en el caso del sulfato de aluminio, los residuos metálicos en el agua tratada se determinaron mediante el análisis químico de las muestras en laboratorio especializado, empleando técnicas instrumentales como la espectrometría de masas con plasma acoplado

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

inductivamente (ICP-MS) y espectrofotometría de absorción atómica, lo que evidenció concentraciones de aluminio entre 0.296 y 1.575 mg/L, valores que sobrepasan el límite máximo permitido de 0.2 mg/L según el D.S. 031-2010-SA y que representan un riesgo potencial para la salud (Diver et al., 2023). En contraste, el tratamiento con semillas de granada no introdujo contaminantes metálicos al agua, resultado que concuerda con estudios internacionales como el de Khankishiyeva et al. (2024). Este hallazgo respalda el potencial de la granada en procesos de coagulación ecológica; sin embargo, para optimizar su rendimiento es necesario ajustar las condiciones de aplicación, explorando técnicas como la modificación química de las semillas para incrementar la densidad de grupos funcionales activos, la combinación con otros coagulantes naturales (moringa, taninos, quitosano), o la optimización de variables operativas (pH, dosis y tiempos de mezcla), con el fin de alcanzar niveles de eficiencia comparables a los coagulantes convencionales.

La combinación de agitación rápida (200 rpm, 5 min) y lenta (50 rpm, 15 min) fue efectiva con la dosis óptima de granada, pero su eficiencia siguió siendo moderada. Ahmed et al. (2024) señalan que el tiempo y la velocidad de mezcla activan biocompuestos como proteínas y polisacáridos, cruciales para la floculación. Aunque el sulfato de aluminio respondió mejor a este régimen, también provocó una caída significativa del pH (4.10), fuera del rango normativo. En cambio, la granada mantuvo el pH entre 6.5 y 8.5, lo cual, según Soros (2019), es vital para la potabilidad del agua y la integridad de los sistemas de distribución.

El tratamiento con 25 mg/L de granada (T2) y el de sulfato de aluminio (T6) cumplieron con el límite de turbidez (<5 NTU). Sin embargo, solo T2 mantuvo el pH dentro del rango normativo, lo que lo hace más compatible con estándares de potabilidad. Schmitt et al. (2021) resaltan que los coagulantes naturales ofrecen mejor estabilidad del

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

pH que los químicos. Asimismo, Manrique y Mamani (2023) reportaron que biofloculantes como *Solanum tuberosum* pueden cumplir estándares sin afectar el equilibrio físico-químico del agua, fortaleciendo la validez del coagulante natural como opción sostenible. Estos resultados demuestran que, aunque la eficiencia de la granada fue menor, cumplió con los límites de turbidez, sólidos disueltos y pH establecidos en el D.S. 031-2010-SA, confirmando su viabilidad como alternativa ecológica.

Respecto a los sólidos totales, solo los tratamientos T1 y T2 (granada 25 mg/L) cumplieron con el límite de 500 mg/L, mientras que el sulfato de aluminio y las dosis mayores de granada lo superaron ampliamente. Esto concuerda con Ahmed et al. (2024), quienes advierten que el exceso de coagulante natural puede inducir una carga orgánica elevada. Gandiwa et al. (2020) también enfatizan la necesidad de controlar el tiempo de sedimentación para evitar la recontaminación del agua tratada. Así, el tratamiento con granada en dosis bajas destaca como una solución eficaz y ambientalmente responsable, cuyo potencial puede ampliarse mediante estrategias de optimización, ajustes de parámetros operativos y aplicación en sistemas descentralizados de tratamiento de agua en comunidades rurales.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

VII. CONCLUSIONES

Las semillas de granada (*Punica granatum*) mostraron eficacia limitada como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua destinada al consumo humano, alcanzando una reducción superior al 10 % bajo condiciones óptimas. Si bien fueron menos eficientes que el sulfato de aluminio, resultaron más sostenibles y seguras.

La dosis de 25 mg/L, junto con una mezcla rápida de 200 rpm durante 5 minutos y lenta de 50 rpm durante 15 minutos, constituyó la condición óptima de tratamiento, logrando reducir la turbidez sin superar los límites de sólidos totales disueltos establecidos en la normativa.

El sulfato de aluminio mostró una eficacia aproximadamente seis veces mayor que la semilla de granada en la remoción de turbidez; sin embargo, presentó concentraciones de aluminio residual superiores al límite permitido (0.2 mg/L), evidenciadas mediante análisis ICP-MS y AAS. En contraste, la semilla de granada no generó residuos metálicos ni alteró el pH, manteniéndolo dentro del rango normativo (6.5–8.5), lo que confirma su potencial como alternativa ecológica y segura para el tratamiento de agua.

