Universidad Católica de Santa María

## Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

## Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

# Evaluación de la eficiencia de la semilla de papaya (*Carica papaya*) como coagulante natural en el tratamiento de efluentes de la industria de hilado de fibra de alpaca

Tesis presentada por:

**Alvarez Ticona, Diego Fernando**

**ORCID: 0009-0001-9562-4486**

para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesor:

**Dr. Colina Andrade, Gilberto de Jesús**

**ORCID: 0000-0002-6623-0760**

Arequipa-Perú

2026

UCSM-ERP

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## INGENIERIA AMBIENTAL

## TITULACIÓN CON TESIS

## DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 16 de Agosto del 2026

**Dictamen: 017660-C-EPIA-2026**

Visto el borrador del expediente 017660, presentado por:

**2019200021 - ALVAREZ TICONA DIEGO FERNANDO**

Titulado:

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA SEMILLA DE PAPAYA (CARICA PAPAYA) COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA DE HILADO DE FIBRA DE ALPACA**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**29727348 - LAZARTE ARREDONDO SONIA**
**DICTAMINADOR**



**43297964 - CAMPOS OLAZAVAL LIZBETH MARIANELLA**
**DICTAMINADOR**



**72384055 - MEDINA RAMOS ROBERT JOAQUIN**
**DICTAMINADOR**



# EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA SEMILLA DE PAPAYA (CARICA PAPAYA) COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA DE HILADO DE FIBRA DE ALPACA

INFORME DE ORIGINALIDAD

| 5% | 6% | 3% | 5% |
|---|---|---|---|
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Submitted to Universidad Católica de Santa María<br>Trabajo del estudiante | 2% |
| 2 | repositorio.unas.edu.pe<br>Fuente de Internet | 1% |
| 3 | repositorio.ucsm.edu.pe<br>Fuente de Internet | 1% |
| 4 | 123dok.com<br>Fuente de Internet | 1% |
| 5 | Submitted to AIMST University<br>Trabajo del estudiante | 1% |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Excluir citas | Apagado | Excluir coincidencias | < 1% |
| Excluir bibliografía | Apagado | | |

## DEDICATORIA

*A Dios por haberme brindado esta gran oportunidad, otorgándome sabiduría y fortaleza para seguir adelante siempre.*

*A mis amados padres Eduardo y Edith, quienes siempre me brindaron su amor, paciencia y confianza en cada paso que tomaba, aconsejándome en los momentos difíciles.*

*A mis hermanos Marlyn y William, quienes siempre estuvieron a mí lado.*

*A mis queridas mascotas, fieles compañeros que siempre estuvieron presentes en cada momento de este camino.*

*A mis amigos que me acompañaron en todo momento, quienes me brindaron su ayuda y aconsejándome en este camino.*

## AGRADECIMIENTOS

*Al Doctor Gilberto de Jesús Colina Andrade, mi asesor, quien me abrió las puertas de su laboratorio, brindándome toda su confianza, aconsejándome y guiándome durante este camino.*

*Al Doctor Ruly Terán Hilares por su apoyo y por permitirme utilizar su laboratorio durante esta etapa.*

*Al laboratorio de Ciencias de los Materiales y al laboratorio de Bioprocesos, donde conocí personas maravillosas que me enseñaron muchas cosas en este camino haciendo que me sienta como en mi hogar, brindándome su apoyo y conocimientos.*

*Al vicerrectorado de investigación UCSM por permitirme utilizar los laboratorios en la elaboración de mi tesis.*

*A Cristiano Ronaldo quien siempre fue una gran inspiración por su disciplina y espíritu de superación.*

*A Kyojuro Rengoku, quien con su frase "Mantén tu corazón ardiendo" me recordó que la verdadera fortaleza nace desde adentro de uno mismo.*

## RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el potencial coagulante de la semilla de *Carica papaya* para el tratamiento de efluentes textiles, evaluando la remoción de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO) y su análisis con respecto a los valores máximos admisibles (VMA) *DS 010-2019 VIVIENDA*. El contenido de humedad (*H*) fue determinado al coagulante crudo, secado a estufa y liofilizado. La remoción de turbidez fue evaluada mediante un test de jarras a diferentes condiciones experimentales (200 rpm/20 s y 60 rpm/30 min) con una turbidez inicial de 1042 NTU. La muestra de un efluente textil fue caracterizada (DQO, SST y turbidez). Se realizó un diseño factorial fraccionado (Cribado) $2^{5-1}$, considerando las variables pH, dosis de coagulante (*D*), tiempo de agitación rápida ($t_{ar}$), tiempo de agitación lenta ($t_{al}$), tiempo de sedimentación ($t_s$) y como factor de respuesta la turbidez removida. La optimización del diseño fue realizada aplicando un diseño central compuesto (CCD) teniendo como factores principales el pH y el $t_{al}$, como factor de respuesta la remoción (R) de DQO (67.55 ± 1.08 %), SST (70.80 ± 1.57 %) y turbidez (70.12 ± 0.70 %). Las condiciones experimentales optimas fueron: pH = 5 y *D* = 1.0 mL. Las correlaciones de cada uno de factores de respuesta fueron: $R^2$ = 0.9805, 0.9528 y 0.9773, para DQO, SST y turbidez respectivamente. El CCD arrojó una la dosis optima a pH 4.86 y $t_{al}$ = 26.28 min, con remociones de turbidez= 66.44 %, DQO= 64.83 % y SST= 64.12 %. El análisis de la estructura externa de la semilla de *Carica papaya*, antes y después del tratamiento, presentó diferencias estructurales heterogéneas significativas a nivel morfológico.



Palabras clave: Caogulacion-Floculacion, *Carica papaya*, DQO

## ABSTRACT

This study evaluated the coagulant potential of Carica papaya seeds for the treatment of textile effluents, assessing the removal of turbidity, total suspended solids (TSS), and chemical oxygen demand (COD), and comparing these values to the maximum permissible limits (MPL) established by DS 010-2019 VIVIENDA. The moisture content (*H*) was determined for the raw coagulant, oven-dried coagulant, and freeze-dried coagulant. Turbidity removal was evaluated using a jar test under different experimental conditions (200 rpm/20 s and 60 rpm/30 min) with an initial turbidity of 1042 NTU. A sample of textile effluent was characterized (COD, TSS, and turbidity). A $2^{5-1}$ fractional factorial design was implemented, considering the variables pH, coagulant dose (*D*), rapid stirring time ($t_{ar}$), slow stirring time ($t_{al}$), sedimentation time ($t_s$), and turbidity removal as the response factor. The design was optimized using a central composite design (CCD) with pH and tal as the main factors, and removal (R) of COD (67.55 ± 1.08%), TSS (70.80 ± 1.57%), and turbidity (70.12 ± 0.70%) as the response factor. The optimal experimental conditions were pH = 5 and D = 1.0 mL. The correlations for each response factor were $R^2$ = 0.9805, 0.9528, and 0.9773 for COD, TSS, and turbidity, respectively. The CCD yielded an optimal dose at pH 4.86 and a time of 26.28 min, with turbidity removal of 66.44%, COD of 64.83%, and TSS of 64.12%. Analysis of the external structure of the Carica papaya seed, before and after treatment, showed significant heterogeneous structural differences at the morphological level.



Keywords: Coagulation-Flocculation, Carica papaya, COD.

# ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN ..... 1

CAPÍTULO I ..... 4

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 4

1.1. Problemática de la investigación ..... 4

1.2. Justificación ..... 7

1.2.1. Justificación ambiental ..... 7

1.2.2. Justificación social ..... 7

1.2.3. Justificación económica ..... 8

1.2.4. Justificación tecnológica ..... 8

1.2.5. Justificación política/institucional ..... 9

1.3. Objetivos ..... 9

1.3.1. Objetivo general ..... 9

1.3.2. Objetivos Específicos ..... 9

1.4. Hipótesis ..... 10

CAPÍTULO II ..... 11

2. FUNDAMENTO TEORICO ..... 11

2.1. Antecedentes ..... 11

2.2. Marco teórico ..... 14

2.2.1. Industria Textil ..... 14

2.2.2. Tratamiento de efluentes provenientes de la industria textil. ..... 16
2.2.3. Sistemas coloidales ..... 17
2.2.4. Carica papaya ..... 19
2.3. Marco legal ..... 26
CAPÍTULO III ..... 28
3. METODOLOGÍA ..... 28
3.1. Tipo y nivel de Investigación ..... 28
3.2. Diseño de la Investigación. ..... 28
3.2.1. Variables ..... 28
3.3. Materiales y Equipos ..... 29
3.3.1. Materiales ..... 29
3.3.2. Insumos y Reactivos ..... 30
3.3.3. Equipos ..... 31
3.3.4. Software ..... 31
3.4. Métodos de Investigación ..... 32
3.4.1. Determinar las condiciones experimentales para la obtención del coagulante natural eficiente a base semilla de Carica papaya para la remoción de DQO y SST, aplicando secado a temperatura (estufa) y secado en frio (liofilización). ..... 32
3.4.2. Caracterizar el efluente textil proveniente de la industria del hilado de fibra de alpaca colectado mediante muestreo aleatorio, en términos de DQO, turbidez y SST. ..... 35
3.4.3. Determinar la eficiencia del agente activo presente en la semilla Carica papaya, analizando la turbidez, SST y DQO residual, mediante un diseño factorial cribado, utilizando el software DesignExpert-13, para obtener la optimización de dicho coagulante naural. ..... 39

3.4.4. Evaluar la eficiencia de Carica papaya como coagulante natural en la remoción de SST, turbidez y DQO, presente en un efluente textil, considerando el análisis estadístico establecido previamente, y su posterior análisis con respecto a los VMA establecido en el DECRETO SUPREMO Nº 010-2019-VIVIENDA. ..... 42

CAPÍTULO IV ..... 44

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ..... 44

*4.1. Eficiencia de la Carica papaya como coagulante en la remoción de turbidez.* ..... 45

4.2. Caracterización del efluente textil ..... 47

4.3. Diseño factorial fraccionado (cribado) ..... 48

4.3.1. Diagrama de PARETO ..... 50

4.3.2. Análisis ANOVA ..... 52

4.3.3. Estadística de ajuste diseño factorial fraccionado (cribado) ..... 54

4.4. Optimización del diseño factorial fraccionado (cribado) ..... 54

4.5. Optimización del factor de turbidez ..... 56

4.6. Optimización del Factor DQO ..... 60

4.7. Optimización del parámetro SST ..... 63

4.8. Capacidad predictiva y limitaciones. ..... 68

4.9. Cumplimiento normativo ..... 68

4.10. Modelo superficie de respuesta 3D para turbidez DQO y SST ..... 69

4.11. Caracterización morfológica ..... 73

4.12. Análisis comparativo entre diferentes coagulantes naturales. ..... 74

CAPITULO V ..... 77

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 77

5.1. Conclusiones ..... 77

5.2. Recomendaciones ..... 78

CAPÍTULO VI..... 79

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 79

## ÍNDICE DE TABLAS


Tabla 1 *Clasificación Taxonómica de Carica papaya.* ..... 20

Tabla 2 *Caracterización físico química de la Carica papaya, estableciendo los rangos de los valores encontrados.* ..... 22

Tabla 3 *Variables dependientes e independientes* ..... 28

Tabla 4 *Volumen de solución estándar KHP* ..... 37

Tabla 5 *Factores utilizados en el diseño factorial fraccionado (cribado)* ..... 40

Tabla 6 *Distribución del diseño factorial fraccionado* $2^{5-1}$ ..... 41

Tabla 7 *Factores con mayor influencia* ..... 42

Tabla 8 *Parámetros iniciales efluente textil* ..... 47

Tabla 9 *Resultado del diseño factorial fraccionado cribado* ..... 49

Tabla 10 *Análisis ANOVA del factorial turbidez* ..... 53

Tabla 11 *Ajuste estadístico* ..... 54

Tabla 12 *Optimización mediante diseño central compuesto* ..... 55

Tabla 13 *ANOVA de la optimización de del factor turbidez* ..... 56

Tabla 14 *Ajuste estadístico optimización de turbidez* ..... 57

Tabla 15 *ANOVA de la optimización de del factor DQO* ..... 60

Tabla 16 *Ajuste estadístico de la optimización de DQO* ..... 61

Tabla 17 *ANOVA de la optimización de del factor SST* ..... 63

Tabla 18 *Ajuste estadístico de la optimización de SST* ..... 64

Tabla 19 *Parámetros iniciales y finales del efluente textil* ..... 68

Tabla 20 *Comparación de resultados con diferentes coagulantes* ..... 75

Tabla 21 *DS 010-2019 VIVIENDA* ..... 109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Obtención del coagulante* ..... 34
Figura 2 *Caracterización y test de coagulación – floculación* ..... 39
Figura 3 *Desempeño en la remoción de turbidez a diferentes valores de pH, tanto al proceso de secado a estufa como liofilizado.* ..... 46
Figura 4 *Diagrama de Pareto del diseño factorial fraccionado (cribado)* ..... 51
Figura 5 *Gráficos de diagnóstico para el factor de respuesta turbidez* ..... 59
Figura 6 *Gráficos de diagnóstico para el factor de respuesta DQO* ..... 62
Figura 7 *Gráficos de diagnóstico para el factor de respuesta SST* ..... 66
Figura 8 *Modelo de superficie 3D para turbidez, DQO y SST* ..... 72
Figura 9 *Foto microscopía de la estructura externa de la semilla de Carica papaya antes y después del tratamiento aplicado.* ..... 74
Figura 10 *Muestra de Agua de hilado de lanada de alpaca.* ..... 101
Figura 11 *Semilla de Carica papaya* ..... 102
Figura 12 *Extracción del polvo de semilla de Carica papaya* ..... 103
Figura 13 *Determinación de Humedad* ..... 104
Figura 14 *Parámetros fisicoquímicos.* ..... 105
Figura 15 *Obtención del coagulante semilla de Carica papaya.* ..... 106
Figura 16 *Determinación de SST.* ..... 107
Figura 17 *Determinación de DQO* ..... 108
Figura 18 *Ruta bioquimica* ..... 110
Figura 19 *Calibración test de jarras* ..... 111
Figura 20 *Calibración espectrofotómetro* ..... 112
Figura 21 *Certificado liofilizador* ..... 117

## LISTA DE ABREVIATURAS

GEI: Gases de efecto invernadero

$t_{al}$: Tiempo de agitación lenta en minutos

$t_{ar}$: Tiempo de agitación rápida en segundos

$t_s$: Tiempo de sedimentación

R: Remoción

H: Contenido de humedad

CCD: Diseño central compuesto

NTU: Unidades nefelométricas de turbidez

DQO: Demanda química de oxigeno

SST: Solidos suspendidos totales

SEM: Microscopia electrónica de barrido

VMA: Valores máximos admisibles

# INTRODUCCIÓN

El agua, recurso primordial para la vida, es un elemento indispensable para los seres vivos, el recurso hídrico es un pilar importante en la política de protección de la salud (World Health Organization, 2022). Las fuentes de agua tienen una gran importancia, sin embargo, en diversas regiones del mundo este recurso es limitado, incluso llegando a tener una escasez extrema. Existen factores que afectan la gestión hídrica tales como el crecimiento poblacional y la transformación de tierras agrícolas a fin de ser destinadas a la producción de biocombustibles, el cambio climático, entre otros aspectos (Prakash Khedun et al., 2026).

Un problema generalizado frecuente y vigente a nivel mundial es la contaminación de los recursos hídricos, generando una amenaza a la sostenibilidad los ecosistemas y la salud humana (Dinov et al., 2026). Los sistemas hídricos son complejos debido a diversos factores que involucran la disponibilidad del recurso, las características de cada cuerpo de agua y su gestión. Las descargas a un cuerpo de agua receptor son complejas y variadas, tales como efluentes industriales, residuos municipales y vertidos agrícolas (Dinov et al., 2026). Con el aumento en la actividad industrial (urbanas y agrícolas), se ha generado una degradación progresiva del recurso hídrico por la incorporación de diversas fuentes (escorrentías agrícolas, aguas residuales y efluentes industriales) (Kamruzzaman et al., 2026).

La industria textil representa una fuente significativa de contaminación hacia los recursos hídricos a nivel mundial, cuando sus efluentes no se disponen de manera adecuada. Esta actividad se encuentra en el puesto tres, referente al volumen de agua utilizado, se estima en un 20 % de la contaminación de recursos a nivel mundial. Los efluentes generados en la industria textil tienen un

complejo tren de tratamiento que incluye la presencia de metales pesados, surfactantes, compuestos orgánicos y colorantes (Cuesta-Mota et al., 2026).

La industria textil en el Perú es de gran importancia, caracterizándose por sus tejidos y confección, esta actividad desarrollada por décadas, cuenta con artesanos que preparan sus propios tintes naturales y por otro lado se encuentran las medianas y altas empresas que de igual forma confeccionan y tiñen (Dorador et al., 2022).

En el Perú la industria textil tiene su originen en la época preincaica, (6000 a.C. – 1450 d.C.), cuando la actividad económica se basaba en la producción de pelos de camélidos, fibra de alpaca y algodón, en la actualidad la industria peruana sigue siendo un gran pilar (Montoya Flores & Salhofer, 2025), el Ministerio de Producción (PRODUCE) indicó que en el mes de Junio del año 2025, el PBI manufacturero creció en 7.3% aportando con 5886 millones de soles, contribuyendo con el 12% al PBI nacional (PRODUCE, 2025). Sin embargo, con la llega de la moda rápida, se ha generado retos en la industria debido a que se tiene un incremento en la demanda de energía, recurso hídrico, materia prima y tierra.

La industria manufacturera produce la mayor cantidad de efluentes contaminados a nivel mundial contando con el 20%, utilizando por tonelada de tela terminad un aproximado de 70 a 200 $m^3$ siendo una textilería de nivel promedio, se calcula que cerca del 80% de estos efluentes generados por la industria textil tiene su destino final en el alcantarillado, ante este problema se ha ido realizando búsquedas a estos efluentes, mediante tratamientos cada vez más amigables con el ambiente (López-Casaperalta et al., 2022).

Para el tratamiento de los efluentes textiles, se utilizan agentes coagulantes, entre los cuales se encuentran las sales de aluminio y hierro, como agentes más usados. Sin embargo, su uso

indiscriminado puede traer consigo enfermedades que afectan al ser humano, como el desarrollo de Alzheimer (Mohamed Noor & Ngadi, 2024). La adquisición de los coagulantes químico suele ser costosa, generando gran cantidad de lodos, ante dichas falencias los coagulantes naturales se presentan como una alternativa viable, debido a que la generación de lodos es baja, no genera residuos tóxicos, su costo es bajo y son abundantes al ser derivados de semillas, plantas, cascaras de frutos, entre otros (Herrera-Linares et al., 2026)

# CAPÍTULO I

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1.Problemática de la investigación

La industria textil a nivel mundial cuenta con gran crecimiento, teniendo una gran influencia en la economía de los países donde esta actividad se desarrolla, sin embargo, el impacto hacia las fuentes de agua es significativo cuando sus efluentes no son tratados adecuadamente para su disposición final (Panhwar et al., 2024). Dicha actividad emplea aproximadamente el 9 % del agua dulce del mundo, trayendo consigo diferentes problemas ambientales, como son la contaminación y escasez del recurso (Arastou et al., 2025). Las aguas residuales que son generadas por la industria textil, se han vuelto un desafío ambiental a nivel global, además del uso excesivo de tintes sintéticos, afectando a la salud e impactando gravemente a los diferentes ecosistemas (Amasa et al., 2025). La producción textil representa el 20 % aproximadamente de la contaminación de agua dulce a nivel mundial (Ariffin & Syahmi Latif, 2025). Esta industria requiere de grandes cantidades de agua, se estima que por un kilogramo de tela teñida se requiere de 100 L de agua aproximadamente (Zevallos et al., 2020). por lo que su dependencia del agua es importante (200 a 270 toneladas de agua para las producciones textiles), a nivel mundial llega a necesitar hasta un aproximado de 79 mil millones de $m^3$ de agua (Raj et al., 2023).

En los países en desarrollo se aplican por lo general tecnologías antiguas u obsoletas, a pequeña escala (Raj et al., 2023). Los principales contaminantes que tienen los efluentes en la industria textil son materia orgánica recalcitrante y/o biodegradable (DQO - DBO), metales pesados y los sólidos suspendidos: compuestos orgánicos, color, biocidas, pigmentos, aceites, y sales (Rendana et al., 2025)

Ante esta problemática es conveniente implementar diferentes tratamientos para lograr cumplir con los requerimientos de la legislación ambiental vigente, procesos fisicoquímicos como los de coagulación y floculación, son fundamentales para la remoción efectiva de partículas suspendidas, coloidales y materia orgánica en aguas residuales (Treviño-Reséndez et al., 2023). Dentro de los coagulantes que tiene un mayor uso se incluyen los coagulantes inorgánicos en base a aluminio y hierro, tales como son el cloruro de polialuminio (PACl) sulfato ferroso, polímeros inorgánicos y orgánicos (Marques et al., 2025).

Ante la elevada contaminación que se viene generando en cuerpos de agua, se busca reducir este impacto aplicando tecnologías sostenibles, tales como procesos de adsorción, electrocoagulación, filtración, coagulación natural, sin embargo los diferentes métodos antes mencionados cuentan con dificultades, la adsorción como la filtración se ven limitados por los parámetros operativos como son la concentración de contaminantes y el caudal del agua, contando con el inconveniente de la saturación del material filtrante y adsorbente, asimismo la reutilización de los materiales mediante desorción llega a ser costoso, por otro lado la electrocoagulación se encuentra condicionado de la disponibilidad de una fuente de energía eléctrica, así como la probabilidad de poder crear un contaminante nuevo por reacciones electroquímicas, en consecuencia los coagulantes naturales al contar con varias ventajas en comparación con lo químicos, como su eficacia debido a que con una dosis baja de coagulante el tiempo de sedimentación se verá incrementada además el tiempo requerido para la coagulación se verá reducido, su capacidad amortiguadora de pH gracias a su alcalinidad, y su capacidad de ser biodegradables (Villabona-Ortiz et al., 2025).

Debido a los altos costos de los coagulantes sintéticos, se ha ido realizando búsquedas de coagulantes naturales aún más rentables, que puedan emplearse en sistemas de tratamiento a gran

escala, con el fin de disminuir el uso de coagulantes químicos y reemplazarlos por coagulantes naturales Getahun, Asaithambi, et al. (2024), esto debido a la variedad de ventajas que presentan, sobre todo su biodegradabilidad, bajo costo y baja generación de lodos (Freitas et al. 2015 y Bwapwa & Mukuna, 2026).