Solo los tratamientos con 25 mg/L de granada y sulfato de aluminio cumplieron con el parámetro de turbidez (<5 NTU); no obstante, únicamente el coagulante natural mantuvo simultáneamente el pH y los sólidos disueltos dentro de los límites establecidos, demostrando su mayor compatibilidad con los estándares de potabilidad.

El tratamiento con 25 mg/L de granada fue el único que cumplió con el límite de 500 mg/L de sólidos disueltos y mantuvo el pH en el rango permitido, reafirmando su potencial como alternativa ecológica libre de residuos metálicos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener las condiciones óptimas de tratamiento (25 mg/L, 200 rpm por 5 min y 50 rpm por 15 min) y evitar dosis superiores que incrementen la turbidez y los sólidos disueltos. Asimismo, se sugiere aplicar pretratamientos físicos y optimizar la extracción de compuestos activos para mejorar la eficiencia del coagulante natural.

Se recomienda evaluar esquemas mixtos o secuenciales de tratamiento que combinen coagulantes naturales y químicos, minimizando la concentración de aluminio residual sin comprometer la eficiencia del proceso.

Mantener las condiciones de mezcla rápida (200 rpm por 5 min) y lenta (50 rpm por 15 min) como estándar para maximizar la acción floculante de la granada en futuros ensayos o aplicaciones piloto.

Priorizar el uso de coagulantes naturales en contextos donde se requiera mantener la estabilidad del pH, ya que los coagulantes químicos como el sulfato de aluminio pueden acidificar el agua.

Realizar controles rigurosos de sólidos totales disueltos cuando se utilicen coagulantes naturales, y evitar sobredosificaciones que comprometan la calidad del agua tratada.

Para la realización del coagulante de granada fue necesario el uso de un laboratorio con todos los equipos necesarios planteados en investigaciones anteriores, por lo que al replicar esta investigación es necesario tener las facilidades para la obtención de los químicos, equipos y materiales de laboratorio.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Esta investigación puede derivar al uso de coagulantes naturales paras mejorar la calidad del agua en zonas de difícil acceso y cercano a comunidades nativas como es el caso del Área de Estudio. Ya que indica un precedente para futuras investigaciones ligadas al consumo de agua.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, E. J., Coello, M., Cueva, R., Posso, T., Angamarca, V., & Solís, I. (2025). Estrategias para explicar el ciclo del agua de manera divertida y didáctica2025. *South Florida Journal of Development,* *6*(5), e5254. doi:https://doi.org/10.46932/sfjdv6n5-025

Ahmed, H., El-Khateeb, M., Mohamed, N., Sobhy, N., & Fawzy, M. (2024). Evaluation of different natural waste materials as bio-coagulants for domestic wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment, 317*, 100034. doi:https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100034

Ahmed, S., Askar, A., & Dakhill, A. (2023). Efficiency of Moringa oleifera seeds as a natural alternative to the chemical coagulants in the drinking water treatment process. *Journal of Wildlife and Biodiversity, 7*, 196-216. doi:https://doi.org/10.5281/zenodo.1021212

Alvarez, H. (2019). *Extracto de moringa (Moringa oleífera) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuya.* Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12996/3923

Ángel, L. (2020). *Diseño de un plan de manejo integral de residuos sólidos (PMIRS), en la vereda de Teguaneque, Turmequé- Boyacá.* Tesis de pregrado. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12495/8131

Araque, M. (2022). Capítulo 1 – El agua en la naturaleza. Abya-Yala. doi:https://doi.org/10.7476/9789978108208.0002

Araque, M. (2022). Capítulo 3 – Planta de tratamiento de agua. Abya-Yala. doi:https://doi.org/10.7476/9789978108208.0004

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Arenas, K., & Mamani, G. (2023). *Evaluación de la eficiencia de biofloculantes obtenidos a partir de Opunta Ficus Indica, Hylocereus Undatus, Solanum Tuberosum y mezcla de ellos en la mejora de la calidad de aguas destinadas para consumo humano en el distrito de Samegua - Moquegua.* Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12782

Arias, J. (2021). *Proyecto de tesis Guía para la elaboración.* José Luis Arias Gonzales.