*Carica papaya* es un fruto tropical la cual tiene una alta relevancia en la economía y nutrición, se distinguen por contar con periodos cortos. Con respecto a su producción, a nivel mundial se tiene estimado de más de 13,8 millones de toneladas, sólo en el Perú su producción asciende a 175 mil toneladas (Torres-Herrera et al., 2026). Las semillas de *Carica papaya* se vienen utilizando por generaciones por su uso medicinal, en especial en lugares donde los árboles crecen con abundancia. En pueblos indígenas alrededor del mundo, aprovechan el efectos digestivos y antihelmínticos (ayudan en la eliminación de parásitos intestinales) con los que cuenta la semilla de *Carica papaya* (Khan et al., 2025).

Durante un periodo prolongado de tiempo, se ha ido realizando investigaciones de coagulantes naturales, con el fin de poder sustituirlos por los coagulantes químicos, debidos a sus efectos negativos que llevan consigo, los coagulantes naturales gracias a sus propiedades no son perjudiciales o nocivas, al contrario, son biodegradables y sostenibles. Dentro de los coagulantes naturales obtenidos de materiales de desecho, se tienen *Vicia faba*, *cauti*, *Plantago ovata*, frijoles, quitosano, *Leucaena leucocephala*, *Moringa oleífera*, el polvo de semilla de surjana y al igual que los biocoagulantes antes mencionados, se tienen las semillas de *Carica papaya*. Las industrias desechan las semillas de la papaya en un promedio de (15 a 20) % del peso promedio que presenta la papaya, conteniendo por lo general entre 200 a 400 semillas, dichas semillas cuentan con una cantidad considerable de proteína (27,3 y 28,3) %, la grasa (28.2 y 30,7) % y fibra, la cual oscila entre un (19,1 a 22,6) %. Las semillas de *Carica papaya* presentan un alto contenido de grasas

naturales monoinsaturadas, como es el caso del ácido oleico, además también contienen, polifenoles, alcaloides, taninos, saponinas y flavonoides, que poseen un potente antioxidante y manifiestan propiedades antiinflamatorias (Khee et al., 2023; Hinostroza-Quiñonez et al., 2024).

La presente investigación busca evaluar la eficiencia de este coagulante natural sobre el efluente de una industria textil, considerando parámetros establecidos de acuerdo con los VMA, DS 010-2019 VIVIENDA.

## 1.2.Justificación

### *1.2.1. Justificación ambiental*

La industria textil genera grandes cantidades de efluentes, afectando la calidad del agua. En Arequipa se generan grandes cantidades de aguas residuales sin previo tratamiento, estas llevan consigo, grasas, DQO, $DBO_5$, sulfuros y SST, afectando canales de regadío y sistema de alcantarillado (Zevallos et al., 2020). De acuerdo con lo antes descrito el uso de la semilla de *Carica papaya* como coagulante natural, busca reducir el impacto residual de los contaminantes convencionales presentes en diferentes tipos de efluentes, logrando condiciones favorables para su descarga con valores adecuados establecidos por la normativa ambiental vigente, cumpliendo de igual forma con los ODS 6 y 11.

### *1.2.2. Justificación social*

El acceso a agua limpia y saneamiento es hoy día un gran problema en muchas zonas deprimidas a nivel mundial, de acuerdo con la ONU, 1.100 millones de personas no cuentan con acceso a agua limpia y segura. El principal factor de las enfermedades generadas en muchas poblaciones, provienen precisamente por esta problemática. El 80 % de los padecimientos de problemas de salud, se encuentran relacionadas con la falta de acceso a este recurso hídrico (Yimer

& Dame, 2021). De acuerdo con Kakkar et al., (2025) los coagulantes naturales son una alternativa rentable hacia las zonas rurales, por lo que se podrían implementar en zonas rurales o regiones remotas, siendo beneficioso y rentables, no son tóxicos, su interacción con el usuario es amigable, son de fácil acceso, su mantenimiento es poco o nulo y generan una cantidad de lodos baja, de esta forma se tiene el cumplimiento de los ODS 3, 6 y 11, reduciendo las enfermedades, y brindando un desarrollo a regiones remotas.

### *1.2.3. Justificación económica*

La implementación de la semilla de *Carica papaya* como coagulante natural puede llegar a ser una opción rentable debido a la alta producción de este fruto (175 mil toneladas al año) y la gran generación de semillas, los cuales se pueden utilizar como coagulante natural (Torres-Herrera et al., 2026). Los coagulante naturales vienen siendo una opción más rentable como tratamiento de agua debido a los altos costos de coagulantes químicos Yimer & Dame, (2021), el agua contaminada afecta a la salud mundial. Si se compara el efecto entre coagulantes naturales y sintéticos, la fuente (en el caso de los naturales) es abundante, la gestión de los lodos residuales producidos es aún más rentable y sencilla. El uso de coagulantes sintéticos, podría llegar a ser tóxica afectando la calidad del entorno. (Salas et al., 2018).

### *1.2.4. Justificación tecnológica*

De acuerdo con Muniraj et al. (2023) y Freitas et al. (2015), algunos cambios realizados por el hombre en el ciclo hídrico, ha generado una gran amenaza a la calidad de recurso hídrico, debido a esto, la aplicación de coagulantes químicos ha constituido una solución a pesar de su toxicidad y efectos nocivos. Las tecnologías actuales buscan mejorar el protocolo convencional implementando tecnologías más limpias, no tóxica, biodegradable, a bajo costo, con una

producción de lodos baja junto con una eliminación sencilla, estando en concordancia con los ODS 9 y 11.

### *1.2.5. Justificación política/institucional*

De acuerdo con Worku & Abate, (2025) en el ámbito político institucional, frente la necesidad de tratar los efluentes textiles, los coagulantes naturales, son un método eficaz en la reducción de parámetros como DQO, SST, turbidez. Los coagulantes naturales van a abordar el desarrollo de la sostenibilidad, esto constituye un avance hacia la aplicación a industrias, sin embargo, se deberá generar políticas públicas que ayuden al mejoramiento continuo del entorno, sustituyendo el uso de coagulantes sintéticos por coagulantes o coadyuvantes naturales y crear leyes que protejan a los cuerpos de aguas, buscando una mejora en la normativa ambiental y cumpliendo de esta forma con los ODS 6 y 12.

## 1.3.Objetivos

### *1.3.1. Objetivo general*

Evaluar la eficiencia del agente activo presente en la semilla de *Carica papaya* como coagulante natural en el tratamiento de residuos líquidos provenientes del hilado de fibra de alpaca.

### *1.3.2. Objetivos Específicos*

- Determinar las condiciones experimentales para la obtención del coagulante natural eficiente a base semilla de *Carica papaya* para la remoción de DQO y SST, aplicando secado a temperatura (estufa) y secado en frio (liofilización).
- Caracterizar el efluente textil proveniente de la industria del hilado de fibra de alpaca colectado mediante muestreo aleatorio, en términos de DQO, turbidez y SST.

- Determinar la eficiencia del agente activo presente en la semilla *Carica papaya*, analizando la turbidez, SST y DQO residual, mediante un diseño factorial fraccinado cribado, utilizando el software DesignExpert-13, para obtener la optimización de dicho coagulante natural.
- Evaluar la eficiencia de *Carica papaya* como coagulante natural en la remoción de SST, turbidez y DQO, presente en un efluente textil, considerando el análisis estadístico establecido previamente, y su posterior análisis con respecto a los VMA establecidos en el DECRETO SUPREMO Nº 010-2019-VIVIENDA.

### 1.4. Hipótesis

Debido a la gran generación de efluentes contaminados provenientes de la industria de hilado de fibra de alpaca, la semilla de la *Carica papaya*, es una alternativa viable que posee componentes activos para remover ciertos agentes contaminantes, siendo altamente probable que su aplicación como coagulante natural sea potencialmente eficiente para su tratamiento, en la reducción de parámetros como DQO y SST en dichos efluentes.

# CAPÍTULO II

## 2. FUNDAMENTO TEORICO

### 2.1.Antecedentes

Getahun et al. (2024) establecieron las diferentes posibilidades para tratar aguas residuales generadas en la industria del café utilizado un mezclado de tres diferentes coagulantes naturales *Moringa stenopetala B. Acanthus sennii C.*, y *Aloe vera L*, para la realización del tratamiento, se utilizó un test de jarras y se generó una prueba por lotes requiriendo de 4 vasos precipitados de 1 L. En dichos tratamientos se evaluaron parámetros tales como: mezcla rápida, lenta y sedimentación, para la agitación rápida se ajustó el test de jarras a 150 rpm por 2 min, para la dispersión de la mezcla posterior a esto la agitación lenta fue de (30-40) rpm por un tiempo de 15 min y se dejó sedimentar por una hora. La medición de DQO se realizó por el método estándar de "The American Public Health Association" (APHA). Los resultados obtenidos en el estudio confirman la eficacia de los coagulantes naturales para el correcto tratamiento de aguas residuales, si bien la evaluación inicial del agua residual indico un nivel alto de contaminación, al realizar el tratamiento, se generó una reducción de DQO del 98.41%.

Adimachukwu et al. (2025), evaluaron el tratamiento de efluentes de acuicultura, utilizando *Cyperus esculentus*, como coadyuvante natural dado a que brindan opciones ecológicas y económicamente viables para el tratamiento de agua. En los tratamientos, se realizó el test de jarras, estableciendo volúmenes de 400 mL de agua residual, los parámetros medidos fueron pH, turbidez, DQO y SST, los cuales contaban con valores elevados, los resultados indicaron una reducción del 97.8 % en turbidez, 96 % en SST y 84 % en DQO. El estudio realizado demuestra la eficacia que tienen los biocoagulantes.

Freitas et al., (2015) evaluaron la *Abelmoschus esculentus* como coagulante natural, comparándolo con un coagulante químico siendo este el cloruro férrico, se llevaron a cabo diferentes ensayos en pruebas de jarras con el fin de optimizar el proceso, dentro del proceso fueron evaluadas, las dosis de coagulante, pH, turbidez, DQO y color. Para la realización del proceso de coagulación floculación se utilizó un test de jarras, el ensayo se realizó en vasos precipitados de 500 mL, se usaron volúmenes de 250 mL de agua residual textil, la velocidad de agitación rápida fue de 120 rpm por 30 seg. seguidamente la velocidad de agitación lenta fue de 20 rpm por 15 min, añadiendo antes de la agitación el coagulante. Las pruebas indicaron un nivel de remoción significativo, removiendo un 85,69 % de DQO, 93,57 % de color y 97,24 % de turbidez, empleando una baja dosis del mucilago de okra.

Benalia et al. (2024) utilizaron como coagulante natural a Aloe vera, se requirieron los componentes activos, para esto fueron extraídos y purificados, en dos partes, en su pretratamiento se realizó la limpieza un secado a temperaturas que no excedan los 50°C, posterior se realizó la molienda y el tamizado, subsiguiente se mezclaron agua destilada con una masa de polvo coagulante. Para el experimento se utilizaron agua residual que contaba con 204 de NTU y 240 mg/L de SST. Para el experimento se usó un test de jarras y se generó una optimización a esto, se realizaron dos tipos de agitación, agitación rápida que tuvo una duración de 3 min a 160 rpm, tras ello una agitación lenta por 15 min a 30 rpm, para poder medir los resultados, se dejó sedimentar por 30 min, tras esto, se obtuvo una gran remoción en SST y turbidez, teniendo un 92,29 % de remoción para turbidez y 98,45 % en SST.

Amran et al. (2022) realizaron un estudio sobre *Carica papaya* como coagulante natural, estudio en el cual se buscó determinar el efecto principal y las interacciones que tiene el pH, dosis del coagulante y la turbidez, para esto se realizó un test de jarras, donde se realizó una agitación

rápida a 250 rpm por 3 min, posteriormente una agitación lenta por 15 min a 30 rpm, dejando que sedimente por 30 min, tras realizar la interacciones se obtuvo que la interacción entre la turbidez inicial y el pH genero la mayor interacción con 97.2 % de remoción de turbidez.

Unnisa & Bi, (2018) reportaron en su artículo, que ante las deficiencias que tiene los coagulantes químicos, se realizaron optimizaciones de variables como los SDT, pH turbidez, recuento de *E. coli* y coliformes con el fin de poder aumentar la eficiencia del coagulante, de forma experimental mediante test de jarras se evaluó la proteína de la semilla de papaya como coagulante natural, desinfección solar y alumbre. En la prueba de jarras se realizó la agitación rápida entre (200-250) rpm por (2–3) min y una agitación lenta de (30-40) rpm por (12-15) min dejando sedimentar por 60 min. Tras este proceso se obtuvo la mitigación tanto de bacterias como de turbidez, obteniendo casi un 100 %.

Amran, Zaidi, Muda, et al. (2021), evaluaron el desempeño de *Carica papaya* como coagulante natural para tratar aguas de ríos, se le realizó pruebas en el FTIR con el fin de determinar los grupos funcionales que fueron OH, C=O y CO junto con un contenido proteico de 363 mg/g, para la determinación de dosis y de valores óptimos de pH, se realizaron ensayos en el test de jarras, usando una velocidad de agitación rápida por 3 min a 250 rpm, seguidamente una lenta a 30 rpm por 15 min, dejando sedimentar por 30 min, obteniendo una remoción de turbidez de 87.6 % además del 62,1 % de remoción e coliformes totales y E. coli.

Yimer & Dame, (2021), reportaron que ante los altos costos que tiene los coagulantes químicos, obliga a que comunidades rurales recurran a utilizar aguas superficiales, las cuales por lo general llegan a tener una baja calidad siendo un foco infeccioso, ante esto se planteó utilizar la semilla de la papaya para evaluar la eficacia que tiene para remover turbidez y coliformes totales en agua de rio, para el tratamiento se utilizó el test de jarras, los valores iniciales que tiene el agua

de rio fue de 392,7 NTU en turbidez, una vez realizado el tratamiento por test de jarras, se obtuvo un reducción del 96,32% de coliformes totales y un 96,19 % de turbidez.

## 2.2.Marco teórico

### *2.2.1. Industria Textil*

#### 2.2.1.1. Problemáticas en la industria textil

En la industria textil se elaboran diferentes tipos de textiles, dentro de ellas se tienen las fibras naturales como son, lana, yute, la seda y algodón, también fibras artificiales-sintéticas como el nailon, acrílico, poliéster y polipropileno (Ponnusamy Senthil Kumar et al., 2017). Las industrias tras la producción generan en muchos casos, una gran cantidad de aguas sin tratar que son descargadas al alcantarillado o a cuerpos de agua estas aguas llegan a tener una gran concentración DQO, SST y DBO (Ponnusamy Senthil Kumar et al., 2017).

Ante la demanda de la moda rápida, se ha tenido un incremento en el sector textil, generando que la demanda de agua que antes se requería en las textilerías, incremente generando un mayor impacto ambiental, además de llevar consigo una gran consumo hídrico y reduciendo la biodiversidad, esto se genera por el alto uso de químicos empleados en el proceso textil húmedo como agentes titulantes y tintes (Tomasi et al., 2026).

En los procesos de enjuague y teñido se tiene un gran uso del recurso hídrico, generando grandes volúmenes de aguas residuales, dichas aguas corresponden entre los (17-20)% de aguas industriales contaminadas (Tomasi et al., 2026).

#### 2.2.1.2. Fibra de alpaca

En los Andes de Perú, Ecuador, Bolivia, al noroeste de Argentina y en el norte de Chile, es criada la alpaca en altitudes que oscilan entre los (3000-4800) m.s.n.m. La población de alpacas aumentó hasta superar los 6 millones de individuos. Siendo Perú el mayor país con población de alpacas contando con un 71.7 %, siguiendo Bolivia con un 8.6 %, con 8.2% Australia, Estados Unidos con 5.8% y países europeos con un 2.5% (Bartl et al., 2023).

#### 2.2.1.3. Problemática del vertido inadecuado de los efluentes textiles

La industria textil genera efluentes que al no ser tratados adecuadamente impactan al medio ambiente debido a que estas aguas llevan consigo una cantidad significativa de colorantes textiles, los colorantes más utilizados son los azoicos, los cuales tienen entre uno a más grupos azo en su estructura, estos representan el grupo de mayor proporción un 60 %. Los colorantes que llegan a ser vertidos a los cuerpos de agua generan que la penetración de la luz se vea reducida, afectando al desarrollo de plantas acuáticas y algas, desencadenando la disminución de la fotosíntesis, por otro lado, si otros seres vivos ingieren dichos colorantes, van a generar intermediarios tóxicos, afectando tanto a la salud del individuo como al depredador. En los humanos estos residuos pueden llegar a ocasionar irritaciones, dermatitis, tumores malignos y alergias (Al-Tohamy et al., 2022).

#### 2.2.1.4. Impacto negativo de la DQO y SST en cuerpos de agua.

La DQO constituye un factor clave en el tratamiento de aguas residuales, se mide con el fin de describir la cantidad de contaminación orgánica presente en las aguas residuales, el vertido de aguas con presencia de DQO va a contar con impactos negativos, generando la proliferación de microbiana, generar una reducción en el intercambio iónico (Meng et al., 2018).

Los SST, constituye un parámetro que se mide al realizar un estudio de calidad de agua, si se llega a obtener un nivel alto de SST, se tendrá un nivel de turbidez elevado, si esta agua llegara a regadíos, generaría un impacto al crecimiento de plantas (Millar et al. 2016 y Ali et al. 2025).

### *2.2.2. Tratamiento de efluentes provenientes de la industria textil.*

#### 2.2.2.1.Tratamiento convencional de efluentes residuales textiles

La industria textil es una de las más grandes y con mayo trayectoria, debido a que su mayor producción se da en las fibras naturales y sintéticas, debido a la aparición de la moda rápida, se ha venido generando un incremento en el sector textil, aumentando de esta forma la cantidad del recurso hídrico utilizado, generando una mayor contaminación hídrica, la industria textil contribuye generando entre (2-10)% de emisiones de GEI (Tomasi et al., 2026).

#### 2.2.2.2. Coagulación Floculación

El proceso de coagulación floculación se emplea por lo general en los tratamientos primarios de aguas residuales, los coagulantes son sustancias que crean cargas iónicas en las soluciones diferentes a las que se encuentran en las aguas turbias residuales, los coagulantes van a generar que las atracciones de moléculas coloidales sean neutralizadas, produciendo una masa gelatinosa y espesa denominada conglomerado. Por otro lado, la floculación va a generar un incremento en la densidad de las partículas y en la masa, teniendo como resultado una mayor velocidad de sedimentación de partículas. Los compuestos químicos que cuentan con una carga positiva son por lo general los que más se ponen a prueba en el tratamiento de aguas residuales y agua potable. Habitualmente los coagulantes a base de polímeros o metales son denominados químicos, por otro lado, los polímeros que cuentan con una carga negativa, en especial los

floculantes que tiene un peso molecular alto son implementados en el tratamiento de aguas (Kakkar et al., 2025).

Uno de los métodos convencionales empleado para tratar aguas residuales es el de coagulación floculación, el cual implica el uso de coagulantes químicos (polialuminio, alumbre, polialuminio y el cloruro férrico $FeCl_3$). Estos proceso conllevan a tener desventajas, dentro de las cuales se encuentra la generación de grandes cantidades de lodos de difícil biodegradación (Koul et al., 2022).

#### 2.2.2.3. Coagulantes naturales

Considerando las dificultades a nivel mundial en relación a la aplicación de tratamientos químicos en aguas, se ha investigado acerca de diferentes estrategias con el fin de reducir los impactos negativos que presentan estos coagulantes. Ante esto se ha generado un paradigma entorno a los tratamientos de aguas residuales, lo que ha incentivado el desarrollo de una cultura ambiental en sus operaciones unitarias, aplicando principios de desarrollo sostenible. Entre estos cambios se tiene la sustitución de productos químicos a cambio de sustancias naturales en los tratamientos de aguas, lo que ha traído consigo que los impactos generados por los productos químicos se reduzcan en términos de gestión consumo y producción. Los coagulantes naturales pueden ser polímeros catiónicos, aniónicos e incluso neutros, son rentables y seguros, debido a que, en compasión con los coagulantes químicos, los coagulantes naturales no van a generar una carga metálica, la generación de lodos es baja, y su costo de su disposición final es más sencillo (Koul et al., 2022).

### *2.2.3. Sistemas coloidales*

Los sistemas coloidales son aquellas impurezas que se encuentran suspendidas en los efluentes, encontrándose en estado disperso, constituyen una fracción móvil la cual vincula los materiales disueltos con los particulado, sus propiedades son complejas y heterogéneas (Dawood et al. 2024; Xinxin Fan et al. 2026). El comportamiento que se tiene en los sistemas coloidales se ve determinado por las fuerzas que actúan en el sistema, dichas fuerzas operan para regular el comportamiento de fase de las partículas coloidales (dos Santos, 2024).

#### 2.2.3.1. Partículas coloidales

Las partículas coloidales se encuentran en aguas residuales y superficiales, se conforman por limo, plancton, macromoléculas entre otros. Dichas partículas coloidales (0,001-10) $\mu$m, tienen una velocidad de sedimentación baja, esto se da por el contacto que tienen con otras partículas de igual o similar carga. De acuerdo con dos Santos, (2024) las fuerzas que interactúan en las cargas coloidales son las fuerza de van der Waals y la repulsión electrostática obteniendo la asociación entre dos partículas. Las partículas coloidales tienen carga negativa generando que tenga un interacción con la cargas positivas obteniendo un potencial eléctrico (Loor-Moreira et al., 2021).

#### 2.2.3.2.Doble capa eléctrica y capa de Stern

Las partículas coloidales cuentan con una carga superficial los cuales tiene por lo general una carga negativa, en cambio la capa de Stern va a contar con contraiones que tendrán cargas contrarias. En la doble capa se va a ver potenciado el potencial eléctrico llegando a un pico máximo en la capa de Stern, generando una atracción entre partículas (Loor-Moreira et al., 2021).

#### 2.2.3.3. Potencial zeta

El potencial zeta es la diferencia del potencial eléctrico, entre el medio dispersante y la capa de electrolito que acompaña a la macropartícula inducido por el campo eléctrico externo, el

potencial zeta cuando es menor su fuerza de atracción va a ser mayor (González-Tovar et al., 2018).

### *2.2.4. Carica papaya*

#### 2.2.4.1. Origen

La papaya proviene de la familia *Caricaceae,* el género carica se le denomina como monoespecífica debido a que solo cuenta con una sola especie *Carica papaya*, siendo esta la más representativa dentro de la familia *Caricaceae,* por lo que es una especie resiliente y cuenta con una gran distribución (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2023)

*Carica papaya,* es una especie que puede desarrollarse y crecer alrededor de todo el territorio peruano, teniendo una variedad en su intensidad, la presencia de *carica papaya* se registró, en 17 departamentos del Perú (Lima, La libertad, Ancash, Pasco, San Martín, Ayacucho, Lambayeque, Cusco, Anchas, Huánuco, Piura, Junin, Loreto, Madre de Dios, Amazonas, Ucayali, Apurímac, Cajamarca). En Perú se tiene una gran distribución de la papaya, teniendo un rango que abarca desde la franja costera, la amazonia y diferentes zonas de los Andes, teniendo mayor presencia en los valles interandinos, superficies de terrazas, laderas.