Arias, J. L. (2020). *Técnicas e Instrumentos de Investigación Científica* (Primera ed.). ENFOQUES CONSULTING EIRL. Obtenido de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26118w/Tecnicas%20e%20instrumentos.pdf

Banco Mundial. (20 de SEPTIEMBRE de 2018). *Banco mundial*. Obtenido de Banco mundial: https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management

Banco Mundial. (2021). *Población Urbana (% del total)*. (B. Mundial, Editor) Recuperado el Diciembre de 2023, de https://datos.bancomundial.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS

Bhupendra, K., Nargis, B., Mustapha, A., Meerambika, M., Ananta, A., & Dhananjay, Y. (2022). Application of Natural Coagulants in Water Treatment: A Sustainable Alternative to Chemicals. *Water, 14*(22), 3751. doi:https://doi.org/10.3390/w14223751

Bocanegra, S. (2022). *Estudio De Viabilidad Para La Producción De Coagulante Natural A Partir De Nopal Opuntia Y Alumbre Mediante La Aplicación De Estrategias*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Técnicas De Gerencia De Proyectos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/533909586.pdf

Casabona, K., Durand, D., & Yucra, A. (2019). La població y el manejo de los residuos sólidos municipales domiciliarios del primer sector de Collique, Distrito de Comas, Lima 2019. *Tesis*. Callao, Perú: Universidad Nacional del Callao. Obtenido de http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/3763/CASABONA%2C%20DURAND%20Y%20YUCRA_PREGRADO_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CEPIS. (1983). Método sencillo del análisis de residuos sólidos. *Retrieved*. Obtenido de https://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt017.html

Céspedes, G. (2019). Nivel de eficiencia en el manejo de residuos sólidos en el centro histórico de Cajamarca en la municipalidad provincial, 2015. *Tesis*. UNIVERSIDAD NACIONA DE CAJAMARCA. Obtenido de https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3508/NIVEL%20DE%20EFICIENCIA%20EN%20EL%20MANEJO%20DE%20RESIDUOS%20S%C3%93LIDOS%20EN%20EL%20CENTRO%20HIST%C3%93RICO%20DE%20CAJAMARCA,%20DE%20LA%20M.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chamizo, S., Suárez, J., Muñoz, H. C., & Carreón, M. A. (2022). Estimación de la generación y composición de residuos sólidos en Papalotla, Tlaxcala. *Ciencia Latina revista Multidisciplinar, 6*(6), 9071-9085. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4058

Chen, C., Chaudhary, A., & Mathys, A. (2020). Nutritional and environmental losses embedded in global food waste. *Conservation and Recycling, 160*, 104-912. doi:10.1016/j.resconrec.2020.104912

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Chong, J., Khoo, K., Yew, G., Leong, W., Lim, J., Lam, M., . . . Show, P. (2021). Advances in production of bioplastics by microalgae using food waste hydrolysate and wastewater: A review. *Bioresour. Technol, 342*(23), 125947. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125947

Ddiba, D., Andersson, K., Rosemarin, A., Schulte-Herbrüggen, & Dickin, S. (2022). The circular economy potential of urban organic waste streams in low- and middle-income countries. *Environment, Development and Sustainabilit, 24*, 1116-1144. doi:https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01487-w

Defensoría del Pueblo. (2019). *¿Dónde va nuestra basura? Recomendaciones.* Defensoría del Pueblo. Obtenido de https://www.defensoria.gob.pe/informes/informe-defensorial-no-181-donde-va-nuestra-basura/

Diver, D., Nhapi, I., & Ruziwa, W. (2023). The potential and constraints of replacing conventional chemical coagulants with natural plant extracts in water and wastewater treatment. *Environmental Advances, 13*, 100421. doi:https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100421

Foraquita, L., Jarro, R., Cosi, D., & Paniagua, R. (2024). Estudio de la aplicación del Aloe vera (L.) como coagulante para reducir la turbidez en el agua del río Caplina. *Sciencevolution, 3*(11), 38-46. doi:https://doi.org/10.61325/ser.v3i11.95

Gandiwa, B., Moyo, L., Ncube, S., Mamvura, T., Mguni, L., & Hlabangana, N. (2020). Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: (Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-alum blend). *South African Journal of Chemical Engineering, 34*, 158-164. doi:https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

García, R., Socorro, A., & Maldonado, A. (2019). Manejo y gestión ambiental de los desechos sólidos, estudio de casos. *Revista Universidad y Sociedad, 11*(1). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202019000100265&lng=es&nrm=iso

Ghernaout, D., Elboughdiri, N., & Ghareba, S. (2020). Fenton technology for wastewater treatment: Dares and trends. *Open Access Library Journal , 7*(1), e6045. doi:https://doi.org/10.4236/oalib.1106045