En Perú se cuentan con ocho regiones naturales en base a sus pisos altitudinales, *Carica papaya* la podemos encontrar en diferentes regiones naturales teniendo en cuenta su nivel de adaptabilidad y su requerimiento específico, con el fin de cumplir con lo necesario que requiere la especia para poder desarrollarse óptimamente y crecer, considerando los pisos altitudinales, condiciones climáticas, topografía, tipo de suelo, entre otros. La *Carica papaya* se puede encontrar en las regiones naturales: rupa rupa, yunga, chala y omagua. El menor número de prospecciones de la especie a nivel de departamento, se registró en Lima, Apurímac, Anchas y Cusco, sin

embargo, los departamentos con mayor prospección se generaron en San Martin y la Libertad (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2023).

La papaya en su procesamiento va a contar con un 32 % de pulpa que no se puede utilizar, un 6.5 % de semillas y un 8.5 % de cáscara. A partir de lo previamente expuesto es menester tomar medidas, teniendo como fin reducir la cantidad de residuos que derivan de esta fruta (Amran, Zaidi, Muda, et al., 2021).

#### 2.2.4.2. Taxonomía botánica

La clasificación taxonómica de *Carica papaya* se detalla en la Tabla 1

**Tabla 1**

*Clasificación Taxonómica de Carica papaya.*

| **Categorías** | |
|---|---|
| Reino | *Plantae* |
| Filo | *Magnoliophyta* |
| Clase | *Magnoliopsida* |
| Orden | *Brassicales* |
| Familia | *Caricaceae* |
| Género | *Carica* |
| Especie | *Carica papaya* |

***Fuente***. *INDECOPI, (2021)*

#### 2.2.4.3. Caracterización Botánica

*Carica papaya* es una especie que da un fruto grande carnoso, que es cultivado con en grandes cantidades en los trópicos, contando con una producción anual a escala mundial de 6,5 m,

abarcando un promedio de 400.000 ha, *Carica papaya* en orden de importancia es considerada como la cuarta fruta tropical más importante. *Carica papaya* cuenta con una forma perennifolia, que va entre los (2-8) m de altura, llegando en algunos casos hasta los 10 m, su diámetro va desde la altura del pecho, desde los (6-30) m. Cuenta con copas de forma redondeada y abierta, cuenta con hojas grandes y un peciolo prolongado llegando hasta el metro de largo, su lamina palmeada contiene entre (7-9) lóbulos, de los que se subdividen lóbulos más diminutos, con una consistencia carnosa y gruesa. Las hojas inferiores se encuentran colgando, en cambio las hojas superiores se encuentran extendidas y erectas (INDECOPI, 2021).

El tronco presenta una conformación hueca, erguida y cilíndrica, haciendo una excepción en los nudos, teniendo una mayor contextura en su base, tiene una ausencia de ramificaciones y muestra cicatrices que se aprecian cuando una hoja cae, cuando es joven su crecimiento es monopodico, en cambio cuando madura se ramifica (INDECOPI, 2021).

La corteza es liza con una tonalidad grisácea verdosa, cuenta con manchas pardas o pardo pálido en raras ocasiones, su forma es irregular, presenta lenticelas pequeñas o ausentes, se aprecian cicatrices semicirculares que se encuentran distribuidas por el tronco (INDECOPI, 2021).

Cuenta con flores, bisexuales, estaminadas y pistiladas, presente un cáliz tubular de (8-10) nm verdosos, una corola tubular blanquecina que va entre los (10-20) nm. La disposición de las flores femeninas se da solitarias o agrupadas (5-6), en cambio las flores masculinas se organizan en panículas delgadas (15-20) flores, llegando a tener en ciertos casos hasta 100 de estas por medio de la inflorescencia. Cabe destacar que las flores femeninas llegan a ser más grandes en comparación a las masculinas (INDECOPI, 2021).

Presenta unos frutos que se encuentran en torno al tronco del árbol, las bayas tienen forma elipsoidal, dicho fruto cambia de tonalidad a medida que van madurando, la pulpa que las caracteriza es blanda con un jugo lechoso, su fruto puedes llegar a crecer hasta los 6 cm y a una anchura de (3 - 4.5) cm, el fruto puede llegar a contener un aproximado de (200-400) semillas por unidad. De acuerdo con las condiciones a que se ve sometido el cultivo el fruto puede llegar a variar en su longitud (10 – 50) cm (INDECOPI, 2021).

Su semilla tiene una dimensión de (3,7 – 4.5) nm, el ancho varía entre (2 – 2,5) nm, recubiertas por una capa mucilaginosa (sarcotesta), de forma esférica. La endotesta va a contar con una tonalidad parda negruzca con una superficie arrugada, presenta endospermo. La raíz es un sistema radical pivotante (INDECOPI, 2021).

Cuenta con una sexualidad dioica, hermafroditas, polígamas y monoicas. De acuerdo con las condiciones ecológicas la expresión sexual va a cambiar, estos cambios también pueden deberse a factores ambientales. En la floración es donde se puede determinar el sexo de la planta su número cromosómico es de 2n = 18 (INDECOPI, 2021). La Tabla 2 presenta la *caracterización físico química de la Carica papaya*.

**Tabla 2**

*Caracterización físico química de la Carica papaya, estableciendo los rangos de los valores encontrados.*

| | **Proporción** |
|---|---|
| Calorías | (32 - 45) cal |
| $H_2O$ | (87.1 - 90.8) g |
| Proteína | (0.4 – 0.6) g |

| | |
|---|---|
| Grasa | 0.1 g |
| Carbohidratos totales | (8.3 – 11.8) g |
| Fibra | (0.5 – 0.9) g |
| Ceniza | (0.4 – 0.6) g |
| Ca | (20 - 24) mg |
| P | (15 - 22) mg |
| Fe | (0.3 – 0.7) mg |
| Na | (3 - 4) mg |
| K | (221 - 234) mg |
| Betacaroteno | (710 - 1050) $\mu$g |
| Tiamina | (0.03 – 0.04) mg |
| Riboflavina | (0.03 – 0.05) mg |
| Niacina | (0,3 – 0,4) mg |
| Ácido ascórbico | (52 - 73) mg |

***Fuente.*** INDECOPI, (2021)

#### 2.2.4.4. Distribución geográfica

La distribución geográfica de la *Carica papaya* es bastante amplia, encontrándose en la mayoría de las regiones subtropicales y tropicales. La *Carica papaya* es una especie que tiene su origen en países como: Panamá, Belice, Nicaragua, Guatemala, Venezuela, El Salvador, Colombia, México, Costa Rica, México y Honduras. Posteriormente dicho fruto fue introducido y distribuido a diferentes países tales como; Perú, Brasil, Ecuador, Bolivia, República Dominicana del Congo, India, Guinea-Bissau, Burundi, Ruanda, Guinea, Paraguay, Argentina, Gambia, Camerún, Costa Rica, Kenia, Tailandia, Filipinas, Vietnam, Nigeria, Indonesia, República Dominicana, Colombia,

Costa de Marfil, Cuba, Camboya, Senegal, Etiopia, Gabón, Haití, Jamaica, Camboya, Kenia, Sri Lanka, Trinidad y Tobago, China, Ghana, Malasia, Angola y Bangladesh. De acuerdo con los registros estadísticos de la FOA, *Carica papaya*, tiene una producción mundial anual de 6.8 millones de toneladas, siendo *Carica papaya*, la tercera fruta tropical más producida solo por detrás del mango y de la piña (Ugbogu et al., 2023).

#### 2.2.4.5. Usos y aplicaciones

La *Carica papaya* es un fruto tropical, que se utiliza con fines médicos, se ha utilizado para combatir enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes. También se emplea para favorecer la prevención de la anemia (células falciformes) (Mérida Lira, 2023).

Las semillas de papaya se han aplicado durante décadas en diferentes zonas de Sudamérica y Asia como agente vermífugo, además de utilizarse dentro de la medicina tradicional ayudando a favorecer el flujo menstrual adecuado debido a la presencia del caroteno en la semilla que regula la síntesis de estrógeno. (Parniakov et al. 2015 y Hait et al. 2024).

La semilla de *Carica papaya*, cuenta con proteínas y alcaloides, las cuales tiene una gran relevancia en la medicina, debido a que cuentan con efectos antidiarreicos, antimicrobianos y antihelmínticos (Nghonjuyi et al. 2016 y Panusa et al. 2024).

#### 2.2.4.6. Semilla de *Carica papaya*

Las semillas de *Carica papaya*, cuentan con un valor nutricional por lo que cuenta con un alto contenido en proteínas (27.3 – 28.3) %, fibras crudas (19.1 – 22.6) %, lípidos (28.2 – 30.7) % (Mérida Lira, 2023).

Los monosacárido libres que se encuentran en la semilla de *Carica papaya*, son bajos, la azúcar preponderante es la sacarosa (75% de los azúcares), el contenido de minerales presentes es reducido, no obstante, el Ca (17.340 $\mu$g/g) y P (10.250 $\mu$/g) presentan niveles apreciables (Mérida Lira, 2023).

### 2.3.Marco legal

Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, tiene como objetivo regular la gestión ambiental, mediante principios y normas, con el fin de poder salvaguardar y mantener un ambiente equilibrado y saludable, buscando el desarrollo sostenible con una gestión ambiental adecuada.

Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, este decreto supremo tiene como objetivo poder establecer los parámetros de los VMA Valores Máximos Permisibles, con el fin de poder tener controlado las descargas de aguas residuales al alcantarillado

Decreto Supremo N°017-2015-PRODUCE, este decreto supremo busca fomentar y regular la gestión ambiental, de la misma forma se busca conservar y aprovechar los recursos naturales de forma sostenible para el desarrollo de las actividades manufactureras.

Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, la presente ley tiene como fin el correcto regulamiento y gestión de los recursos hídricos, abarcando aguas continentales, superficiales y subterráneas, la finalidad que tiene esta ley es tener el correcto regulamiento y gestión del agua.

Ley N° 32065 Ley que establece medidas para asegurar el acceso universal al agua potable, esta ley tiene como fin poder implantar medidas para lograr asegurar el acceso universal al agua potable, dándole prioridad a las poblaciones que se encuentra en situación de vulnerabilidad y pobreza.

Ley N° 28245 Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, esta ley establece el correcto cumplimiento de las metas ambientales de las entidades públicas, fortaleciendo la coordinación de los diferentes sectores en la gestión del ambiente.

Safe Drinking Water Act (SDWA), esta ley establece la protección de la calidad del agua potable en los Estados Unidos, esta ley se enfoca en las aguas reales o que son generadas para el uso potable, esta ley establece estándares mínimos para cuidar el agua de grifo.

Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM, el presente decreto supremo establece que si una industria llegará a descargar efluentes hacia un cuerpo de agua deberá de asegurarse que este vertimiento no impacte al medio acuático. Para esto la industria deberá de establecer puntos de monitoreo antes y después del vertimiento, en estos puntos no se deben de sobrepasar los ECA de agua.

Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, esta ley tiene como fin la minimización y valorización, en cuanto respecta a los lodos deberá de ser reutilizada por una empresa operadora de residuos sólidos EO-RS, que se encuentre verificada por el MINAM.

# CAPÍTULO III

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1.Tipo y nivel de Investigación

La presente investigación se clasifica como de tipo ***aplicada***, debido a que de acuerdo con Yimer & Dame, (2021), genera una disminución del uso de los coagulantes químicos intercambiándolos por naturales, ya que son más rentables y amigables con el medio ambiente.

Es de nivel aplicativo debido a que se busca aplicar tratamientos con el uso de la semilla *de Carica papaya* , para determinar la eficacia que tiene como coagulante natural con el fin de ser usada como alternativa en el uso de coagulantes químicos (o coadyuvantes) en el tratamiento de aguas residuales y promover el uso de coagulantes naturales (Adrin et al., 2025).

### 3.2.Diseño de la Investigación.

Se desarrollo un diseño experimental aplicado, manipulándose las variables independientes y evaluando su influencia en las variables dependientes (Singh & Kumar, 2020). La tabla 3 muestra la operacionalización de variables consideradas en este estudio: las variables dependientes (SST residual, DQO residual, turbidez residual) e independientes (pH, dosis de coagulante, velocidad de agitación rápida, velocidad de agitación lenta) que se utilizaron en la presente investigación.

#### *3.2.1. Variables*

**Tabla 3**

*Variables dependientes e independientes*

| Contextualización | Dimensiones | Indicadores | Instrumentos de medida | Unidad de medida |
|---|---|---|---|---|

| Variables independientes | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Parámetros operacionales para el tratamiento de efluentes textiles con *Carica papaya* | pH | Método Potenciométrico | pHmetro | Unidades de pH |
| | Dosis de coagulante | Método gravímetro | Balanza | g, (mg/L y/o mL) |
| | $t_{ar}$ | Test de jarras | Agitador mecánico | min. |
| | $t_{al}$ | Test de jarras | Agitador mecánico | min. |
| Variables dependientes | | | | |
| Parámetros medidos para el tratamiento de efluentes textiles | SST residuales | Método gravimétrico | Balanza | g, mg/L |
| | DQO residual | Método de reflujo abierto | Espectrofotómetro UV - visibles | mg de $O_2$/L |
| | Turbidez residual | Método turbidimétrico | Turbidímetro | NTU |

***Fuente***. *Propia.*

### 3.3.Materiales y Equipos

#### *3.3.1. Materiales*

- Beakers
- Pipetas (10, 5 y 2) mL
- Molino para granos

- Papel filtro (15$\mu$m)
- Botellas de vidrio (100 mL)
- Tamices (425, 300 y 250) $\mu$m
- Fiolas (10, 50 y 100) mL
- Matraces (100, 250) mL
- Embudos (100 mL)
- Espátulas
- Morteros de porcelana
- Bandeja de Aluminio
- Baguetas
- Crisoles
- Desecador de vidrio
- Materiales Biológicos
- Semillas de *Carica papaya*

### *3.3.2. Insumos y Reactivos*

- Agua destilada
- Cloruro de Sodio 99.8% (MERK)
- Sulfato de Aluminio

- Ácido Sulfúrico
- Hidróxido de Sodio
- Dicromato de potasio
- Cromato de potasio

### *3.3.3. Equipos*

- Floculador Digital (VELP SCIENTIFICA-JLT 6)
- Estufa (BINDER-GmbH)
- Balanza Analítica (RADWAG-AS220.R2)
- Analizador de humedad (METTLER TOLEDO-HE73)
- Turbidímetro (HACH-TL2300)
- Potenciómetro/pHmetro (ISOLAB-pH)
- Bomba al vació (ISOLAB -21100631)
- Agitador Magnético (VWR 984VW4CH SEUS)
- Destilador de agua con deposito (GF2 2004)
- Refrigerador “Oster OS-PMB 129WT”
- Microscopio electrónico de barrido (EVO 10MA CARL ZEISS)

### *3.3.4. Software*

- Desing Expert

- Microsoft Office Excel
- Microsoft Office Word

### 3.4.Métodos de Investigación

#### *3.4.1. Determinar las condiciones experimentales para la obtención del coagulante natural eficiente a base semilla de Carica papaya para la remoción de DQO y SST, aplicando secado a temperatura (estufa) y secado en frio (liofilización).*

- **Obtención y extracción de semillas de *Carica papaya***

La obtención de las semillas de *Carica papaya*, se realizó mediante la compra directa de los residuos de la papaya en un mercado de la localidad. Las semillas de *Carica papaya*, se retiraron del mucílago que las recubre, posterior a esto, fueron lavadas con abundante agua destilada y se colocaron en una bandeja metálica, Imagen 3b(Anexo).

- **Comparación de eficiencia para el coagulante.**

Para determinar el mejor grado de eficiencia del coagulante, este fue sometido a dos diferentes tipos de secado, con el fin de reducir la humedad, uno por un proceso de liofilización (baja temperatura) y el otro a estufa (alta temperatura). Para el primer tratamiento de secado, las semillas de *Carica papaya* una vez congeladas a -55°C, fueron colocadas en un liofilizador marca *Telstar* durante 24 h, una vez secas, fueron trituradas y posteriormente se determinó el contenido de humedad usando la balanza de humedad *Mettler Toledo HE73* (Imagen 4).

Para el segundo tratamiento de secado, se colocó una bandeja las semillas de *Carica papaya,* en una estufa marca Binder (60 °C/16 h), posterior a esto se determinó su peso al inicio y final.

- **Determinación de contenido de humedad**

El contenido de humedad (*H*) de acuerdo con Rahmah et al. (2019) se realizó por el método gravimétrico, Ecuación 1

Para la determinación de contenido de humedad se siguió el protocolo establecido por (Hinostroza-Quiñonez et al., 2024), para ello la semilla de *Carica papaya*, se pesó y se colocó en un analizador de humedad marca METTLER TOLEDO-HE73, posterior a esto, la muestra fue llevada a la estufa a 105°C y finalmente se colocó en un desecador para realizar la determinación del contenido de humedad, según la siguiente ecuación.

$$Contenido\ de\ humedad\ (\%) = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ de\ la\ muestra} x\ 100\ \% \qquad (1)$$

*Fuente: Rahmah et al., (2019)*

Para determinar el contenido de humedad, de la semilla de *Carica papaya*, se aplicó el protocolo establecido por Dadhaneeya, H. et al. (2025) y Mittal et al. (2020), se utilizó el equipo de contenido de humedad marca METTLER TOLEDO-HE73, se colocó, 2 g de muestra de los dos tipos de secado y la semilla de *Carica papaya* sin tratamiento, tras haberse evaporado la humedad el dispositivo mostrara automáticamente el contenido de humedad en porcentaje.

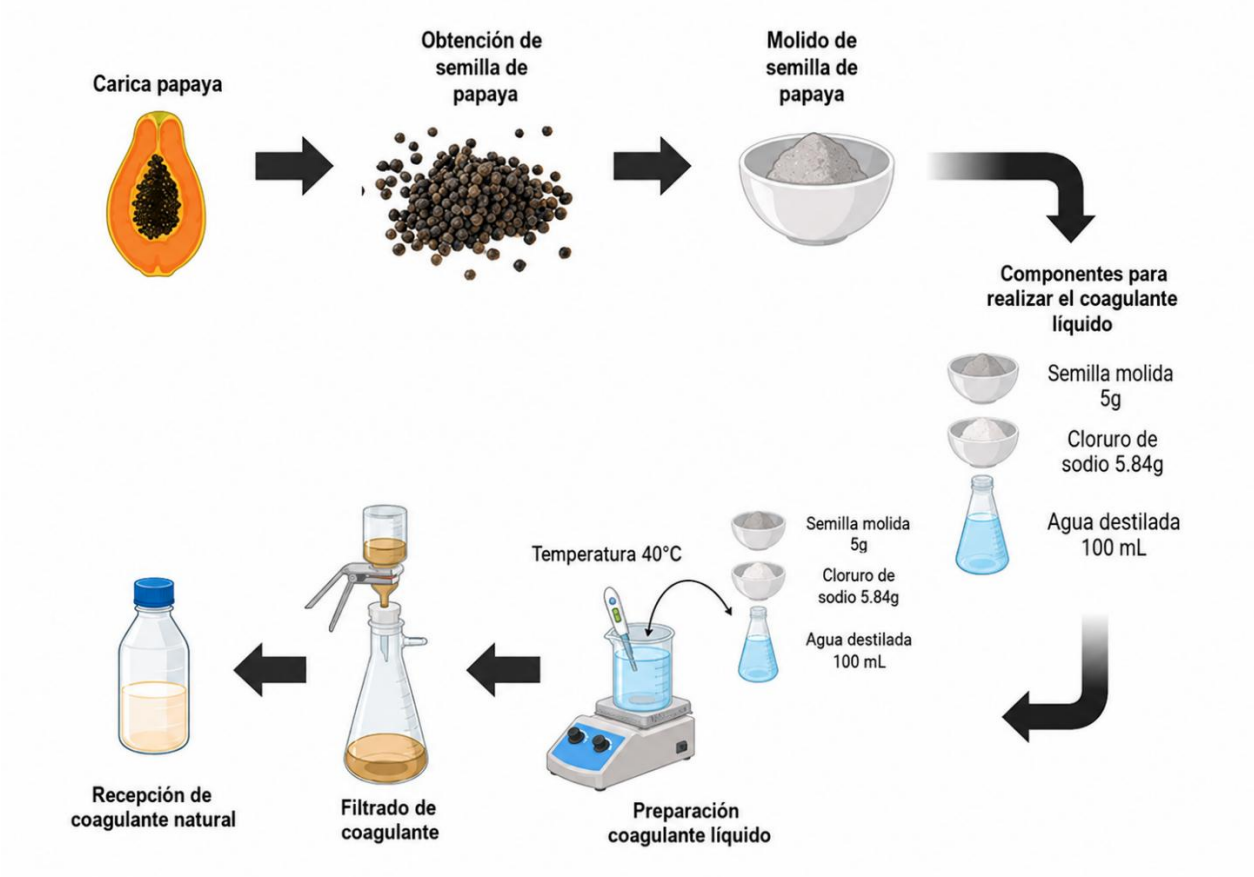
- **Obtención del coagulante**

Para la obtención del coagulante, se molió con ayuda de un mortero las semillas de *Carica papaya*, posterior a esto se envasó el polvo obtenido. El proceso para llevar a fase liquida el coagulante, se realizó de acuerdo a lo establecido por Baquerizo-Crespo et al. (2021) y Mendoza Pary et al. (2026), el coagulante previamente molido fue tamizado se utilizó un tamiz ≤180 $\mu$m, posterior a esto se mezcló con 100 mL de agua destilada en un beaker a 40°C, una vez realizado

dicho paso se debió pesar 5.84 g de NaCl y 5 g del coagulante previamente tamizados, fueron agregados a un beaker de 100 mL y sometidos a agitación por 1 h, finalmente se realizó una filtración a vacío usando una bomba vacío, obteniendo así el coagulante liquido (filtrado), Figura 1. Se utilizó el NaCl como extractor salino con el fin de mejorar la eficiencia de la coagulación, de acuerdo con el protocolo descrito por, Baquerizo-Crespo et al. (2021) y Adrin et al. (2024), los autores reportaron que el agregado de NaCl genera la ruptura de los enlaces proteína-proteína, obteniendo una mejor solubilidad de proteínas con la mayor fuerza iónica, incrementando las proteínas solubles, mejorando la actividad coagulante.