Gómez, K. (2010). *Eficiencia del coagulante de la semilla de Moringa oleifera en el tratamiento de agua con baja turbidez.* Tesis de pregrado, Zamorano, Honduras. Obtenido de https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7c23d6ab-447b-4a08-b3f5-ed292e95b897/content

Gonzáles, M., & Rivera, N. (2021). *Efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante opuntia ficus - indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelca - 2019.* Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica. Obtenido de https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4b342a98-0aa5-484e-9796-1303cb1880e3/content

Guzman, M., Sánchez, D., Yoera, J., & More, J. (2021). Educación ambiental y la evaluación de residuos plásticos durante la pandemia en distrito de Barranca. *Horizontes, 5*(21), 1649-1657. doi:https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v5i21.305

Gutierrez, L., Castillo, A., & Sanchez, D. (2025). *Coagulantes naturales de Punica granatum y Cicer arietinum para reducción de turbidez y sólidos suspendidos totales en efluentes de curtiembre* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. https://hdl.handle.net/20.500.14414/23709

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Hernández-Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.*

Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2019). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci., 364*(1526), 2115-26. doi:10.1098/rstb.2008.0311

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Anuario de Estadísticas Ambientales.* Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú. doi:https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1197/libro.pdf

Iqbal, A., Liu, X., & Chen, G.-H. (2020). Municipal solid waste: Review of best practices in application of life cycle assessment and sustainable management techniques. *Science of The Total Environment*, 138622. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138622

Joshi, P., & Visvanathan, C. (2019). Sustainable management practices of food waste in Asia: Technological and policy drivers. *Journal of Environmental Management, 247*, 538-550. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.079

Khankishiyeva, R., Maharramova, L., & Musayeva, A. (2024). Eco-Friendly Purification of Heavy Metal Contaminated Wastewater Using Pomegranate Peel and Chitosan Derived Flocculant . *In BIO Web of Conferences, 85*, 01019. doi:https://doi.org/10.1051/bioconf/20248501019

Knickmeyer, D. (2020). Social factors influencing household waste separation: A literature review on good practices to improve the recycling performance of urban areas. *Journal of Cleaner Production*, 118605. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118605

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Legua, J. (2021). *Efectividad de la semilla moringa oleífera como biocoagulante para el pre-tratamiento de agua, provincia de Ilo, Moquegua.* Moquegua: Universidad Nacional de Moquegua. Obtenido de https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/285

Lopera, D., & Dávila, M. (2015). Buenas prácticas ambientales enfocadas a los Residuos. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6097/363728L864.pdf?se

Lozano, K., & Asarpay, J. (2020). *Propuesta de un Relleno Sanitario para el adecuado manejo de residuos sólidos municipales en el distrito de Huáchac – Junín.* Universidad Peruana Unión. Obtenido de http://200.121.226.32:8080/handle/20.500.12840/3788

Martínez, F., Gómez, L., García, D., Villegas, E., Rodriguez, J., Velázquez, J., Hernández, B., Barois, I., & Contreras, S. (2023). Hydrocarbon bioremediation in a pilot-scale: A combination of bioaugmentation, phytoremediation, and vermiremediation. *Environmental Technology & Innovation*, *31*, 103210. https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103210

Méndez, D., & Calderón, D. (2023). *Tratamiento de aguas pluviales a partir de coagulatnes naturales para uso doméstico.* Bogotá: Universidad EAN. Obtenido de https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/13499/Calder%c3%b3nDiego2024.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MINAM. (2016). *MINAM Disposiciones.* Obtenido de MINAM Disposiciones: https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1278/

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Ministerio de Salud. (2007). *"Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales.* Resolución Directoral N° 2254/2007/DIGESA/SA. Retrieved from http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-(CONTINENTALES).pdf

Ministerio del Ambiente. (2016). Decreto Legislativo N° 1278. *Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Perú. Obtenido de https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-gestion-integral-residuos-solidos

Mold, M., Linhart, C., Gómez-Ramírez, J., Villegas-Lanau, A., & Exley, C. (2020). Aluminum and amyloid-β in familial Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease, 73(4)*, 1627-1635. doi:10.3233/JAD-191140

Mustereț, C., Morosanu, I., Ciobanu, R., Plavan, O., Gherghel, A., Al-Refai, M., . . . Teodosiu, C. (2021). Assessment of coagulation–flocculation process efficiency for the natural organic matter removal in drinking water treatment. *Water, 13*(3073), 1-21. doi:https://doi.org/10.3390/w13213073