**Figura 1**

*Obtención del coagulante*




***Fuente***. *Propia.*

### *3.4.2. Caracterizar el efluente textil proveniente de la industria del hilado de fibra de alpaca colectado mediante muestreo aleatorio, en términos de DQO, turbidez y SST.*

- **Determinación de coagulación y floculación**

Conforme a lo señalado por Kristianto et al., (2018), para la determinación de coagulación floculación se requirió de 4 beakers de 600 mL, con volúmenes de 500 mL de efluente textil, a diferentes pH (3, 6 y 9). Para poder aumentar y reducir el pH del efluente, se utilizó, solución de $H_2SO_4$ y NaOH. Para la determinación del pH, se empleó el pHmetro marca *ISOLAB laborgeräte GmbH*, Tras establecer el pH de las soluciones, se aplicó el test de jarras usando un agitador mecánico marca *"VELP SCIENTIFICA JLT6 Flocculation tester",* se usó dos tipos de agitación, agitación rápida a (200 rpm/1min) y agitación lenta (60 rpm/30min), posterior a ello se dejó sedimentar por 15 min. El coagulante natural se colocó en los beackers con pH 3, 6 y 9, dejando un blanco (control, sin coagulante). Una vez sedimentado, se retiró el sobrenadante con ayuda de una micropipeta, para la caracterización del efluente textil en términos de turbidez, DQO, SST.

- **Determinación de SST**

De acuerdo con Yahyapour et al., (2014) y Joaquin et al., (2024), se pesó un filtro de membrana de 0.45 μm (**P3**) y se colocó en un crisol rotulado. Una vez pesado se introdujo a la estufa (103 a 105) °C. Posterior al sacado se llevó a un desecador por 15 min. Una vez culminado, el filtro fue colocado en el equipo de filtración al vacío con ayuda de una pinza. La muestra líquida se agitó trasvasando 50 mL en el quita – sato. El proceso de filtración no superó los 10 min. Posteriormente, se separó cuidadosamente el filtro del equipo de filtración con la ayuda de unas pinzas. El filtro con el residuo se ubicó en un crisol limpio y se colocó en la estufa (103-105) °C por 1 h. Luego,

se extrajo el crisol con el filtro de la estufa y fueron llevados al desecador por 15 min. Dichos procesos se ejecutaron hasta obtener un peso constante (**P4**), de acuerdo con la ecuación 2.

$$Solidos\ suspendidos\ totales\ (SST) = \frac{(P4 - P3)\ x\ 10^6}{mL\ de\ muestra} \qquad \textbf{( 2 )}$$

*Fuente: (Yahyapour et al. 2014 y Joaquin et al. 2024)*

P4: Peso del filtro vacío

P3: Peso del filtro + residuo

- **Determinación de cloruros**

Según lo planteado por Colina Andrade et al., (2025), se colocó 0.0141 M de solución estándar de $AgNO_3$, en una bureta. En un matraz Erlenmeyer se agregó 125 mL de efluente textil tratado, teniendo un control de pH que esté en los rangos de 7 a 10 unidades, posterior a esto se colocó 1 mL de $Kr_2CrO_4$. La solución titulante fue $AgNO_3$ anotando el gasto, se tituló hasta que la muestra cambió a un color rosa amarillento. Tras realizado la titulación del blanco y de la muestra, se procedió a aplicar la ecuación 3.

$$mgCl^-/L = \frac{(A\ -\ B)\ x\ N\ x\ 35450}{mL\ de\ muestra} \qquad \textbf{( 3 )}$$

Fuente: *Fuente: Colina Andrade et al. (2025)*

Donde:

A: Volumen de la solución titulante $AgNO_3$(Gasto del titulante)

B: Volumen de la solución titulante $AgNO_3$ (Gasto del blanco)

N: Normalidad de la solución titulante $AgNO_3$ (0.0141 N)

- **Determinación de DQO**

Colina Andrade et al., (2025), señalaron que se debió medir la cantidad de cloruros debido a que si la muestra tuviese una concentración >2000 mg/L de cloruros, generaría errores al realizar las pruebas de DQO.

En la Tabla 4 se presenta la curva de calibración a partir de la solución estándar de KHP

**Tabla 4**

*Volumen de solución estándar KHP*

| Muestra Patrón | Agua Destilada | Concentración (mg/L) |
|---|---|---|
| 5 | 0 | 1000 |
| 3.75 | 1.25 | 750 |
| 2.5 | 2.5 | 500 |
| 1.25 | 3.75 | 250 |
| 0.5 | 4.5 | 100 |
| 0.125 | 4.875 | 25 |
| 0.025 | 4.975 | 5 |

*Fuente: Elaboración propia*

Tras haberse realizado la curva de calibración se colocó los tubos de digestión en gradillas, a la par el bloque de digestión marca *Spectroquant TR 420* se precalentó a 150°C, tras colocarse los volúmenes respectivos en los tubos de vidrio refractarios, se agregó 1.5 mL de $K_2Cr_2O_7$ y 3.5 mL de $H_2SO_4$ y se agitó, teniendo cuidado con la generación exotérmica, los tubos se colocaron en el bloque digestor por 2 h, una vez pasadas las dos horas, los tubos se dejaron enfriando por 30 min. Tras los 30 min transcurridos, se llevaron al espectrofotómetro UV-Vis marca *Thermo Scientific* para medir absorbancias, a una $\lambda$ = 600 nm, se midió con celdas de 1mm. Cuando se

realizaron las mediciones se obtuvo las concentraciones de DQO, para esto se empleó la ecuación 4.

$$C = \frac{A - b}{m} \qquad (4)$$

Fuente: Colina Andrade et al. (2025)

Donde:

C: Concentración de DQO del efluente textil ($mgO_2/L$)

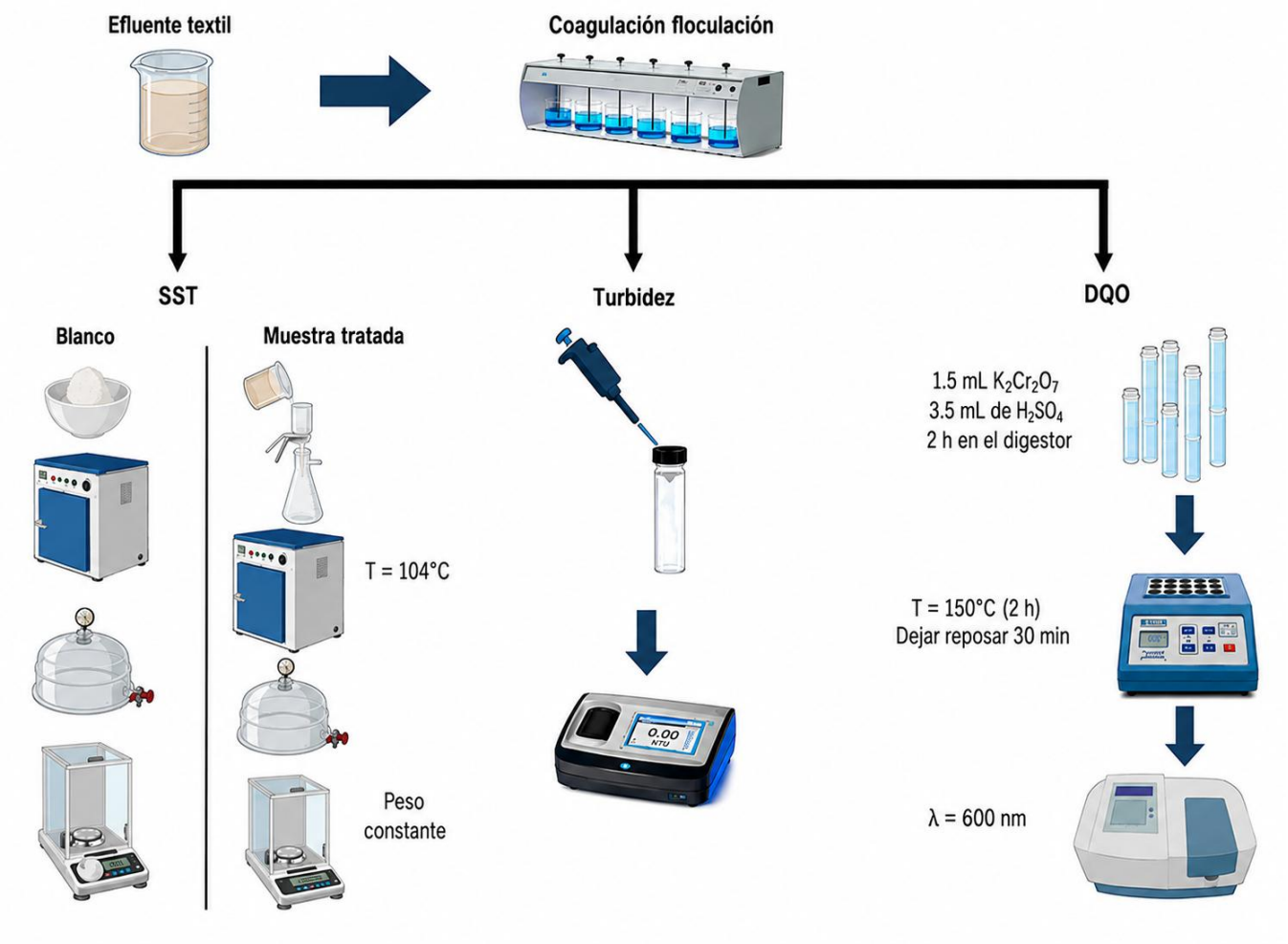
A: Absorbancia de la muestra

b: Intercepto de la curva de calibración

A continuación, se muestra la Figura 2, donde se aprecia la caracterización realizada a efluente textil determinando los parámetros SST, DQO y turbidez.

**Figura 2**

*Caracterización y test de coagulación – floculación*




***Fuente***. *Propia.*

### *3.4.3. Determinar la eficiencia del agente activo presente en la semilla Carica papaya, analizando la turbidez, SST y DQO residual, mediante un diseño factorial cribado, utilizando el software DesignExpert-13, para obtener la optimización de dicho coagulante natural.*

Se realizó una revisión documental posterior a la optimización del diseño central compuesto, donde se comparó los diferentes coagulantes naturales y sintéticos con los resultados obtenidos con la semilla de *Carica papaya*, en función a la reducción de DQO, SST y turbidez.

Para la elaboración del diseño central compuesto se tomó como guía los procedimientos descritos por (Getahun, Asaithambi, et al., 2024 y Getahun, Befekadu, et al., 2024).

Para la determinación de la eficiencia del coagulante natural se utilizó el programa Design-Expert 13, se realizó un diseño factorial fraccionado (cribado) $2^{5-1}$ buscando identificar los factores que tengan mayor influencia en el proceso de coagulación floculación Tabla 5.

**Tabla 5**

*Factores utilizados en el diseño factorial fraccionado (cribado)*

| Factor | Nombre | Unidades | Bajo | Alto |
|---|---|---|---|---|
| A | pH | Unidades de pH | 3 | 9 |
| B | Dosis de coagulante | mL/L | 1 | 4 |
| C | $t_{ar}$ | min | 0.2 | 4 |
| D | $t_{al}$ | min | 10 | 40 |
| E | $t_s$ | min | 15 | 60 |

***Fuente***. *Propia.*

Con la determinación de los factores se colocó como variables de respuesta la remoción de turbidez, con el fin de poder determinar la dosis optima y establecer los factores más relevantes en concordancia con lo indicado por Birhanu & Leta, (2021) quien realizó un estudio preliminar analizando la influencia de diferentes factores para la remoción de turbidez, en la presente

investigación se realizó un diseño factorial fraccionado $2^{5-1}$, dicho experimento se realizó por triplicado, en la Tabla 6 se muestra la distribución generada en el software Design-Expert 13 con un diseño $2^{5-1}$,

**Tabla 6**

*Distribución del diseño factorial fraccionado $2^{5-1}$*

| STD | Run | pH | Dosis mL | Tiempo de agitación rápida ($t_{ar}$), min 200 rpm | Tiempo de agitación lenta ($t_{al}$), min, 60 rpm | Tiempo de sedimentación ($t_s$), min |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 13 | 3 | 1 | 0.2 | 10 | 60 |
| 2 | 1 | 9 | 1 | 0.2 | 10 | 15 |
| 3 | 5 | 3 | 4 | 0.2 | 10 | 15 |
| 4 | 7 | 9 | 4 | 0.2 | 10 | 60 |
| 5 | 10 | 3 | 1 | 4 | 10 | 15 |
| 6 | 16 | 9 | 1 | 4 | 10 | 60 |
| 7 | 9 | 3 | 4 | 4 | 10 | 60 |
| 8 | 6 | 9 | 4 | 4 | 10 | 15 |
| 9 | 3 | 3 | 1 | 0.2 | 40 | 15 |
| 10 | 4 | 9 | 1 | 0.2 | 40 | 60 |
| 11 | 15 | 3 | 4 | 0.2 | 40 | 60 |
| 12 | 2 | 9 | 4 | 0.2 | 40 | 15 |
| 13 | 14 | 3 | 1 | 4 | 40 | 60 |
| 14 | 11 | 9 | 1 | 4 | 40 | 15 |
| 15 | 12 | 3 | 4 | 4 | 40 | 15 |
| 16 | 8 | 9 | 4 | 4 | 40 | 60 |

***Fuente***. *Propia.*

Al realizarse por triplicado el diseño factorial fraccionado $2^{5-1}$ se logró identificar los factores que tiene una mayor relevancia en el diseño, dichos factores serán los optimizados mediante un CCD donde se tomaron puntos axiales conforme lo indica la Tabla N°7.

**Tabla 7**

*Factores con mayor influencia*

| Factor | Nombre | Unidades | Bajo | Alto |
|---|---|---|---|---|
| A | pH | Unidades de pH | 2.17 | 7.83 |
| B | Tiempo de agitación lenta ($t_{al}$) | min | 0.1655 | 46.83 |

***Fuente**. Propia.*

### *3.4.4. Evaluar la eficiencia de Carica papaya como coagulante natural en la remoción de SST, turbidez y DQO, presente en un efluente textil, considerando el análisis estadístico establecido previamente, y su posterior análisis con respecto a los VMA establecidos en el DECRETO SUPREMO Nº 010-2019-VIVIENDA.*

Para la optimización del diseño factorial fraccionado (cribado), se realizó un diseño central compuesto (CCD), se establecieron puntos axiales y medios para la correcta optimización del diseño, de acuerdo con Al-Hanaktah et al., (2026), la utilización de un CCD, es bastante óptimo por lo que se logra identificar las condiciones óptimas en los proceso de coagulación floculación, con un límite de ensayos más limitado. El CCD empleado contó con 13 corridas, y se utilizó 3 variables de respuesta, turbidez (NTU), sólidos suspendidos totales (SST) y demanda química de oxígeno (DQO).

Una vez realizado el diseño factorial fraccionado (cribado) con un diseño factorial $2^{5-1}$, se obtuvo los factores que tuvieron mayor influencia, con los factores obtenidos se realizó un diseño central compuesto (CCD) y se evaluaron como variables de respuesta, turbidez, DQO y SST.

Una vez obtenidos los resultados, se realizó la comparación de los parámetros medidos con los establecidos dentro de la normativa ambiental vigente Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA Anexo 2.

- **Microscopia electrónica de barrido (SEM)**

Para la el análisis SEM, se utilizó como referencia las metodologías de Putra et al., (2026) y Golzadeh et al., (2023), se realizó un análisis antes y después del proceso de coagulación y floculación, para llevar a cabo la prueba, la semilla de *Carica papaya* debió ser triturada llevada a 60°C en una estufa marca BINDER-GmbH por 16 h, posterior se procedió a hacer el proceso de coagulación floculación, se utilizó el mismo tratamiento, quitando el sobrenadante y quedándose únicamente con los flóculos sedimentados, los cuales se colocaron en una placa petri y se dejó en la estufa por 16 h a 60°C. Por último, las muestras fueron encapsuladas y llevadas al laboratorio de microscopia electrónico de barrido marca EVO 10MA CARL ZEISS.

## CAPÍTULO IV

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos fueron reportados en función a los objetivos específicos planteados, para lograr el primer objetivo, se determinaron las condiciones experimentales para la obtención del coagulante natural eficiente a base semilla de *Carica papaya* para la remoción de DQO y SST, aplicando secado a temperatura (estufa) y secado en frio (liofilización).

La determinación del contenido de humedad de la semilla de *Carica papaya* cruda mediante el analizador elemental HE73, fue de 62.09±1.29 % en promedio. Otras determinaciones de las semillas secadas a estufa (60 °C/16 h) y liofilizadas (-55°/24 h) fueron (4.63 ± 0.12 y 5.65 ± 0.05) % respectivamente. De acuerdo con Wei et al. (2026) indicaron que temperaturas mayores a 60°C pueden generar desnaturalización, en la presente investigación no se generaron dichos resultados. Por otro lado Arsiccio et al. (2020) señalaron que el secado mediante liofilizador puede llegar a efectos que desnaturalizan a las proteínas, al generar cristales de hielo, generando un despliegue o desnaturalización de las proteínas.

Gebre et al., (2026) en su investigación señalaron que los subproductos que se generan de las frutas pueden presentar un gran contenido de humedad, indicando que el 84.5% de los subproductos de frutas se encuentran conformados por humedad. El caso de la semilla de *Carica papaya,* es considerada como un recurso biológico con un contenido de humedad abundante (80-90) %, valores reportados por encima a los obtenidos en este estudio. Los valores obtenidos coinciden con el estudio realizado por Cadena-Álava et al. (2024), donde obtuvieron un 5.2 ±0.3 % de humedad después del proceso de secado.

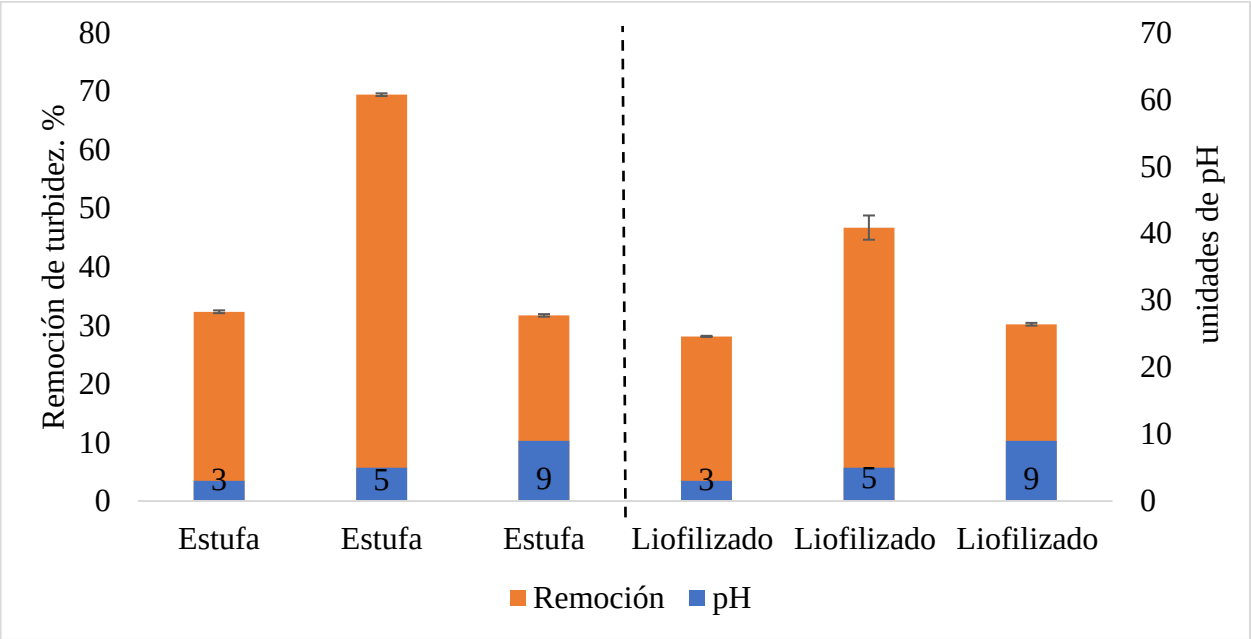
Al-Hanaktah et al., (2025) señalan que un bajo porcentaje de humedad contribuye en la disminución de degradación, por el contrario, un contenido de humedad elevado, incrementa la temperatura y genera una reducción en su calidad fisicoquímica, coincidiendo con lo antes descrito Frumento & Ţălu, (2026) indicaron que una constante exposición a la humedad puede generar la perdida de grupos funcionales activos, despolimerización de polisacáridos incluso la desnaturalización de proteínas. En el estudio de Benalia et al. (2023) indicaron que las proteínas impulsan la coagulación de los coloides, al contar con una cadena larga favorece la generación de puentes junto con las partículas coloidales, propiciando su adsorción, no obstante al exponerse a temperaturas altas se genera la ruptura de los enlaces hidrogeno y proteínas.

### *4.1. Eficiencia de la Carica papaya como coagulante en la remoción de turbidez.*

La Figura 3. Se muestra el desempeño en la remoción de turbidez a diferentes valores de pH, tanto al proceso de secado a estufa como liofilizado.

**Figura 3**

*Desempeño en la remoción de turbidez a diferentes valores de pH, tanto al proceso de secado a estufa como liofilizado.*




Los resultados mostrados en la Figura 3, expresan que una vez se haya sometido la semilla de *Carica papaya* a los métodos de secado (estufa, liofilizador) y a diferentes valores de pH (3,5 y 9), evidencian una mayor remoción bajo condiciones desde secado a estufa. De acuerdo con lo reportado por Mohamed et al., (2015), con el uso de la *Moringa oleífera*, la temperatura óptima para obtener mejores resultados como coagulante fue a 50°C (estufa) al obtenerse la mayor concentración de proteínas. El secado es un factor importante en el desempeño del coagulante debido a que reducen la degradación química y frenan la actividad microbiana, de esta forma se alarga su vida, ya que su funcionabilidad se conservará por meses incluso hasta años (Frumento & Ţălu, 2026).

Por otro lado en el estudio de Bahrodin et al., (2022), utilizaron a la *Saccharum officinarum* donde se llevó a 90°C (estufa) obteniendo una eficiente remoción de turbidez, no obstante en la

investigación desarrollada se utilizó a 60°C (estufa), observándose que se obtuvo una remoción de turbidez del 69.43 ± 0.23 %. Dichos resultados evidenciaron que la temperatura tiene una gran influencia, no obstante, las condiciones experimentales desempeñan un rol importante en el comportamiento del coagulante.

### 4.2.Caracterización del efluente textil

Como respuesta al segundo objetivo se caracterizó el efluente textil proveniente de la industria del hilado de fibra de alpaca colectado mediante muestreo aleatorio, en términos de DQO, turbidez y SST. La frecuencia establecida para el muestreo se realizo por dos criterios, el acceso restringido de la empresa además de lo indicado por Patel & Vashi, (2015) se realizaron muestreo cada dos meses.

La tabla 8, presenta los parámetros fisicoquímicos inicialmente medidos al efluente textil, dichos parámetros fueron fundamentales para la evaluación en la eficiencia de *Carica papaya* como coagulante natural, las muestras se obtuvieron en un muestreo aleatorio, evaluando DQO, SST y Turbidez.

**Tabla 8**

*Parámetros iniciales efluente textil*

| Parámetro | Unidad de medida | Valor inicial | Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA |
|---|---|---|---|
| pH | Unidades de pH | 7 | 6-9 |
| Turbidez | NTU | 1042 | - |
| SST | mg/L | 1194 | 500 |
| DQO | $mgO_2/L$ | 1511.25 | 1000 |

***Nota*** *Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA*

Los valores iniciales del efluente textil cuentan con valores elevados en DQO, SST y turbidez, sobrepasando los valores máximos admisibles (Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA). En la investigación de Sudarshan et al. (2023) se indica un gran potencial contaminante por parte de estos efluentes, generando que la descarga de dichos efluentes a cuerpos de agua sin un tratamiento adecuado, comprometerá los ecosistemas aledaños, impactando en la penetración de la luz, generando la alteración en la fotosíntesis, disminuyendo el oxígeno disuelto e impactando en la biota de los ecosistemas acuáticos, al contar con valores altos de COT, DQO, SST, (Hernández-Zamora & Martínez-Jerónimo 2019; Ennadi et al. 2026). Aragaw & Bogale (2023) en su investigación indicaron que los coloides se encuentran presentes en los efluentes como partículas, con un tamaño de (1 – 1000) nm, constituyen una fracción de turbidez, DQO, color, DBO de aguas residuales, poseen una carga eléctrica respecto a su medio, una corriente eléctrica genera la migración de partículas positivas al ánodo y las negativas al cátodo, generando la obstrucción en cañerías, filtros y tuberías

En el estudio de Zevallos et al. (2021) se indicó que los efluentes textiles contienen un gran contenido de materia orgánica, DQO, DBO, sales, sulfuros, grasas que afectan negativamente a sistemas de regadíos, canales de alcantarillado, entre los parámetros fisicoquímicos reportados se registraron los siguiente valores: 1407.9 mg/L(DQO), 526.96 NTU (turbidez), 608 mg/L (SST), 7.65 (pH), dichos datos exceden los VMA al igual que los valores iniciales reportados en la presente investigación.

### 4.3. Diseño factorial fraccionado (cribado)

La Tabla 9 muestra el resultado del diseño factorial fraccionado cribado aplicado al efluente textil, considerando las variables de estudio (pH, dosis del coagulante, agitación y tiempo de sedimentación).

**Tabla 9**

*Resultado del diseño factorial fraccionado cribado*

| Std | Run | Factor 1: pH | Factor 2: Dosis de Coagulante | Factor 3: $t_{ar}$ | Factor 4: $t_{al}$ | Factor 5: $t_s$ | Response 1: Turbidez % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 9 | 1 | 0.2 | 10 | 15 | 19.67 ± 0.22 |
| 12 | 2 | 9 | 4 | 0.2 | 40 | 15 | 33.06 ± 0.13 |
| 9 | 3 | 3 | 1 | 0.2 | 40 | 15 | 49.57 ± 0.37 |
| 10 | 4 | 9 | 1 | 0.2 | 40 | 60 | 32.62 ± 0.28 |
| 3 | 5 | 3 | 4 | 0.2 | 10 | 15 | 47.79 ± 0.26 |
| 8 | 6 | 9 | 4 | 4 | 10 | 15 | 21.61 ± 0.19 |
| 4 | 7 | 9 | 4 | 0.2 | 10 | 60 | 18.28 ± 0.21 |
| 16 | 8 | 9 | 4 | 4 | 40 | 60 | 31.40 ± 0.35 |
| 7 | 9 | 3 | 4 | 4 | 10 | 60 | 49.24 ± 0.24 |
| 5 | 10 | 3 | 1 | 4 | 10 | 15 | 49.13 ± 0.12 |
| 14 | 11 | 9 | 1 | 4 | 40 | 15 | 28.46 ± 0.15 |
| 15 | 12 | 3 | 4 | 4 | 40 | 15 | 49.50 ± 0.25 |
| 1 | 13 | 3 | 1 | 0.2 | 10 | 60 | 44.29 ± 0.29 |
| 13 | 14 | 3 | 1 | 4 | 40 | 60 | 49.56 ± 0.18 |
| 11 | 15 | 3 | 4 | 0.2 | 40 | 60 | 49.76 ± 0.27 |
| 6 | 16 | 9 | 1 | 4 | 10 | 60 | 27.37 ± 0.30 |

***Fuente****. Propia.*

Se ha aplicado un diseño $2^{5-1}$, con dos niveles y cinco factores. Se registró una variación en la remoción de turbidez (factor de respuesta evaluado). Dentro de las 16 corridas, se evidenció que en la corrida 15 se obtuvo la mayor cantidad de remoción de turbidez (R= 49.76 ± 0.27 %) a

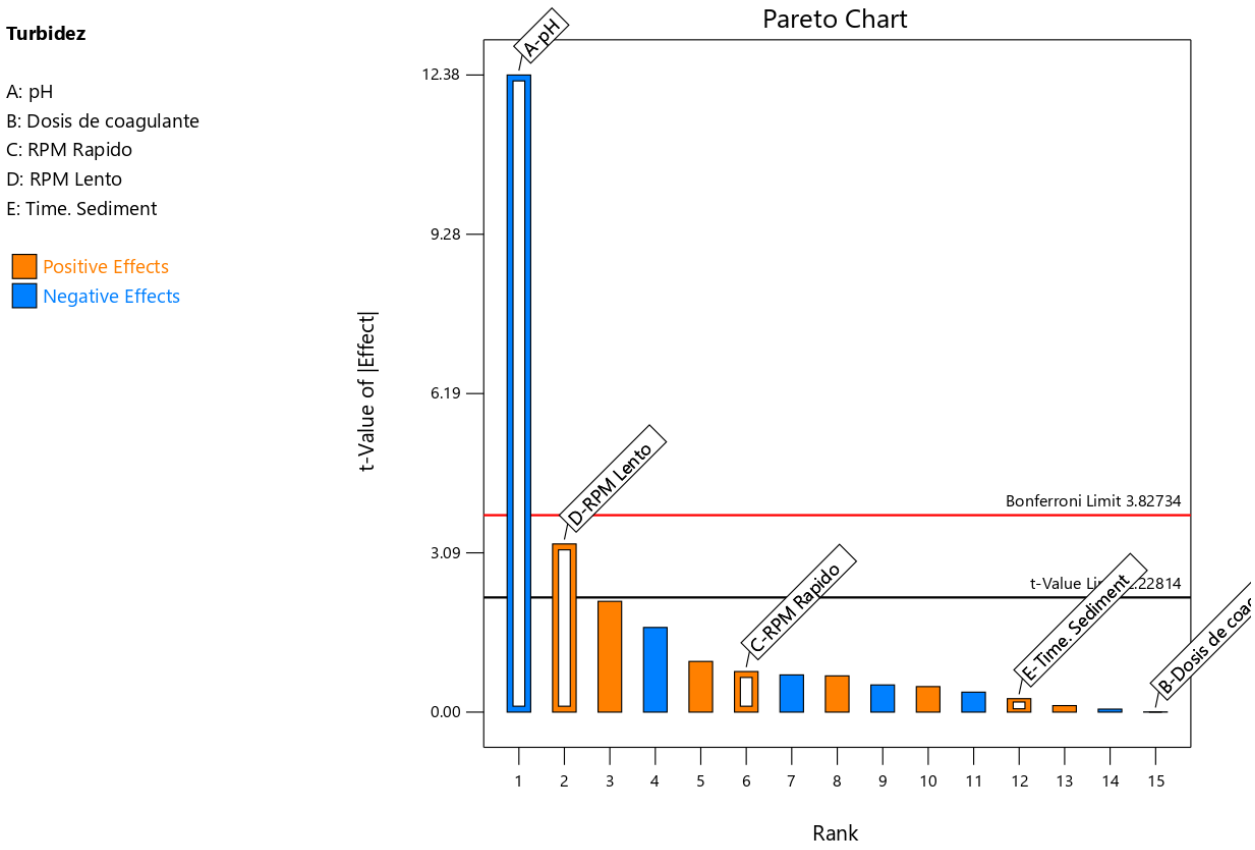
un pH de 3, mientras que la corrida N°.1 registró un mínimo de remoción de turbidez (R =19.67 ± 0.22 %) a pH= 9 dichos resultados concuerdan con lo expuesto por Yimer & Dame, (2021) en su investigación donde indicó que una dosis baja o demasiada alta de coagulante afecta en los procesos de coagulación floculación, con una dosis alta se genera una reestabilización de partículas, la redistribución de flóculos generando mayor turbidez además de invertir la carga superficial, reduciendo al efectividad del coagulante natural, en cambio a concentraciones demasiado bajas no llega a neutralizar los coloides, asimismo en el estudio de Herrera-Linares et al. (2026) y Amran, Zaidi, Syafiuddin, et al. (2021) evidenciaron que el pH es un factor influyente y que este al aumentar genera una disminución en la actividad coagulante. Gebreabe et al. (2025) indicaron que a condiciones ácidas la coagulación se ve favorecida debido a la protonación de grupos funcionales hidroxilo y carboxilo facilitando la atracción electrostática y la neutralización de carga de partículas coloidales. El diseño factorial fraccionado (cribado) se realizó con el fin de determinar qué factores tienen mayor influencia en la remoción de turbidez y lograr de esta forma la optimización del tratamiento.

### *4.3.1. Diagrama de PARETO*

A continuación, se presenta la Figura 4 la cual muestra el diagrama de Pareto del diseño factorial fraccionado (cribado)

**Figura 4**

*Diagrama de Pareto del diseño factorial fraccionado (cribado)*




***Fuente***. *Propia.*

La Figura 4 muestra los factores que tiene mayor significancia dentro del modelo, siendo estos los que se encuentran sobre el límite de Bonferroni (pH y $t_{al}$), sin embargo, el $t_{al}$ si bien no logra superar el límite de Bonferroni llega a influir en el modelo, debido a que dentro del análisis ANOVA, este se encuentra < 0.05, las barras negativas (azul) indican que al aumentar el factor pH la remoción de la variable de respuesta (turbidez) disminuye, en cambio una barra positiva (naranja) indica que el factor ($t_{al}$) al aumenta genera mayor remoción de turbidez (Baatache et al., 2024). En la investigación de Birhanu & Leta, (2021), mostraron que el pH tiene un efecto significativo, además de otros factores como es el tiempo de contacto, dosis de coagulante que

tienen un efecto positivo en la remoción de turbidez. En la investigación de Castro et al. (2026), se indica que la velocidad de agitación es un factor significativo dentro de su diseño, ya que influye en la correcta generación de flóculos evitando que estos llegaran a romperse. Abusabha et al., (2024) en su artículo mencionaron que el diagrama de Pareto ayuda a identificar qué factores tuvieron una mayor significancia dentro del modelo, en su estudio evaluó los factores, pH, concentración de coagulante y tipo de coagulante, el pH fue el único que sobrepaso la línea de Benferroni, mostrando su influencia en la remoción de SST a pH (3, 4.5 y 8) destacando a pH natural (4-5).

En el estudio realizado por Baatache et al., (2024) se evaluaron tres factores para poder eliminar DQO, turbidez y fosfatos, dentro de los factores evaluados estaban el pH, dosis de coagulante y $t_s$, en las pruebas se evidencio que los tres factores tiene significancia, sin embargo el pH es el factor que tiene una mayor influencia, de la misma forma en la presente investigación se obtuvo que el factor pH tiene una significancia en el diseño.

Fellah et al. (2023) reportaron la evaluación de los factores que tuvieron mayor significancia, fueron identificados siete factores de los cuales el pH, glucosa y extracto de malta presentaron la mayor influencia en el tratamiento de agua, en comparación con el diseño realizado se aprecia que los dos factores cuentan con un efecto negativo indicando que al contar con dicho factor (pH) la eliminación del factor de respuesta será mayor.

### *4.3.2. Análisis ANOVA*

La tabla 10 muestra el análisis ANOVA de factorial de la turbidez.

**Tabla 10**

*Análisis ANOVA del factorial turbidez*

| **Fuente** | Suma de Cuadrados | df | Cuadrado medio | F-value | p-value | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Model** | 2088.83 | 5 | 417.77 | 32.91 | < 0.0001 | significant |
| A-pH | 1944.70 | 1 | 1944.70 | 153.19 | < 0.0001 | |
| B-Dosis de coagulante | 0.0001 | 1 | 0.0001 | 6.031E-06 | 0.9981 | |
| C- $t_{ar}$ | 7.86 | 1 | 7.86 | 0.6192 | 0.4496 | |
| D- $t_{al}$ | 135.40 | 1 | 135.40 | 10.67 | 0.0085 | |
| E- $t_s$ | 0.8672 | 1 | 0.8672 | 0.0683 | 0.7991 | |
| **Residual** | 126.95 | 10 | 12.69 | | | |
| **Cor Total** | 2215.78 | 15 | | | | |

***Fuente****. Propia.*

Una vez realizado el análisis ANOVA, se determinaron los factores que tienen mayor relevancia en el proceso, como se observa en la Tabla 10, para ello se consideró el p-values, el cual indica los valores que cuentan con un valor menor a $p<0.05$, son significantes dentro del estudio, siendo el pH y el $t_{al}$ factores significativos para el modelo, en cambio valores como dosis de coagulante, $t_{ar}$ y $t_s$ sobrepasan los valores de p-value, haciéndolos no significativos. De la misma forma Kalibbala et al., (2023) indicaron que se empleó ANOVA para la determinación de los factores con mayor significancia, con el fin de poder tener un diseño optimo, además de poder identificar las interacciones que se generaron entre variables y respuestas (Baatache et al., 2024; Connelly, Lynne M., 2021; Okoye & Hosseini, 2024)

### *4.3.3. Estadística de ajuste diseño factorial fraccionado (cribado)*

La tabla 11 muestra el ajuste estadístico obtenido al realizarse el diseño factorial fraccionado.

**Tabla 11**

*Ajuste estadístico*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Std. Dev.** | 3.56 | **$R^2$** | 0.9427 |
| **Mean** | 37.58 | **Adjusted $R^2$** | 0.9141 |
| **C.V. %** | 9.48 | **Predicted $R^2$** | 0.8533 |
| | | **Adeq Precision** | 13.6282 |

***Fuente****. Propia.*

La Tabla 11 presenta la relación de viabilidad en el diseño factorial fraccionado (cribado) obteniendo al coeficiente de determinación ($R^2$) con un valor de 0.9427, el cual presentó un valor cercano a uno, proporcionando la coherencia y la fiabilidad del modelo. El coeficiente $R^2$, establece la relación entre la suma de cuadrados, catalogándose como una medida de ajuste (Zaabtia et al., 2025; Chen et al., 2022).

## 4.4.Optimización del diseño factorial fraccionado (cribado)

A continuación, en la tabla 12 se muestra la optimización del diseño, donde se utilizó un diseño central compuesto (CCD), teniendo como factores (pH y $t_{al}$) y como factores de respuesta (turbidez, DQO y SST).

**Tabla 12**

*Optimización mediante diseño central compuesto*

| STD | RUN | Factor 1 A: pH | Factor 2 B: $t_{al}$ min | Response 1 Turbidez, % | Response 2 DQO, % | Response 3 SST, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 7 | 7 | 14 ± 1.27 | 21 ± 0.62 | 20 ± 1.33 |
| 3 | 2 | 3 | 40 | 32.61 ± 0.68 | 32.67 ± 1.28 | 31.97 ± 1.75 |
| 5 | 3 | 2.17 | 23.5 | 25.76 ± 1.60 | 28.66 ± 0.70 | 26.23 ± 0.36 |
| 9 | 4 | 5 | 23.5 | 70.12 ± 0.70 | 67.55 ± 1.08 | 70.8 ± 1.57 |
| 7 | 5 | 5 | 0.16 | 28.21 ± 0.62 | 24.59 ± 1.20 | 22.09 ± 0.94 |
| 10 | 6 | 5 | 23.5 | 59.88 ± 1.42 | 57.11 ± 0.64 | 52.31 ± 1.55 |
| 4 | 7 | 7 | 40 | 27.09 ± 1.42 | 30.67 ± 0.44 | 31.97 ± 1.34 |
| 6 | 8 | 7.83 | 23.5 | 18.2 ± 1.50 | 17 ± 0.80 | 14.98 ± 1.64 |
| 8 | 9 | 5 | 46.83 | 45.77 ± 1.44 | 42.01 ± 0.88 | 45.5 ± 1.29 |
| 1 | 10 | 3 | 7 | 31.75 ± 0.66 | 27.12 ± 1.10 | 25.15 ± 0.92 |
| 12 | 11 | 5 | 23.5 | 65.88 ± 1.21 | 64.83 ± 1.61 | 64.99 ± 1.54 |
| 13 | 12 | 5 | 23.5 | 64.96 ± 1.49 | 65.93 ± 1.49 | 66.01 ± 1.29 |
| 11 | 13 | 5 | 23.5 | 68.66 ± 0.54 | 66.23 ± 1.35 | 62.79 ± 1.61 |

***Fuente****. Propia.*

Al obtener los factores significativos de la Tabla 10, se realizó un CCD (ver Tabla 12). Este diseño busca la obtención de la mayor cantidad de información con un número reducido de datos, un CCD es más preciso debido a que repite el punto central logrando obtener una mejor precisión, agregando puntos axiales, los experimentos realizados generan relaciones lineales y no lineales

teniendo como respuesta una optimización a la respuesta (Rodriguez et al., 2023; Rifi et al., 2022; Lim et al., 2022; A. Talib et al. (2017); Getahun, Befekadu, et al., 2024) . Se realizó 13 corridas con 2 puntos axiales, tomando en cuenta los dos factores que salieron significantes en la Tabla 10, $t_{al}$ y pH, se emplearon 3 variables de respuesta, turbidez, DQO y SST. Dentro de las variables de respuesta, la variable turbidez obtuvo la mayor reducción en la corrida 4 con un 70.12% a un pH de 5. Para la variable DQO, la corrida 4 fue la que tuvo un mejor resultado, registrando un 67.55 % con un pH de 5 y para SST la corrida 4 también fue la más significante con un 70.8 % a un pH de 5.

### 4.5.Optimización del factor de turbidez

La Tabla 13 muestra el ANOVA obtenido, después de realizarse la optimización del diseño mediante un CCD.

**Tabla 13**

*ANOVA de la optimización de del factor turbidez*

| **Fuente** | Suma de Cuadrados | df | Cuadrado medio | F-value | p-value | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Model** | 5032.41 | 5 | 1006.48 | 60.41 | < 0.0001 | significant |
| A-pH | 144.17 | 1 | 144.17 | 8.65 | 0.0217 | |
| B- $t_{al}$ | 188.02 | 1 | 188.02 | 11.28 | 0.0121 | |
| AB | 37.39 | 1 | 37.39 | 2.24 | 0.1778 | |
| $A^2$ | 3597.47 | 1 | 3597.47 | 215.91 | < 0.0001 | |
| $B^2$ | 1614.78 | 1 | 1614.78 | 96.91 | < 0.0001 | |
| **Residual** | 116.63 | 7 | 16.66 | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lack of Fit | 54.08 | 3 | 18.03 | 1.15 | 0.4302 | not significant |
| Pure Error | 62.55 | 4 | 15.64 | | | |
| **Cor Total** | 5149.05 | 12 | | | | |

***Fuente**. Propia.*

La tabla 14 muestra el ajuste estadístico obtenido tras la realización del ANOVA al factor de respuesta turbidez.