Nayeri, D., & Alireza, S. (2022). A comprehensive review on the coagulant recovery and reuse from drinking water treatment sludge. *Journal of Environmental Management, 319*(1), 115649. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115649

Nimesha, S., Hewawasam, C., Jayasanka, D., Murakami, Y., Araki, N., & Maharjan, N. (2022). Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management, 8*(1), 101-106. doi:https://doi.org/10.22034/GJESM.2022.01.08

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Núñez, M. A., Mercado, P., & Garduño, K. A. (2021). Validez de un instrumento para medir capital intelectual en empresas. *Investigación administrativa, 50*(128), 66-85. doi:https://doi.org/10.35426/iav50n128.04

Prabhakaran, N., Jothieswari, M., Swarnalatha, S., & Sekaran, G. (2022). Tannery wastewater treatment process to minimize residual organics and generation of primary chemical sludge. *International Journal Environmental Science Technology, 19*(1), 8857–8870. doi:https://doi.org/10.1007/s13762-021-03634-2

Priya, T., Mishra, B., & Prasad, M. (2020). Physico-chemical techniques for the removal of disinfection by-products precursors from water. *Disinfection By-products in Drinking Water*, 23-58. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102977-0.00002-0

Pujara, Y., Pathak, P., & Sharma, A. (2019). Review on Indian Municipal Solid Waste Management practices for reduction of environmental impacts to achieve sustainable development goals. *Journal of Environmental Management, 248*, 109238. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.07.009

Quirós, N., Robles, D., Caballero, A., & Calvo, G. (2022). Contenido de metales pesados en varios ríos de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha, 35*(2), 93-104. doi:https://dx.doi.org/10.18845/tm.v35i2.5532

Ramírez, F. (2021). *Hacia una sustentabilidad social.* Universidad Pedagógica de Durango. Obtenido de http://upd.edu.mx/PDF/Libros/Sustentabilidad.pdf

Ríos, R. (2017). *Metodología para la investigación y redacción.* Servicios Académicos Intercontinentales SL.

Rondón, E., Szantó, M., Pacheco, J., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.* Retrieved from

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios

Rosales, R. (2017). *Caracterización de residuos sólidos domiciliarios para la implementación de un plan de manejo en el distrito de Paucarpata provincia de Arequipa 2014 – 2015.* Universidad Nacional de San Agustín. Obtenido de http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8466

Saldaña, C. (2019). *Potencial uso alimentos de productos obtenidos a partir de residuos industriales de granada (Punica granatum)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bd1b9a4e-d2ff-44cd-9f0e-ed4259a5ae9f/content

Sánchez, M. J., Fernández, M., & Diaz, J. C. (2021). Técnicas e instrumentos de recolección de información: análisis y procesamiento realizado por el investigador cualitativo. *Revista Científica UISRAEL, 8*(1), 113-128. doi:https://doi.org/10.35290/rcui.v8n1.2021.400

Schmitt, F., Rodrigues, R., & Oliveira, C. (2021). Efficacy of two natural tannins-based polymers in contrast to aluminum sulfate for drinking water production. *Cleaner Engineering and Technology, 3*, 100099. doi:https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100099

Shabanizadeh, H., & Taghavijeloudar, M. (2023). A sustainable approach for industrial wastewater treatment using pomegranate seeds in flocculation-coagulation process: Optimization of COD and turbidity removal by response surface methodology (RSM). *Journal of Water Process Engineering, 53*(1), 103651. doi:https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103651

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Shabanizadeh, H., & Taghavijeloudar, M. (2023). Potential of pomegranate seed powder as a novel natural flocculant for pulp and paper wastewater treatment: Characterization, comparison and combination with alum. *Process Safety and Environmental Protection, 170*, 1217-1227. doi:https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.01.004

Shabanizadeh, H., & Taghavijeloudar, M. (2023). Potential of pomegranate seed powder as a novel natural flocculant for pulp and paper wastewater treatment: Characterization, comparison and combination with alum. *Process Safety and Environmental Protection, 170*(1), 1217-1227. doi:https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.01.004

Shah, A., Arjunan, A., Manning, G., Zakharova, J., Andraulaki, I., & Batool, M. (2024). The effect of dose, settling time, shelf life, storage temperature and extractant on Moringa oleifera Lam. protein coagulation efficiency. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 21*, 100919. doi:https://doi.org/10.1016/j.enmm.2024.100919

Sistema Nacinal de Información Ambiental SINIA-MINAM. (2021). *SINIA*. Obtenido de SINIA: https://sinia.minam.gob.pe/indicadores-estadisticas

Soros, A., Amburgey, J., Stauber, C., Sobsey, M., & Casanova, L. (2019). Turbidity reduction in drinking water by coagulation-flocculation with chitosan polymers. *Water & Health, 17(2)*, 204-218. doi:https://doi.org/10.2166/wh.2019.114

The World Bank. (2018). *The World Bank Anual Report.* World Bank Group. Obtenido de https://documents1.worldbank.org/curated/en/630671538158537244/pdf/The-World-Bank-Annual-Report-2018.pdf

Torres, E., Pizarro, E., & Zuñiga, E. (2016). Evaluación de la Generación de Residuos Sólidos en la Ciudad Universitaria, Facultad de Odontología, Juliaca. *Rev. Evid.*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Odontol. Clinic. , *2*(2), 7-10. Retrieved from http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2474

Tunggolou, J., & Payus, C. (2017). Moringa Oleifera as coagulant used in water purification process for comsumption. *Earth Science e Pakistán, 1(2)*, 1-3. doi:https://doi.org/10.26480/esp.02.2017.01.03

Vargas, S., & Gutierrez, V. (2022). *Aplicación de la semilla de Moringa Oleífera como coagulante-floculante en el proceso de reducción de arsénico presente en el agua para consumo humano en el distrito de Candarave, provincia de Candarave, región Tacna.* Tacna: Universidad Privada de Tacna. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12969/2512

Vasquez, M. (2019). *Diseño de la operación de clarificación empleando la moringa como coagulante y floculante natural para la reducción de la turbidez del agua.* Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huanuco. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.13080/5919

Wang, Y.-L. L.-H.-J.-F.-W. (2020). Potent Impact of Plastic Nanomaterials and Micromaterials on the Food Chain and Human Health. *Int J Mol Sci., 21*(5), 1727. doi:10.3390/ijms21051727

WWF ORG. (21 de Mayo de 2018). *WWF*. Recuperado el 2023, de WWF: https://www.wwf.org.pe/?328101/Casi-el-90-de-Basura-diaria-generada-no-se-recicla#:~:text=En%20Lima%2C%20la%20ciudad%20m%C3%A1s,al%2047%20%25%20del%20total%20producido.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

IX. ANEXOS

Anexo 1. Carta dirigida al Gerente General del Proyecto de Mantenimiento Lote 57 para el uso de sus instalaciones en el proyecto.

Estimado Ing. Guillermo Murillo

Según lo conversado se solicita a su persona el uso de la Planta de Tratamiento ubicada en el proyecto de Lote 57 – U200 para el proyecto de investigación "EFICACIA DEL USO DE SEMILLAS DE GRANADA (Punica granatum) COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN EL TRATAMIENTO FÍSICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL LOTE 57 (CUSCO, PERÚ)", cabe mencionar que el uso de los datos y/ o cualquier información recopilada durante la investigación y obtención de la muestra se realizará respetando los lineamientos de la empresa y con confidencialidad. Además, se garantizará el adecuado manipuleo y traslado de las muestras de agua destinada al consumo humano evitando la contaminación, para obtener resultados verídicos y confiables

Atentamente,

Valeria S. Alvarado Morales

Supervisor SSOMA – Lote 57

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Anexo 2. Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales

MINISTERIO DE SALUD
Dirección General de Salud Ambiental
"DIGESA"

PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD SANITARIA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

DIRECCIÓN DE ECOLOGÍA Y PROTECCIÓN DEL AMBIENTE

ÁREA DE PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS





Lima, 2007

Nota. Ministerio de Salud (2007)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 3. Análisis de pH, sólidos totales y turbidez en el laboratorio acreditado Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C.

SLab
Laboratorio de ensayo e investigación

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

INFORME DE ENSAYO
IE-2025-1143

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1	Cliente	:	VALERIA SOLEIL ALVARADO MORALES
1.2	RUC o DNI	:	70349375
1.3	Dirección	:	AV. PACIFICO 477 – LA PERLA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1	Producto	:	AGUA RESIDUAL
2.2	Muestreado por	:	CLIENTE (c)
2.3	Número de Muestras	:	01
2.4	Fecha de Recepción	:	2025-03-21
2.5	Periodo de Ensayo	:	2025-03-21 al 2025-04-01
2.6	Fecha de Emisión	:	2025-04-08
2.7	Fecha y Hora de Muestreo	:	No Precisa
2.8	N° de cotización	:	COT-114310-SL25

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Sólidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 24th Ed. 2023. Solids. Total Solids Dried from 103 to 105 °C.
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24th Ed. 2023 pH VALUE : Electromedic Method
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 24th Ed. 2023. Turbidity. Nephelometric Method.