**Tabla 14**

*Ajuste estadístico optimización de turbidez*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Std. Dev.** | 4.08 | **$R^2$** | 0.9773 |
| **Mean** | 42.53 | **Adjusted $R^2$** | 0.9612 |
| **C.V. %** | 9.60 | **Predicted $R^2$** | 0.9063 |
| | | **Adeq Precision** | 18.5657 |

***Fuente**. Propia.*

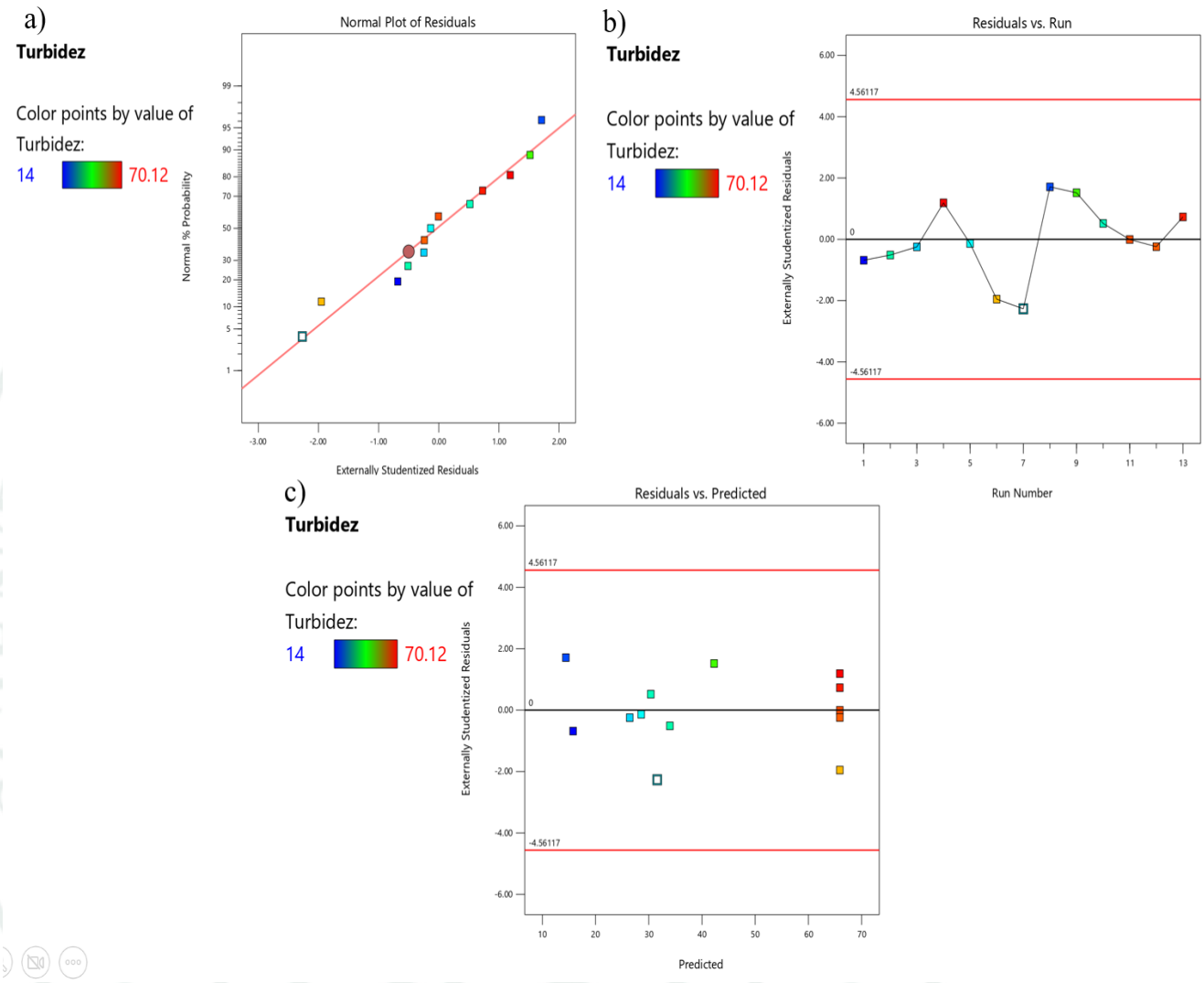
Posterior a la realización del CCD, se identificó factor por factor en la búsqueda de interacciones en la tabla ANOVA tabla 13, el $p < 0.0001$ siendo significativo, dentro de los factores se observó que los términos, pH, $t_{al}$, $A^2$ y $B^2$, fueron significativos, sin embargo, en la interacción AB obtuvo el valor de 0.1778, al ser >0,1000 indica que no es significativo, en el estudio de Pathiranage et al., (2026) se obtuvo como factores significante la dosis de coagulante, sin embargo en la presente investigación los factores significativos fueron los términos cuadráticos $A^2$ y $B^2$ demostrando la curvatura con al que cuenta el diseño. En la Tabla 14 se muestra el ajuste estadístico donde se obtuvo un $R^2 = 0.9773$, $R^2$ ajustado = 0.9612 y $R^2$ = predicho 0.9063, la diferencia entre $R^2$ ajustado y $R^2$ predicho fue < 0.2, lo cual indica su fiabilidad en el diseño (Getahun, Befekadu,

et al., 2024). De acuerdo con Zourif et al. (2024), Pathiranage et al. (2026), Shahzadi et al. (2024) y Al-Hanaktah et al. (2026) indicaron que el coeficiente de determinación ($R^2$), entre más cercano al 1 se encuentre el ajuste será mejor el modelo. Zourif et al., (2024) obtuvieron en su artículo, un ajuste estadístico de $R^2 = 0.9664$ para turbidez utilizando la semilla de palta, en comparación con la presente investigación donde se utilizó la semilla de *Carica papaya* se obtuvo 0.9773, dichos datos al encontrarse cercanos a 1 indican tener un buen nivel de confianza, sin embargo, la semilla de *Carica papaya*, logra tener un mejor ajuste estadístico en la remoción de turbidez.

La Figura 5 contiene los gráficos de diagnóstico del factor de respuesta turbidez

**Figura 5**

*Gráficos de diagnóstico para el factor de respuesta turbidez*




***Fuente.*** *Propia.*

En la Figura 5a, normal plot of residuals podemos ver que los puntos se encuentran dispersos alrededor de la línea diagonal evidenciando que la figura cumple con el supuesto de normalidad Gebreabe et al. (2025), en concordancia con Birhanu & Leta, (2021) que en su diseño se puede apreciar como los puntos en normal plot vs residual se encontraron dispersos cerca de la línea trazada confirmando su normalidad. En la Figura 5b residual vs predicted se visualizaron los

puntos que se generaron en una dispersión aleatoria respecto a la línea central, tales puntos no llegaron a sobrepasar los umbrales, demostrando que no se tienen puntos atípicos, que puedan llegar a influir en el diseño (Gebreabe et al., 2025). En la Figura 5c residual vs run se visualizan que los puntos se encuentran aleatorizados sin llegar a contar con picos extremos y sin mostrar un patron en forma de megáfono indicado que cuenta con una correcta homocedasticidad, indicando que se cuenta con un correcto ajuste del modelo, a estos no sobrepasar los umbrales (Gebreabe et al. (2025 y Passerine & Breitkreitz, (2024)

### 4.6.Optimización del Factor DQO

La tabla 15 muestra el ANOVA de la optimización del factor de respuesta DQO

**Tabla 15**

*ANOVA de la optimización de del factor DQO*

| **Fuente** | Suma de Cuadrados | df | Cuadrado medio | F-value | p-value | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Model** | 4457.09 | 5 | 891.42 | 70.24 | < 0.0001 | significant |
| A-pH | 75.70 | 1 | 75.70 | 5.97 | 0.0446 | |
| B- $t_{al}$ | 198.56 | 1 | 198.56 | 15.65 | 0.0055 | |
| AB | 4.24 | 1 | 4.24 | 0.3344 | 0.5812 | |
| $A^2$ | 3009.67 | 1 | 3009.67 | 237.16 | < 0.0001 | |
| $B^2$ | 1685.35 | 1 | 1685.35 | 132.80 | < 0.0001 | |
| **Residual** | 88.84 | 7 | 12.69 | | | |
| Lack of Fit | 19.92 | 3 | 6.64 | 0.3854 | 0.7703 | not significant |
| Pure Error | 68.92 | 4 | 17.23 | | | |
| **Cor Total** | 4545.93 | 12 | | | | |

***Fuente****. Propia.*

**Tabla 16**

*Ajuste estadístico de la optimización de DQO*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Std. Dev.** | 3.56 | **$R^2$** | 0.9805 |
| **Mean** | 41.95 | **Adjusted $R^2$** | 0.9665 |
| **C.V. %** | 8.49 | **Predicted $R^2$** | 0.9452 |
| | | **Adeq Precision** | 18.9864 |

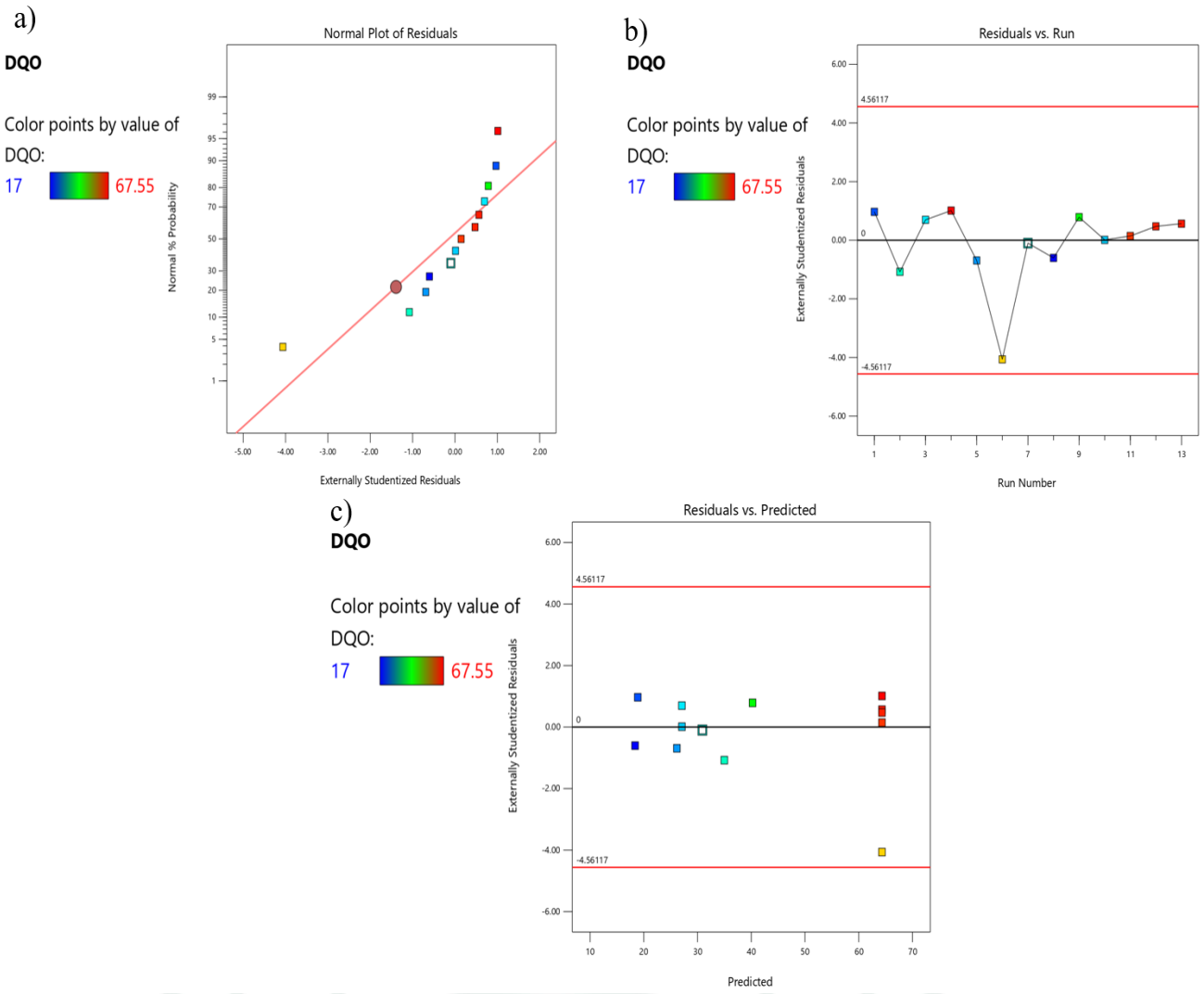
***Fuente****. Propia.*

En el análisis ANOVA para DQO tabla 15 se observa que el modelo es significativo debido a que este se encuentra que $p < 0.05$, indicando que los términos del modelo son significativos pH, $t_{al}$. Para el ajuste estadístico optimizado $R^2$ tabla 16, se puede ver que es de $R^2 = 0.9805$, para $R^2$ ajustado = 0.9665 y $R^2$ predicho = 0.9452, la diferencia que se obtuvo entre $R^2$ ajustado y $R^2$ predicho es <0.2 demostrando la fiabilidad del diseño, los valores para la remoción de DQO, de acuerdo con, Husen et al. (2024) y Baatache et al. (2024) los valores que se encuentran cerca de 1 indican que el modelo tiene una buena confiabilidad. En el estudio de (Baatache et al., 2024) obtuvieron un coeficiente de determinación $R^2$ de 0.9352 en la remoción de DQO, utilizaron la semilla de pino como coagulante natural para la remoción de DQO, en comparación con el presente estudio la semilla de *Carica papaya* obtuvo un $R^2$ de 0.9805, ambos resultados se asemejan a 1, esto indica que el modelo cuenta con un buen ajuste sin embargo, la semilla de *Carica papaya,* cuenta con un mejor ajuste estadístico. En el artículo de Shabanizadeh & Taghavijeloudar, (2023) obtuvieron un $R^2$ de 0.9884 para la remoción de turbidez, utilizaron semillas de granada como coagulante natural, en comparación con el uso de la semilla de *Carica papaya,* se ve una ligeramente superior, sin embargo ambos valore se encuentran cercanos a 1, indicando su adecuado ajuste.

La Figura 6 presenta los gráficos de diagnóstico del factor de respuesta DQO

**Figura 6**

*Gráficos de diagnóstico para el factor de respuesta DQO*




***Fuente***. *Propia.*

En la Figura 6a, se aprecia que los puntos se encuentran cerca de la línea diagonal, siguiendo una distribución normal, no obstante, se aprecia que se tiene un punto el cual se encuentra alejado, dicho punto se puede deber a un valor atípico. De la misma forma en el estudio de Endale et al., (2024), en su gráfico de dispersión se puede apreciar como los puntos obtenidos

se encuentran alrededor de la línea diagonal, demostrando la fuerte correlación que tiene en relación con las variables reales y predichas. La Figura 6b se muestra el grafico de residuos frente ejecución, nos muestra la dispersión de los valores entre dos líneas horizontales, estas líneas indican si se cuenta con valores atípicos que puedan llegar a afectar el diseño, como se puede ver en la Figura 6b, no se tienen valores atípicos y se cuenta con una dispersión de puntos que atraviesan el residuo cero. Los resultados obtenidos tienen congruencia con los reportados por Endale et al., (2024), al no contar con puntos que caigan o sobrepasen los umbrales, confirmando el correcto funcionamiento del sistema. La Figura 6c se ve una aleatorización de puntos los cuales se encuentran dentro de los umbrales, sin llegar a contar con puntos que se encuentren sobrepasando dichos límites de acuerdo con Kalibbala et al. (2023) y Passerine & Breitkreitz, (2024) indicaron que la aleatorización de los puntos, indicando que es un modelo confiable con una correcta homocedasticidad, como se aprecia en la presente investigación.

### 4.7.Optimización del parámetro SST

A continuación, la tabla 17 muestra el análisis ANOVA realizado a los SST tras la optimización del diseño.

**Tabla 17**

*ANOVA de la optimización de del factor SST*

| **Fuente** | Suma de Cuadrados | df | Cuadrado medio | F-value | p-value | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Model** | 4592.31 | 5 | 918.46 | 28.25 | 0.0002 | significant |
| A-pH | 55.44 | 1 | 55.44 | 1.71 | 0.2329 | |
| B- $t_{al}$ | 336.66 | 1 | 336.66 | 10.36 | 0.0147 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AB | 6.63 | 1 | 6.63 | 0.2040 | 0.6652 | |
| $A^2$ | 3176.70 | 1 | 3176.70 | 97.72 | < 0.0001 | |
| $B^2$ | 1518.48 | 1 | 1518.48 | 46.71 | 0.0002 | |
| **Residual** | 227.56 | 7 | 32.51 | | | |
| Lack of Fit | 40.10 | 3 | 13.37 | 0.2852 | 0.8346 | not significant |
| Pure Error | 187.46 | 4 | 46.86 | | | |
| **Cor Total** | 4819.87 | 12 | | | | |

***Fuente**. Propia.*

La tabla 18 muestra los ajustes estadísticos que se obtuvieron para SST

**Tabla 18**

*Ajuste estadístico de la optimización de SST*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Std. Dev.** | 5.70 | **$R^2$** | 0.9528 |
| **Mean** | 41.14 | **Adjusted $R^2$** | 0.9191 |
| **C.V. %** | 13.86 | **Predicted $R^2$** | 0.8801 |
| | | **Adeq Precision** | 12.0177 |

***Fuente**. Propia.*

En la Tabla 17, el ANOVA que se presenta para sólidos suspendidos totales, muestra los factores que tiene una mayor significancia, dentro de estos se ve que el $t_{al}$ tiene mayor significancia, el factor pH no llega a encontrarse dentro de la significancia al no estar por debajo del $p < 0.05$, sin embargo, en el factor $A^2$ y $B^2$ si se tiene una gran significancia. En el ajuste estadístico Tabla N° 18, se puede apreciar que el $R^2 = 0.9528$, $R^2$ ajustado = 0.9191 y $R^2$ predicho = 0.8801, el $R^2$

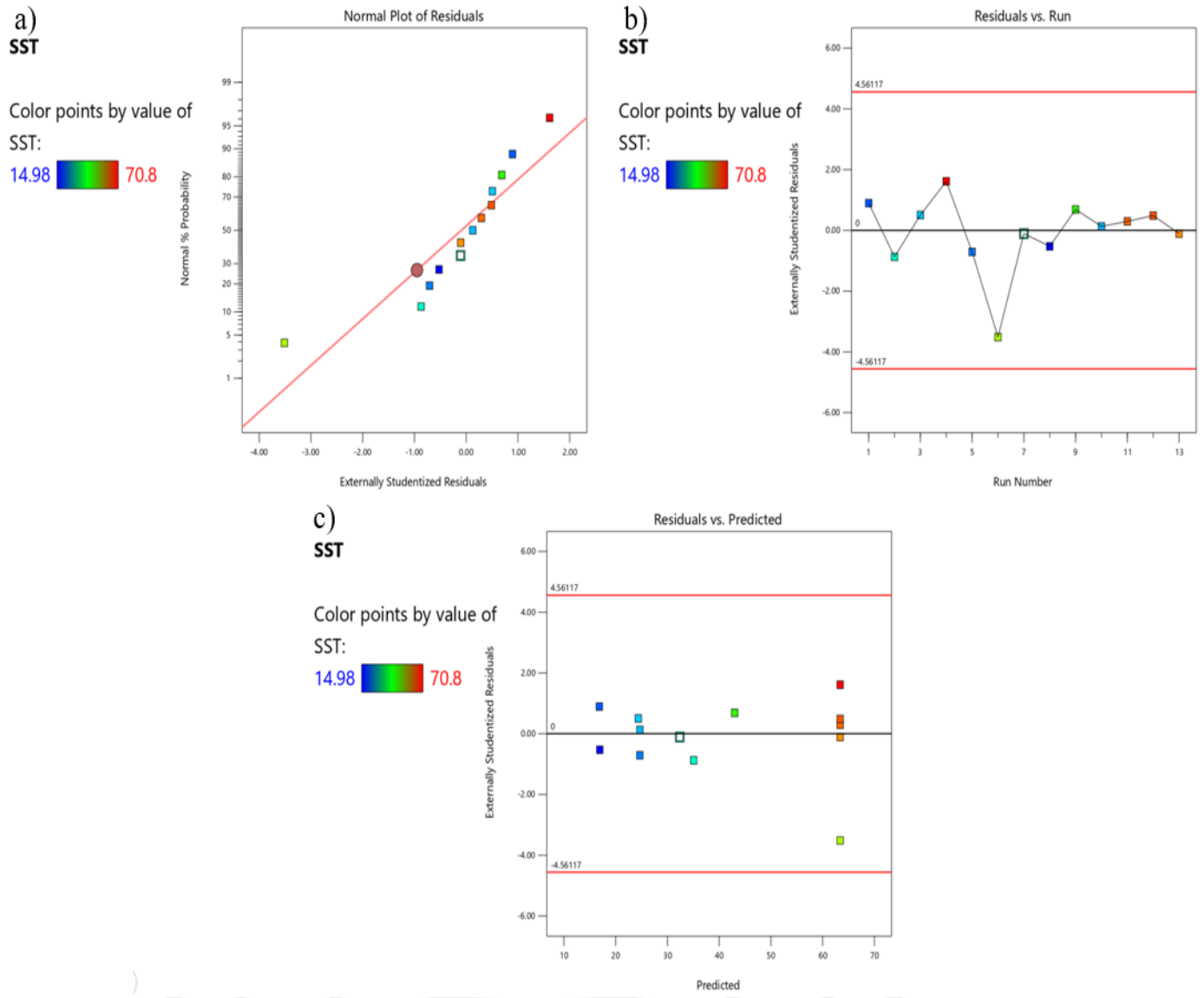
ajustado y $R^2$ predicho son < 0.2 indicando la viabilidad del diseño, de acuerdo con Endale et al. (2024), Bwapwa & Mukuna, (2026) y Kalibbala et al. (2023) los valores que se encuentran cercanos al 1 indican la confiabilidad que tiene el diseño

En el estudio de Endale et al. (2024) se utilizaron cáscaras de sandía y médula de palma como coagulantes naturales, obtuvieron como coeficiente de determinación $R^2$ = 0.9892 para médula de palma y $R^2$ = 0.9805 para cáscara de sandía, en comparación con la presente investigación donde el coeficiente de determinación $R^2$ fue de 0.9528, los valores que fueron registrados por la médula de palma y la cascara de sandía, de la misma forma en el estudio de Kalibbala et al. (2023) el coeficiente de determinación obtenido fue de 0.9905, los valores registrados son ligeramente superiores a las de la semilla de *Carica papaya* dichos valores se encuentran cercanos al 1, demostrando su fiabilidad al modelo.

La Figura 7 ilustra los gráficos de diagnóstico del factor de respuesta SST.

**Figura 7**

*Gráficos de diagnóstico para el factor de respuesta SST*




**Fuente**. Propia.

En la Figura 7a, se muestra el normal plot of residuals, se puede apreciar que los puntos se encuentran constantes alrededor de la línea diagonal, sin embargo, se tiene un punto que se encuentra alejado, este punto se puede considerar un valor atípico, de acuerdo con Kalibbala et al.

(2023) y Gebreabe et al. (2025) los puntos generados al encontrarse ajustados hacia la línea indicaron una distribución normal.

La Figura 7b Residuals vs Run, se visualiza una dispersión de los puntos, los cuales no llegan a sobrepasar las líneas horizontales (rojas) indicando que se tiene una distribución correcta, al no contar con valores atípicos que sobrepasen dichas líneas (Gebreabe et al., 2025).

La Figura 7c, Residuals vs Predicted, muestra que los puntos obtenidos se encuentran aleatorizados dentro del sistema sin llegar a sobrepasar las líneas horizontales rojas sin mostrar una tendencia en forma de megáfono indicando su correcta homocedasticidad. Kalibbala et al. (2023), Passerine & Breitkreitz, (2024) y Gebreabe et al. (2025) indicaron que un requisito importante para demostrar que el modelo es optimó la distribución debe de ser aleatorizada, como se observa en la Figura 7c.

### 4.8.Capacidad predictiva y limitaciones.

Los modelos realizados para las variables de respuesta turbidez, DQO y SST, mostraron en su ajuste estadístico un $R^2$ cercano a 1 ($R^2 = 0.9773$) turbidez, ($R^2 = 0.9805$) DQO, ($R^2 = 0.9528$) SST, la diferencia de $R^2$ ajustado y $R^2$ predicho de las tres variables de respuesta estuvo por $< 0.2$ demostrando su concordancia (Getahun, Befekadu, et al., 2024). La optimización numérica que se realizó al CCD, genero 100 predicciones, dentro de las cuales la solución óptima obtuvo un índice de deseabilidad de 0.926 valor que demuestra la capacidad de optimización las tres variables de respuesta al estar cercado a 1. Dentro de las limitaciones la capacidad predictiva que muestra el diseño se limita rangos de pH (3-7) y a $t_{al}$ (7-40) min, al querer trabajar a diferentes rangos, se tendría que realizar experimentos adicionales.

### 4.9. Cumplimiento normativo

La tabla 19 presenta los parámetros iniciales y finales tras el tratamiento con la semilla de *Carica papaya,* al efluente textil.

**Tabla 19**

*Parámetros iniciales y finales del efluente textil*

| Parámetros | Valor inicial | Remoción, % | Valor residual tratado | Blanco pH 5 | Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA |
|---|---|---|---|---|---|
| DQO, $mgO_2/L$ | 1511 | $67.55 \pm 1.08$ | 490.41 | 1292 | 1000 |
| SST, mg/L | 1194 | $70.8 \pm 1.57$ | 348.65 | 986 | 500 |
| Turbidez, NTU | 1042 | $70.12 \pm 0.70$ | 311.34 | 973 | - |

***Fuente****. Propia.*

La tabla 19 muestra los valores obtenidos tras el tratamiento del efluente textil (proceso de coagulación - floculación), se midieron los parámetros DQO, SST y turbidez, se evidenció el potencial de la semilla de *Carica papaya,* como coagulante natural. Se obtuvo remociones de 67.55 ± 1.08 % (DQO), 70.8 ± 1.57 % (SST) y 70.12 ± 0.70 % (turbidez). Los valores residuales tratados, se encuentran por debajo de los VMA (Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA), cumpliendo con la normativa ambiental vigente. Para determinar el agente coagulante que tiene la semilla de *Carica papaya,* se realizó una comparación usando un blanco sin coagulante a pH 5, obteniendo remociones bajas en comparación a las obtenidas al usarse el coagulante líquido, dichos resultados se atribuyeron a la acción coagulante de la semilla de *Carica papaya.*

### 4.10. Modelo superficie de respuesta 3D para turbidez DQO y SST

En la Figura 8 se muestran los gráficos se superficie de respuesta en 3D obtenidos tras la optimización del diseño, indicaron el desempeño que tuvieron los factores significativos en el presente diseño y su remoción para los factores, Figura 8a (turbidez), Figura 8b (DQO) y Figura 8c (SST). Se obtuvo que a concentraciones ácidas la eficiencia en la remoción no fue elevada, no obstante, al acercarse a pH 5, se obtuvo una mejora en la remoción, sin embargo, a pH 7 la remoción disminuyó, esto aplicó para los tres factores de respuesta evaluados, Figura 8a, 8c y 8e.

En la Figura 8a y 8b, se observó que el coagulante natural semilla de *Carica papaya* tiene un mayor grado de eficiencia a pH 5, donde se obtuvo un 70.12 % de remoción, con un tiempo de de agitación del 23.5 min. Los datos obtenidos coinciden con el estudio de Kalibbala et al., (2023), donde se observó que a pH 5 se obtuvo una eficiente remoción de turbidez, sin embargo a diferencia de la presente investigación, a pH 7 se obtuvo la mayor remoción, dicho cambio puede deberse a las características el efluente tratado y/o características en la morfología del coagulante. De la misma forma, el estudio de Gebreabe et al. (2025) mostró la interacción entre el pH y el $t_s$,

obteniendo que a pH 6 obtuvo mejores resultados en la remoción de turbidez, en la presente investigación la interacción entre el pH y el tiempo de agitación lento obtuvo mejores resultados a pH 5, al aumentar a pH 7 la remoción de turbidez reducía.

En la Figura 8c y 8d se observa como los factores pH y $t_{al}$ interactúan, con el fin de obtener el mejor tratamiento, los colores que se muestran indican el nivel de remoción que se van obteniendo, los colores azules muestran un nivel de remoción bajos, en cambio los colores verdes indican una remoción intermedia en cambio los valores colores rojos indican la mayor cantidad de remoción, como se puede ver a un pH de 5 con $t_{al}$ a 23.5 min, se obtuvo la mejor remoción de DQO, por otro lado a pH 3 y 7 se obtuvieron valores bajos en la remoción, esto puede deberse a que a estas condiciones podría no llegar a flocular la materia orgánica (Endale et al., 2024). Getahun, Asaithambi, et al. (2024) mostraron en su investigación que a un pH ácido no se tiene una buena remoción de DQO, sin embargo al aumentar a pH 7 los valores de remoción de DQO aumentaron obteniendo 98.41 % de remoción, en la presente tesis, se evidencia que a pH 5 se obtuvo el mayor grado de remoción de DQO con un porcentaje de remoción de 67.55 %, esto se puede deber a que la semilla de *Carica papaya* se utilizó como coagulante individual, en cambio en el estudio de Getahun, Asaithambi, et al. (2024) se utilizó una combinación de *A. sennii, Minga stenopetla B. y Aloe vera L.*, generando que la combinación química de dichos coagulantes lo vuelva más eficaz en la remoción de DQO.

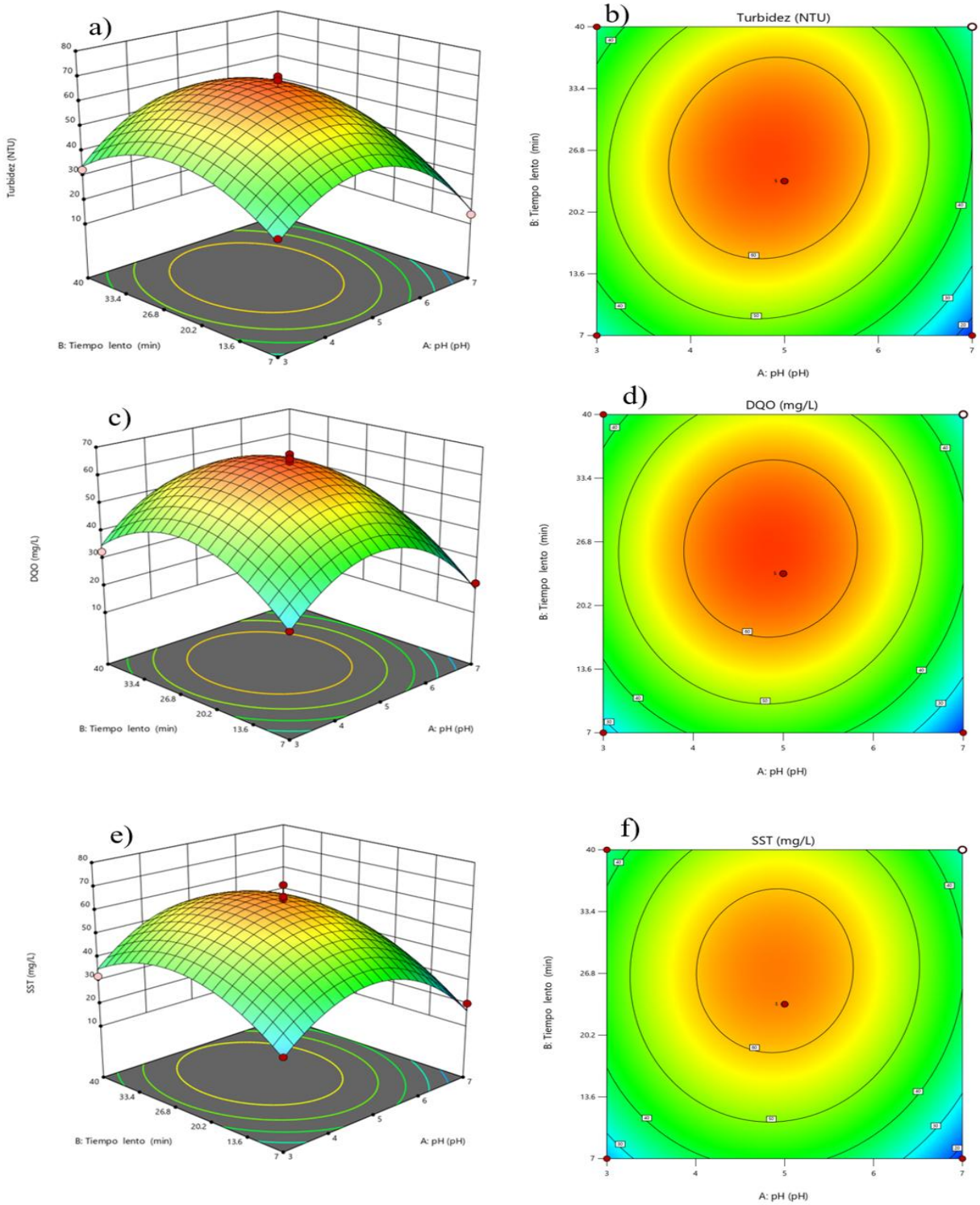
En la Figura 8e y 8f, se aprecia la interacción que tiene los factores $t_{al}$ y pH representando el tratamiento para solidos suspendidos totales (SST), obteniendo la mejor eliminación de SST a un pH de 5 y un $t_{al}$ de 23.5, la representación de los colores indica donde se obtuvo mejores resultados, los colores celestes y azules muestran los niveles donde se tiene un menor índice de eliminación, en cambio los colores amarillos y rojos es donde se tiene mayor cantidad de remoción

(Joaquin et al., 2024). Rendana et al. (2025) en su investigación utilizando *Moringa oleífera* al realizar su diseño de superficie de respuesta 3D mostró que a un pH ácido los valores de remoción de SST se redujeron, en cambio al aumentar estos valores mejoraron, en comparación con la investigación realizada se puede ver que a pH ácido la semilla de *Carica papaya* redujo la remoción de SST en cambio al aumentar a 5 esta aumentó, esto se debe a que si se colocara una dosis errónea de coagulante generaría un aumento en los valores de SST.

Como se puede observar en la Figura 8, la mejor remoción de las variables de respuesta DQO, SST y turbidez, se dio a pH 5 con un $t_{al}$ de 23.5 min. La remoción de dichos parámetros se obtuvo por la aplicación de la semilla de *Carica papaya* como coagulante natural, favoreciendo en la desestabilización coloidal del efluente textil, al trabajarse en un medio ácido generó la protonación de los grupos funcionales carboxilo e hidroxilo, generando la atracción electrostática neutralizando la carga de los coloides (Gebreabe et al., 2025). De acuerdo con lo indicado por Patchaiyappan & Devipriya (2022) los coagulantes naturales cuentan con una mejor eficiencia a concentraciones ácidas favoreciendo la remoción por mecanismos de neutralización de carga. Por otro lado, la semilla de *Carica papaya* al contar con la presencia de la papaína la cual es su proteína, cuenta con una cadena larga la cual crea puentes intermoleculares con los coloides generando de esta su adsorción (Benalia et al., 2023). Dicha proteína al agrupar coloides con carga negativa genera la formación de flóculos los cuales se depositaran en el fondo en el proceso de sedimentación (Adrin et al., 2024).

**Figura 8**

*Modelo de superficie 3D para turbidez, DQO y SST*



***Fuente**. Propia.*

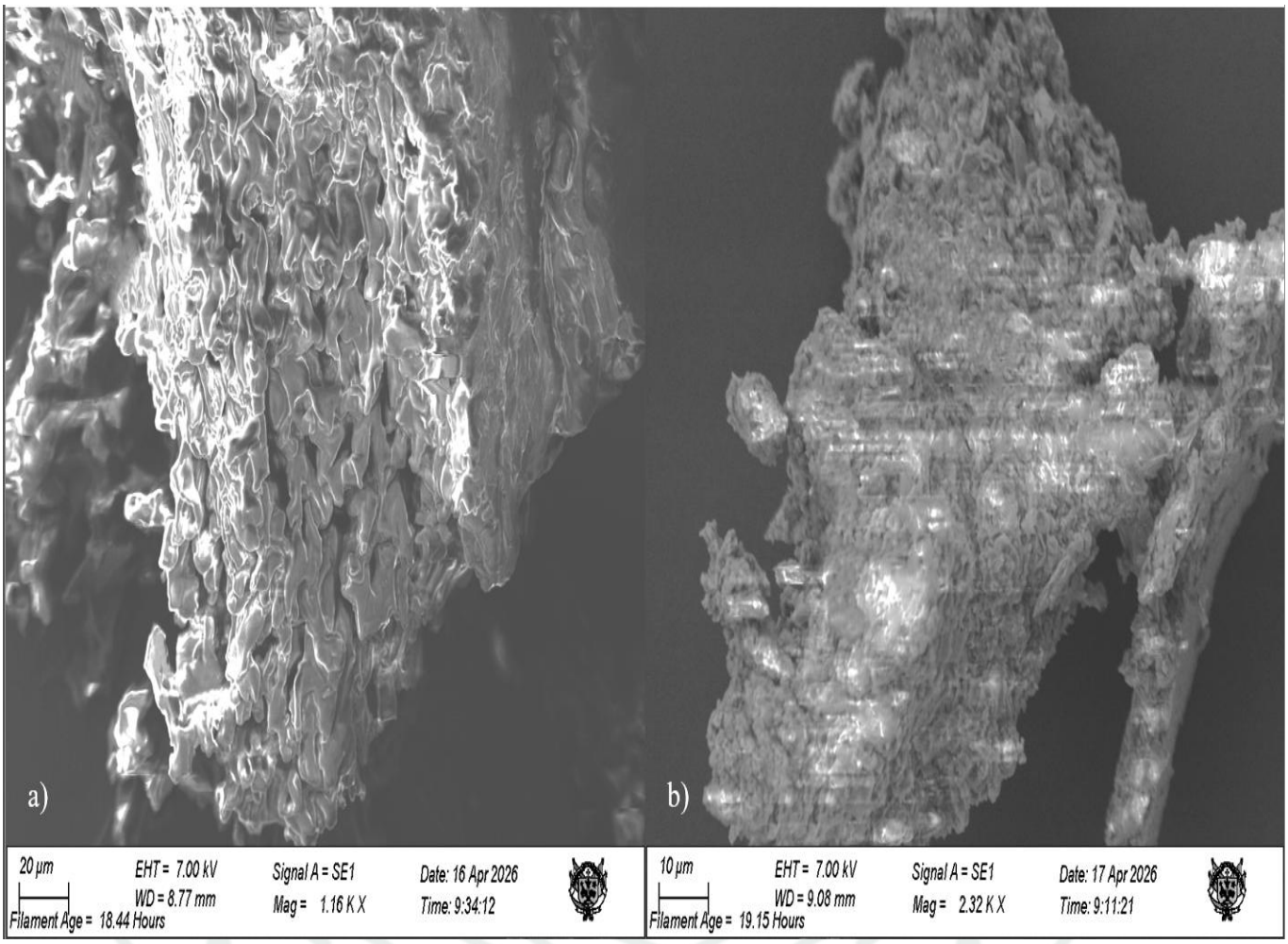
### 4.11. Caracterización morfológica

En la Figura 9, se muestra la caracterización morfológica de *Carica papaya* antes y después del tratamiento, sometiéndose a una tensión de 7.0 y una resolución de 1000x (antes) y 2000x (después). En la Figura 9a se observa a *Carica papaya,* antes de ser sometida al tratamiento, observando cavidades (superficie porosa), esta estructura permite agrupar y alojar especies iónicas y moleculares. En el estudio de Amran, Zaidi, Syafiuddin, et al., (2021) se observa que la semilla de *Carica papaya* cuenta con una morfología heterogénea, la cual facilita la adsorción de especies iónicas, dentro de su estudio la superficie rugosa evidenció la presencia de una estructura externa más grande la cual presenta una mayor cantidad de regiones activas para la adsorción en el proceso de coagulación floculación. En el estudio de Mishra et al., (2025) reportaron que las fibras que tiene *Carica papaya,* muestran un mayor área superficial la cual podría beneficias sus propiedades coagulantes.

La Figura 9b, presenta una resolución de 2000X, se puede observar cómo después del tratamiento el tamaño de los poros iniciales, se han reducido, atribuyéndose esto a la acumulación de especies disueltas y en suspensión presentes inicialmente en la fase acuosa. Dichos resultados coinciden con en el estudio reportado por Vezar et al., (2024) donde se aprecia que el tamaño de los poros disminuyen, además de que se expresa el correcto tratamiento al efluente. A la par en el estudio de Nady et al., (2025), se señala que al realizarse el tratamiento de forma correcta, va a verse modificada la superficie, viéndose más lisa y/o compacta, contando con un bajo número de poros disponibles, dichas variaciones indican la eficacia del tratamiento.

**Figura 9**

*Foto microscopía de la estructura externa de la semilla de Carica papaya antes y después del tratamiento aplicado.*




***Fuente***. *MEB UCSM.*

### 4.12. Análisis comparativo entre diferentes coagulantes naturales.

En la presente investigación se evalúo el nivel de eliminación de turbidez, DQO y SST, hacia un efluente textil (fibra de alpaca), utilizando como coagulante natural a la semilla de *Carica papaya,* dicho coagulante evidenció una óptima eliminación de dichos parámetros los cuales

obtuvieron un 70.12 ± 0.70% (turbidez) 67.55 ± 1.08% (DQO) y 70.8 ± 1.57% (SST) respectivamente. Dicho estudio destaca por utilizar una dosis bastante baja de coagulante (1 mL/L). En comparación con los estudios que se presentan en la tabla 20, se puede observar que se tiene diferentes cantidades de remoción teniendo valores mayores o menores a los obtenidos en la presente investigación, sin embargo, los resultados pueden verse influidos por la naturaleza del coagulante, características del agua incluso las condiciones ambientales. La semilla de *Carica papaya* se encuentra en un rango intermedio, indicando que es una propuesta viable como coagulante natural para la remoción de SST, DQO y Turbidez, logrando de esta forma poder entrar dentro del normativa peruana vigente DECRETO SUPREMO Nº 010-2019-VIVIENDA,

**Tabla 20**

*Comparación de resultados con diferentes coagulantes*

| Código | Ref. | Coagulante aplicado | Tipo de Agua | Dosis óptima de coagulante | pH óptimo | Turbidez, % | DQO, % | SST. % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | Presente estudio | Semilla de *Carica papaya* | Efluente textil | 1 mL/L | 5 | 70.12 | 67.55 | 70.8 |
| B | (Al-Hanaktah et al., 2026) | Semilla de Calabaza | Efluente industrial – Agua sintética | - | 7.38 | 96.87 | - | - |
| C | (Getahun, Befekad | *Moringa oleifea* | Efluente de almazara | 150 mg/L | 6 | 96 | 86 | - |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | u, et al., 2024) | | | | | | | |
| D | (Deswal et al., 2023) | *Abelmoschus esculentus* | Efluente industrial de acero y hierro | 80 mg/L | 7.95 | 75.96 | 11.11 | 18.90 |
| E | (Joaquin et al., 2024) | Semilla de Sandia | Efluente de PTAP Salalah Sanitary Drainage Services Company SAOC | 70 mg/L | 5.5 | 90.3 | - | 92.8 |
| F | (Joaquin et al., 2024) | Semilla de Melón | Efluente de PTAP Salalah Sanitary Drainage Services Company SAOC | 76.7 mg/L | 7 | 95.9 | - | 92.5 |
| G | (Yahyapour et al., 2014) | Cáscara de naranja | Aguas superficiales | 1 g/L | 7 | 61.63 | | |
| H | (Zedan et al., 2022) | Semilla de nuez | Agua sintética | 3 mL/L | 7 | 97.8 | | |

***Fuente**. Propia.*

## CAPITULO V

# 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. Conclusiones

Se determinó el contenido de humedad de la semilla de *Carica papaya* (*H* = 62.09±1.29 %), liofilizado, *H* = 5.65 ± 0.05 % y a estufa *H* = 4.63 ± 0.12 %. EL factor de respuesta fue de $R_{turbidez}$ = 69.43 ± 0.23 %, en comparación con el secado liofilizado el cual fue de $R_{turbidez}$ = 46.72 ± 2.07 %. La estructura externa de la semilla *Carica papaya* secada a estufa presentó una superficie heterogénea con formación de cavidades o poros.

En la caracterización inicial del efluente, se obtuvo una DQO = 1511.25 mg $O_2$/L, SST= 1194 mg/L y una turbidez = 1042 NTU, excediendo la normativa de VMA Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, indicando que dicho efluente requiere de un tratamiento para mejorar su calidad.

Se realizó un diseño factorial fraccionado, tomando como factor de respuesta la remoción de turbidez, economizando así gastos en insumos químicos, posterior a las corridas correspondientes se evaluó los factores que tuvieron mayor significancia (pH, $t_{al}$).

Se evaluó la eficiencia de la semilla de *Carica papaya* como coagulante natural, realizando un CCD, obteniendo remociones de R = 67.55± 1.08% (DQO), 70.80 ± 1.57% (SST) y 70.12 ± 0.70% (turbidez) a pH = 5 y $t_{al}$ = 23.5 min. Dichos resultados fueron superiores a los predichos por el diseño a condiciones de pH = 4.86 y $t_{al}$ = 26.28 min ($R_{DQO}$ = 64.83 %, $R_{SST}$ = 64.12 % y $R_{turbidez}$ = 66.44 %), demostrando su capacidad predictiva, los resultados lograron cumplir con lo

indicado en la normativa peruana que rige dicha industria DECRETO SUPREMO Nº 010-2019-VIVIENDA

### 5.2.Recomendaciones

- Implementar otros factores de respuesta dentro de la optimización, tales como metales totales pesados/metaloides, $DBO_5$ entre otros.
- Evaluar el tiempo de vida útil del coagulante natural y realizar un estudio donde la semilla de *Carica papaya* tenga el rol de coadyuvante.
- Considerar la realización de estudios eco-toxicológicos a dicho coagulante natural con el fin de determinar su posible impacto.