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL (c)

DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

4.2. DESCRIPCIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL (ESTABLECIDO POR EL CLIENTE)

4.2.1. Caracterización Inicial

- Esta muestra compuesta inicial será caracterizada evaluando los parámetros indicados.
  Parámetros: ST

4.2.2. Tratamiento N°1 - COAGULANTE

- En este tratamiento se busca evaluación de un coagulante mediante la aplicación de este en la muestra de agua para posteriormente evaluar los parámetros ST, pH y Turbidez.
- El reactivo Coagulante elegido fue una Solución de Semillas de Granada.
- Las condiciones de aplicación fueron las siguientes:

Tabla N°1: Tratamiento con Coagulante Solución de semillas de Granada

Tratamientos	Dosis(mL)	Velocidad Inicial (rpm)	Tiempo de mezcla Inicial (min)	Velocidad Lenta (rpm)	Tiempo de mezcla Lenta (min)	Sedimentación (min)
Jarra 1 (J1)	0	200	5	50	15	60
Jarra 2 (J2)	0.1	200	5	50	15	60
Jarra 3 (J3)	1.6	200	5	50	15	60
Jarra 4 (J4)	2.4	200	5	50	15	60
Jarra 5 (J5)	3.2	200	5	50	15	60

Nota: Se realizó luego de la mezcla una agitación rápida por 5 minutos a 200 rpm luego se prosiguió con la lenta.

SLab Laboratorio de ensayo e investigación

4.2.3. Tratamiento N°2 - COAGULANTE

- En este tratamiento se busca evaluación de un coagulante mediante la aplicación de este en la muestra de agua para posteriormente evaluar los parámetros ST, pH y Turbidez.
- El reactivo coagulante elegido fue el Sulfato de Aluminio (20 mg/L).
- Las condiciones de aplicación fueron las siguientes:

Tabla N°2: Tratamiento con Coagulante Sulfato de Aluminio

Tratamientos	Dosis(ml)	Velocidad Inicial (rpm)	Tiempo de mezcla Inicial (min)	Velocidad Lenta (rpm)	Tiempo de mezcla Lenta (min)	Sedimentación (min)
Jarra 6 (J6)	0.1	200	5	50	15	60

Nota: Se realizó luego de la mezcla una agitación rápida por 5 minutos a 200 rpm luego se prosiguió con la lenta.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

4.3.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL

A continuación, se brindan los resultados de la caracterización inicial

Tabla N°3: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
S-1455	Sólidos Totales	mg/L	N.A.	5	66

4.3.2. TRATAMIENTO N°1 – COAGULANTE

A continuación, se brindan los resultados de la muestra luego del tratamiento con el reactivo Coagulante:

Tabla N°4: RESULTADOS OBTENIDOS DE JARRA 1

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1456 (1° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.26
	Turbidez	NTU	0.10	2.16
	Solidos Totales	mg/L	5	67
S-1457 (2° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.05
	Turbidez	NTU	0.10	2.07
	Solidos Totales	mg/L	5	64
S-1458 (3° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.08
	Turbidez	NTU	0.10	1.83
	Solidos Totales	mg/L	5	65

Tabla N°5: RESULTADOS OBTENIDOS DE JARRA 2

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1459 (1° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.16
	Turbidez	NTU	0.10	1.80
	Solidos Totales	mg/L	5	88
S-1460 (2° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.14
	Turbidez	NTU	0.10	1.73
	Solidos Totales	mg/L	5	96
S-1461 (3° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.10
	Turbidez	NTU	0.10	1.83
	Solidos Totales	mg/L	5	87

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla N°6: RESULTADOS OBTENIDOS DE JARRA 3

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1462 (1° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.42
	Turbidez	NTU	0.10	4.09
	Solidos Totales	mg/L	5	549
S-1463 (2° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.49
	Turbidez	NTU	0.10	5.63
	Solidos Totales	mg/L	5	445
S-1464 (3° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.41
	Turbidez	NTU	0.10	4.87
	Solidos Totales	mg/L	5	533

Tabla N°7: RESULTADOS OBTENIDOS DE JARRA 4

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1465 (1° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.31
	Turbidez	NTU	0.10	4.22
	Solidos Totales	mg/L	5	740
S-1466 (2° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.28
	Turbidez	NTU	0.10	4.88
	Solidos Totales	mg/L	5	730
S-1467 (3° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.25
	Turbidez	NTU	0.10	6.02
	Solidos Totales	mg/L	5	722

Tabla N°8: RESULTADOS OBTENIDOS DE JARRA 5

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1468 (1° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	7.11
	Turbidez	NTU	0.10	5.53
	Solidos Totales	mg/L	5	973
S-1469 (2° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	6.78
	Turbidez	NTU	0.10	6.11
	Solidos Totales	mg/L	5	955
S-1470 (3° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	6.89
	Turbidez	NTU	0.10	7.75
	Solidos Totales	mg/L	5	962

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

4.3.3. TRATAMIENTO N°2 – COAGULANTE

A continuación, se brindan los resultados de la muestra luego del tratamiento con el reactivo Coagulante:

Tabla N°9: RESULTADOS OBTENIDOS DE JARRA 6

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1471 (1° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	4.06
	Turbidez	NTU	0.10	0.81
	Solidos Totales	mg/L	5	778
S-1472 (2° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	4.06
	Turbidez	NTU	0.10	0.60
	Solidos Totales	mg/L	5	795
S-1473 (3° Repetición)	Potencial de hidrógeno, pH	Unid. pH	0.10	4.18
	Turbidez	NTU	0.10	0.67
	Solidos Totales	mg/L	5	783

Leyenda
LCM: Límite de Cuantificación de Método.
(c) Información suministrada por el cliente.

SLab Laboratorio de ensayo e investigación

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Anexo 4. Acreditación del laboratorio denominado Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C.



Certificado

INACAL
Instituto Nacional de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Calle 22 Mz E Lt 7 Urbanización Vipol de Naranjal, distrito de San Martin de Porres, provincia y departamento de Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 21 de julio de 2023
Fecha de Vencimiento: 20 de julio de 2026

Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU 20600283015 soft
Fecha: 2023-08-18 08:52:23
Motivo: Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ
Directora (d.t.), Dirección de Acreditación - INACAL

Cedula N°: 228-2023-INACAL/DA
Contrato N°: 039-2023/INACAL-DA
Registro N°: LE - 211

Fecha de emisión: 15 de agosto de 2023

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 03

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

CONSTANCIA N° 030-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2025

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constanciaque el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro:	**PRE-11-2024-00501**
Título:	**Eficacia del uso de semillas de granada (*Punica granatum*) como coagulante natural para la remoción de turbidez en el tratamiento físico de la planta de tratamiento de agua potable y de mesa del lote 57 (Cusco, Perú)**
Investigador(a):	**Valeria Soleil Alvarado Morales**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminacióno eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 21 de julio del 2026**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de estedocumento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador 22 de enero del 2025

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR - UCSUR - Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad

Méd. Vet. Milena Paola Montenegro Veja
Presidenta (e)
Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°030 -2025-DACIA-DAFCA-U. CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 10 de febrero del 2025

VISTO:
El informe de revisión académica independiente y la aprobación de un Comité de Ética con **N° de Constancia: 030-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2025** del proyecto de tesis titulado: **Eficacia del uso de semillas de granada (Punica granatum) como coagulante natural para la remoción de turbidez en el tratamiento físico de la planta de tratamiento de agua potable y de mesa del lote 57 (Cusco, Perú)**, presentado por:

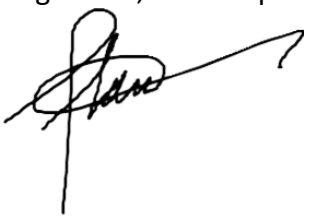
- **Valeria Soleil Alvarado Morales**

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo con el Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la Facultad de Ciencias Ambientales, según la modalidad elegida, es necesario la realización y sustentación de una tesis.
Que, de acuerdo con la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Decano de la Carrera.

SE RESUELVE:
Primero.- Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Eficacia del uso de semillas de granada (Punica granatum) como coagulante natural para la remoción de turbidez en el tratamiento físico de la planta de tratamiento de agua potable y de mesa del lote 57 (Cusco, Perú),** con N° de registro: **PRE-11-2024-00501** y establecer la vigencia de aprobación de este proyecto de doce meses, hasta el **11 de febrero del 2026**.

Segundo.- Nombrar al docente/colaborador **Luis Sanchez Luyo** como **Asesor** para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Karina Diana Chuquispuma Jesus
Decana
Carrera de Ingeniería Ambiental