## CAPÍTULO VI

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


A. Talib, N. A., Salam, F., Yusof, N. A., Alang Ahmad, S. A., & Sulaiman, Y. (2017). Optimization of peak current of poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/multi-walled carbon nanotube using response surface methodology/central composite design. *RSC Advances*, *7*(18), 11101-11110. https://doi.org/10.1039/c6ra26135c

Abusabha, S., Zaimes, G., & Marei, A. (2024). Applying the experiment design approach to minimize pollutants in olive mill wastewater using aluminum sulfate and ferric chloride as coagulants. West Bank—Occupied Palestinian territories. *Desalination and Water Treatment*, *320*, 100671. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100671

Adimachukwu, A. M., Okey-Onyesolu, C. F., Ejimofor, M. I., & Onukwuli, O. D. (2025). Gestión de efluentes de acuicultura utilizando *Cyperus esculentus* como coagulante natural: Cinética de coagulación y modelado de transferencia de masa. *Next Research*, *2*(2), 100267. https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100267

Adrin, M. H. A. R., Ngadiman, N., Abdullah, N. H., Hamdan, R., & Abdullah, M. S. (2025). Investigating the Efficiency of Different Papaya Seeds Masses as Natural Coagulants in the Textile Wastewater Treatment Process. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, *133*(1), 135-148. https://doi.org/10.37934/aram.133.1.135148

Adrin, M. H. A. R., Ngadiman, N., Abdullah, N. H., Hamsani, N. N. M., Nasharuddin, N., & Omar, N. N. (2024). Effectiveness of Carica Papaya Dry Seed as Natural Coagulants in Wastewater Treatment Process. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, *116*(1), 88-102. https://doi.org/10.37934/aram.116.1.88102

Al-Hanaktah, A., Al-Ghbabsheh, A. H., & Al-Rafayia, R. A. (2026). Performance evaluation of defatted pumpkin seed extract for turbidity removal applications. *Results in Materials*, *30*, 100946. https://doi.org/10.1016/j.rinma.2026.100946

Al-Hanaktah, A., Al-Rafayia, R. A., AL-Ghbabsheh, A. H., Al-Rawajfeh, A. E., Mainali, B., & Shahid, M. K. (2025). A comparative analysis of defatted pumpkin seed extract and conventional coagulants for sustainable turbidity reduction in water and wastewater treatment. *Cleaner Water*, *4*, 100114. https://doi.org/10.1016/j.clwat.2025.100114

Ali, S. K., Abdou, M. M., Emara, M. M., Farag, R. S., & Mubarak, M. F. (2025). Eco-friendly solutions: A comprehensive review of natural coagulants for sustainable water treatment. *Environmental Geochemistry and Health*, *47*(12), 535. https://doi.org/10.1007/s10653-025-02803-3

Al-Tohamy, R., Ali, S. S., Li, F., Okasha, K. M., Mahmoud, Y. A.-G., Elsamahy, T., Jiao, H., Fu, Y., & Sun, J. (2022). A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *231*, 113160. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160

Amasa, W., Leta, S., & Gnaro, M. A. (2025). The application of Scoria-based horizontal subsurface flow constructed wetland for efficient textile wastewater treatment. *Results in Engineering*, *26*, 105495. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105495

Amran, A. H., Bahrodin, M. B., Zaidi, N. S., Muda, K., Aris, A., Umor, N. A., Amim, M. F. M., & Syafiuddin, A. (2022). Turbid Water Treatment Using Deshelled Carica papaya Seed:

Analysis Via Factorial Design. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, *12*(6), 7787-7795. https://doi.org/10.33263/BRIAC126.77877795

Amran, A. H., Zaidi, N. S., Muda, K., Bahrodin, M. B., & Loan, L. W. (2021). Deshelled Carica papaya Seeds as Natural Coagulant for Improvement Quality of River Water. *Sains Malaysiana*, *50*(6), 1521-1529. https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5006-02

Amran, A. H., Zaidi, N. S., Syafiuddin, A., Zhan, L. Z., Bahrodin, M. B., Mehmood, M. A., & Boopathy, R. (2021). Potential of Carica papaya Seed-Derived Bio-Coagulant to Remove Turbidity from Polluted Water Assessed through Experimental and Modeling-Based Study. *Applied Sciences*, *11*(12), 5715. https://doi.org/10.3390/app11125715

Aragaw, T. A., & Bogale, F. M. (2023). Role of coagulation/flocculation as a pretreatment option to reduce colloidal/bio-colloidal fouling in tertiary filtration of textile wastewater: A review and future outlooks. *Frontiers in Environmental Science*, *11*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1142227

Arastou, K., Hosseinzadeh, A., Jamshidi, S., & Tafazzoli, P. (2025). Grey water and carbon footprint of textile industry: A case study. *Ain Shams Engineering Journal*, *16*(10), 103593. https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103593

Ariffin, F., & Syahmi Latif, M. A. (2025). Chapter 22 - Biological treatment of azo dye in textile wastewater: A comprehensive review. En A. Z. Yaser, J. Lamaming, D. Johnson, & N. Hilal (Eds.), *Nutrients and Colored Compounds in Wastewater* (pp. 495-514). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21701-2.00023-4

Arsiccio, A., Giorsello, P., Marenco, L., & Pisano, R. (2020). Considerations on Protein Stability During Freezing and Its Impact on the Freeze-Drying Cycle: A Design Space Approach.

*Journal of Pharmaceutical Sciences*, *109*(1), 464-475. https://doi.org/10.1016/j.xphs.2019.10.022

Baatache, O., Derbal, K., Benalia, A., Khalfaoui, A., & Pizzi, A. (2024). Optimization and Modeling of Bio-coagulation Using Pine Cone as a Natural Coagulant: Jar Test and Pilot-Scale Applications. *Water, Air, & Soil Pollution*, *235*(12), 770. https://doi.org/10.1007/s11270-024-07521-7

Bahrodin, M. B., Zaidi, N. S., Kadier, A., Hussein, N., Syafiuddin, A., & Boopathy, R. (2022). A Novel Natural Active Coagulant Agent Extracted from the Sugarcane Bagasse for Wastewater Treatment. *Applied Sciences*, *12*(16), 7972. https://doi.org/10.3390/app12167972

Baquerizo-Crespo, R. J., Nuñez, Y., Albite, J., Macías-Alcívar, J. A., Cedeño-Zambrano, N., Dueñas-Rivadeneira, A. A., Gómez-Salcedo, Y., & Rodríguez-Díaz, J. M. (2021). Biocoagulants as an Alternative for Water Treatment. En N. R. Maddela, L. C. García Cruzatty, & S. Chakraborty (Eds.), *Advances in the Domain of Environmental Biotechnology: Microbiological Developments in Industries, Wastewater Treatment and Agriculture* (pp. 313-334). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8999-7_12

Bartl, K., Mogrovejo, P., Dueñas, A., & Quispe, I. (2023). Cradle-to-grave environmental analysis of an alpaca fiber sweater produced in Peru. *Science of The Total Environment*, *905*, 167023. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167023

Benalia, A., Baatache, O., Derbal, K., Khalfaoui, A., Amrouci, Z., Pizzi, A., & Panico, A. (2024). The use of central composite design (CCD) to optimize and model the coagulation-flocculation process using a natural coagulant: Application in jar test and semi-industrial

scale. *Journal of Water Process Engineering*, *57*, 104704. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104704

Benalia, A., Chaibraa, W., Djeghar, S., Derbal, K., Khalfaoui, A., Mahfouf, A., Bouchareb, R., Panico, A., & Pizzi, A. (2023). Use of Extracted Proteins from Oak Leaves as Bio-Coagulant for Water and Wastewater Treatment: Optimization by a Fractional Factorial Design. *Water*, *15*(11), 1984. https://doi.org/10.3390/w15111984

Birhanu, Y., & Leta, S. (2021). Application of response surface methodology to optimize removal efficiency of water turbidity by low-cost natural coagulant (Odaracha soil) from Saketa District, Ethiopia. *Results in Chemistry*, *3*, 100108. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2021.100108

Blanco, J., Torrades, F., De la Varga, M., & García-Montaño, J. (2012). Fenton and biological-Fenton coupled processes for textile wastewater treatment and reuse. *Desalination*, *286*, 394-399. https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.11.055

Bwapwa, J. K., & Mukuna, J. G. (2026). Metaheuristic Optimization of Treated Sewage Wastewater Quality Parameters with Natural Coagulants. *Water*, *18*(8), 885. https://doi.org/10.3390/w18080885

Cadena-Álava, A. P., Cevallos-Cedeño, R. E., & García-Muentes, S. A. (2024). *Evaluation of the coagulant property of caCrOicNa TpEapNaIyDaOseeds in surface water treatment*. *23*(3).

Castro, L. E. N., Matheus, L. R., Ribeiro, M. D., Forster-Carneiro, T., & Colpini, L. M. S. (2026). Toward a greener dairy industry: Optimization of coagulation–flocculation for sustainable cheese whey treatment. *Chemical Engineering Journal: Green and Sustainable*, *1*, 100005. https://doi.org/10.1016/j.cejgas.2025.100005

Chen, W.-H., Carrera Uribe, M., Kwon, E. E., Lin, K.-Y. A., Park, Y.-K., Ding, L., & Saw, L. H. (2022). A comprehensive review of thermoelectric generation optimization by statistical approach: Taguchi method, analysis of variance (ANOVA), and response surface methodology (RSM). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *169*, 112917. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112917

Colina Andrade, G. de J., Malaga Espinoza, C., & Marin Leal, J. C. (2025). *Contaminación y Análisis de Calidad de Aguas. Guía de prácticas · UCSM. Portal de Recursos Digitales*. Contaminación y Análisis de Calidad de Aguas. Guía de prácticas. https://rel.ucsm.edu.pe/omeka/items/show/144

Connelly, Lynne M. (2021). *Introduction to Analysis of Variance (ANOVA)*. https://www.proquest.com/docview/2542477790?sourcetype=Scholarly%20Journals

Cuesta-Mota, D., Serra-Clusellas, A., Macanás, J., Canals-Casals, L., & López-Grimau, V. (2026). Electrochemical system for simultaneous treatment of textile dyeing effluents and hydrogen recovery. *Environmental Research*, 123713. https://doi.org/10.1016/j.envres.2026.123713

Dadhaneeya, H., Nema, P.K., & Warepam, S.C. (2025, febrero 25). *Advanced Modeling Approaches for Quality Assessment of Papaya Leather Dried in IoT-Enabled IR-Assisted Refractance Window Dryer*. https://doi.org/10.1111/jfpe.70059

Dawood, A. T., Alazzawi, K. S. A., Salman, I. H., & A, K. (2024). Removal of Colloidal Suspension through Coagulation – Flocculation Process In Water Purification – A Review. *Journal of Biotechnology Research Center*, *18*(2), 38-64. https://doi.org/10.24126/jobrc.2024.18.2.827

Deswal, S., Rawat, S., Kumar, S., & Sangwan, V. (2023). Potential of Moringa oleifera and Okra as Coagulants in Sustainable Treatment of Water and Wastewater. *Ecological Questions*, *34*(4), 1-17. https://doi.org/10.12775/EQ.2023.045

Dinov, V., Henao, J. P. H., Sala, P., & Vrachioli, M. (2026). Environmental Kuznets Curve applications for water pollution in the EU. *Journal of Environmental Management*, *398*, 127942. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127942

Dorador, D. D. V., Guerrero, E. H., Pineda, C. X. C., & Enciso, N. V. R. (2022). Los impactos ambientales y jurídicos de la industria textil en el derecho de la moda. *Lumen*, *18*(2), 79-91. https://doi.org/10.33539/lumen.2022.v18n2.2678

dos Santos, R. G. (2024). Forces Acting in Colloidal Systems. En R. G. dos Santos (Ed.), *Fundamentals of Surface Thermodynamics: Phase Behavior and Its Related Properties* (pp. 33-56). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52466-0_3

Endale, Y., Samuel, Z. A., Kebede, S., & Bayu, A. B. (2024). Blended natural and synthetic coagulants for the COD and BOD removal from surface water; optimization by response surface methodology: The case of Gibe river. *Heliyon*, *10*(18), e37961. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37961

Ennadi, B., Rachid, Y., Titchou, F. E., Errami, M., Samir, B., Zazou, H., Hamdani, M., & Ait Akbour, R. (2026). Integrated coagulation-flocculation and column adsorption processes for efficient textile wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, *206*, 108264. https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.108264

Fellah, M., Alam, M. Z., Al-Mamun, A., Khabbashi, N. A., Engliman, N. S., & Arab, S. H. (2023). Effect of the lignocellulolytic substrates and fermentation process parameters on myco-coagulant production for water treatment. *IIUM Engineering Journal*, *24*(1), 13-26. https://doi.org/10.31436/iiumej.v24i1.2400

Freitas, T. K. F. S., Oliveira, V. M., de Souza, M. T. F., Geraldino, H. C. L., Almeida, V. C., Fávaro, S. L., & Garcia, J. C. (2015). Optimización del proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales textiles industriales utilizando mucílago de okra ( *A. esculentus* ) como coagulante natural. *Industrial Crops and Products*, *76*, 538-544. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.027

Frumento, D., & Ţălu, Ş. (2026). Recent Advances in the Application of Natural Coagulants for Sustainable Water Purification. *Eng*, *7*(1), 38. https://doi.org/10.3390/eng7010038

Gebre, G. D., Keneni, Y. G., Gebremariam, S. N., & Marchetti, J. M. (2026). Drying Kinetics of Papaya (Carica papaya) Seed Waste at Different Temperatures and Pretreatment Conditions for Use in Biofuel Production. *Waste and Biomass Valorization*, *17*(1), 349-369. https://doi.org/10.1007/s12649-025-03098-2

Gebreabe, S. T., Worku, A., Gnaro, M. A., Kassahun, E., Ale, T. H., Sime, T., Bizualem, B., Ayalneh, S., & Ammona, A. A. (2025). Response surface optimization of turbidity removal from highly turbid surface water using orange peel powder as a sustainable coagulant. *Next Research*, *2*(4), 101058. https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.101058

Getahun, M., Asaithambi, P., Befekadu, A., & Alemayehu, E. (2024). Chemical oxygen demand removal from wet coffee processing wastewater using indigenous natural coagulants:

Optimization through response surface methodology. *Desalination and Water Treatment*, *317*, 100217. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100217

Getahun, M., Befekadu, A., & Alemayehu, E. (2024). Coagulation process for the removal of color and turbidity from wet coffee processing industry wastewater using bio-coagulant: Optimization through central composite design. *Heliyon*, *10*(7), e27584. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27584

Golzadeh, N., Lorestani, B., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., & Khorasani, N. (2023). Comparing the effectiveness of ferric chloride chemical coagulant and natural coagulant of plane tree leaves in turbidity removal from industrial wastewater. *Research on Chemical Intermediates*, *49*(12), 5613-5633. https://doi.org/10.1007/s11164-023-05151-y

González-Tovar, E., Lozada-Cassou, M., Bhuiyan, L. B., & Outhwaite, C. W. (2018). Comparison of zeta potentials and structure for statistical mechanical theories of a model cylindrical double layer. *Journal of Molecular Liquids, Modern trends in theory of electrolyte solutions. In memory of Lesser Blum*, *270*, 157-167. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.12.044

Hait, M., Kashyap, N. K., Sahu, P., & Pal, D. (2024). Role of Papaya Seed in the Management of Antiproliferation: Description, Chemistry and Uses. En D. Pal (Ed.), *Seeds: Anti-proliferative Storehouse for Bioactive Secondary Metabolites* (pp. 309-339). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-97-3014-8_10

Hernández-Zamora, M., & Martínez-Jerónimo, F. (2019). Congo red dye diversely affects organisms of different trophic levels: A comparative study with microalgae, cladocerans,

and zebrafish embryos. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(12), 11743-11755. https://doi.org/10.1007/s11356-019-04589-1

Herrera-Linares, E., Mendoza-Pary, C. R., Terán-Hilares, R., García-Bustos, K., Carrasquero-Ferrer, S., Tejada-Meza, K., & Colina-Andrade, G. (2026). La cáscara de sancayo ( *Corry o cactus brevistylus* ) como un coagulante natural eficaz para eliminar la turbidez en muestras sintéticas que contienen caolín. *Results in Chemistry*, *26*, 103367. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2026.103367

Hinostroza-Quiñonez, G., Alcántara-Mucha, L., Espinoza-Silva, C., Quispe-Solano, M., & Saavedra-Mallma, N. (2024). Propiedades fisicoquímicas y funcionales de microcápsulas de extracto de semilla de papaya ( *Carica papaya L.* ) obtenidas por secado por aspersión. *NFS Journal*, *35*, 100164. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2024.100164

Husen, A. K., Bidira, F., Mekonin Desta, W., & Asaithambi, P. (2024). COD, color, and turbidity reduction from surface water using natural coagulants: Investigation and optimization. *Progress in Engineering Science*, *1*(2), 100007. https://doi.org/10.1016/j.pes.2024.100007

INDECOPI. (2021). *Biopat Perú N°6*. https://www.gob.pe/institucion/indecopi/informes-publicaciones/6141593-biopat-peru-n-6-junio-2021

Joaquin, A. A., Sivamani, S., & Gnanasundaram, N. (2024). Statistical experimental design and analysis of mixed natural-synthetic coagulants for the reduction of total suspended solids and turbidity in sewage wastewater treatment. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(4), 4583-4590. https://doi.org/10.1007/s13399-022-02566-2

Kakkar, S., Dharavat, N., & Pammi, S. V. N. (2025). A Moringa oleifera, a natural coagulant, as a potential future approach for sustainable water purification: A patent based study. *Results in Engineering*, *27*, 106630. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106630

Kalibbala, H. M., Olupot, P. W., & Ambani, O. M. (2023). Synthesis and efficacy of cactus-banana peels composite as a natural coagulant for water treatment. *Results in Engineering*, *17*, 100945. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100945

Kamruzzaman, M., Nayeem, Md., Ismail, M., Khan, M. F., Emon, S. Z., Hosen, A., Rahman, A., & Huda, M. N. (2026). Water quality and pollution dynamics in the Padma River, Bangladesh: Characterization of microbiological and chemical contaminants. *Regional Studies in Marine Science*, *93*, 104695. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104695

Khan, S., Amin, Z. S., Shakoor, B., irfan, A., Muhammed, M. T., Kotwica-Mojzych, K., Bin Jardan, Y. A., Glowacka, M., Perveen, S., & Mojzych, M. (2025). Phytochemical profiling, antioxidant potential, and in silico evaluation of *Carica papaya* seed oil. *Results in Chemistry*, *18*, 102751. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2025.102751

Khee, Y. L., Kiew, P. L., & Chung, Y. T. (2023). Valorizing papaya seed waste for wastewater treatment: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *20*(2), 2327-2346. https://doi.org/10.1007/s13762-022-04178-9

Koul, B., Bhat, N., Abubakar, M., Mishra, M., Arukha, A. P., & Yadav, D. (2022). Application of Natural Coagulants in Water Treatment: A Sustainable Alternative to Chemicals. *Water*, *14*(22), 3751. https://doi.org/10.3390/w14223751

Kristianto, H., Kurniawan, M. A., & Soetedjo, J. N. M. (2018). Utilization of Papaya Seeds as natural coagulant for synthetic textile coloring agent wastewater treatment.

*International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, *8*(5), 2071-2077. https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.5.3804

Lim, K. S., Sethu, V., & Selvarajoo, A. (2022). Natural plant materials as coagulant and flocculants for the treatment of palm oil mill effluent. *Materials Today: Proceedings, 2nd International Conference on Innovative Technology and Sciences (iCITES 2020)*, *48*, 871-887. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.483

Loor-Moreira, C. L., Fernández-Andrade, K. J., Cedeño-Solórzano, G. S., Manzaba-Salazar, G. M., Gómez-Salcedo, Y., Rodríguez-Díaz, J. M., & Baquerizo-Crespo, R. J. (2021). Generalities of the Coagulation-Flocculation Process: A Perspective on Biocoagulants. En N. R. Maddela & L. C. García (Eds.), *Innovations in Biotechnology for a Sustainable Future* (pp. 333-352). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80108-3_16

López-Casaperalta, P., Molina-Rodríguez, F. N., Fernandez-F, F., Díaz-Quintanilla, J. F., Barreda-Del-Carpio, J. E., Bernabe-Ortiz, J. C., & Aguilar-Pineda, J. A. (2022). Optimization of a Textile Effluent Treatment System and Evaluation of the Feasibility to Be Reused as Influents in Textile Dyeing Processes. *Sustainability*, *14*(23), 15588. https://doi.org/10.3390/su142315588

Marques, D. G., Domingos, J. de M. F., Nolasco, M. A., & Campos, V. (2025). Textile effluent treatment using coagulation-flocculation and a hydrodynamic cavitation reactor associated with ozonation. *Chemical Engineering Science*, *304*, 121094. https://doi.org/10.1016/j.ces.2024.121094

Mendoza Pary, C. R., Hilares, R. T., Bustos, K. G., Carrasquero, S., Meza, K. T., & Andrade, G. C. (2026). Tara Seed (Caesalpinia Spinosa) as a Potential Coagulant for Turbidity Removal in Drinking Water. *Water, Air, & Soil Pollution*, *237*(19), 1089. https://doi.org/10.1007/s11270-026-09764-y

Meng, X., Wu, J., Kang, J., Gao, J., Liu, R., Gao, Y., Wang, R., Fan, R., Khoso, S. A., Sun, W., & Hu, Y. (2018). Comparison of the reduction of chemical oxygen demand in wastewater from mineral processing using the coagulation–flocculation, adsorption and Fenton processes. *Minerals Engineering*, *128*, 275-283. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.09.009

Mérida Lira, E. (2023). *Sustitución de harina de trigo por harina de semillas de papaya (carica papaya): Características nutricionales, funcionales, microbiológicas y sensoriales de pan de caja.* http://200.57.56.70:8080/xmlui/handle/231104/3373

Millar, G. J., Couperthwaite, S. J., & Moodliar, C. D. (2016). Strategies for the management and treatment of coal seam gas associated water. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *57*, 669-691. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.087

Ministerio del Ambiente - MINAM. (2023, abril 12). *Línea de base de la diversidad de la papaya peruana con fines de bioseguridad | SINIA*. Línea de base de la diversidad de la papaya peruana con fines de bioseguridad. https://sinia.minam.gob.pe/documentos/linea-base-diversidad-papaya-peruana-fines-bioseguridad

Mishra, L., Bhowmik, P. N., Anand, P., & Yantrapalli, S. (2025). A study on de-contamination of dairy wastewater using natural coagulants. *Environmental Monitoring and Assessment*, *197*(6), 677. https://doi.org/10.1007/s10661-025-14117-z

Mittal, M., Thakur, A., Kaushik, R., & Chawla, P. (2020). Physicochemical properties of Ocimum sanctum enriched herbal fruit yoghurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, *44*(12), e14976. https://doi.org/10.1111/jfpp.14976

Mohamed, E. H., Mohammad, T. A., Noor, M. J. M. M., & Ghazali, A. H. (2015). Influencia de la duración de la extracción y la liofilización en la eficacia del polvo de semillas *de Moringa oleifera* como coagulante natural. *Desalination and Water Treatment*, *55*(13), 3628-3634. https://doi.org/10.1080/19443994.2014.946713

Mohamed Noor, M. H., & Ngadi, N. (2024). Ecotoxicological risk assessment on coagulation-flocculation in water/wastewater treatment: A systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(40), 52631-52657. https://doi.org/10.1007/s11356-024-34700-0

Montoya Flores, M. L., & Salhofer, S. (2025). Environmental assessment of cotton textile production in Peru: A case study for a cotton T-shirt. *Science of The Total Environment*, *970*, 179031. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179031

Muniraj, S., Muthunarayanan, V., Venkataraman, S., Sunitha, T., & Thamaraiselvi, C. (2023). Drinking water treatment with natural coagulants—A promising alternative for sustainable water usage. En *Resource Recovery in Drinking Water Treatment* (pp. 107-127). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99344-9.00008-6

Nady, D. S., Abdel-Halim, S., Hegazy, M.-E. F., El-Desouky, M. A., & Hanna, D. H. (2025). Use of Carica papaya waste as bio-adsorbent for sewage wastewater treatment. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *15*(10), 15921-15938. https://doi.org/10.1007/s13399-024-06300-y

Nghonjuyi, N. W., Tiambo, C. K., Taïwe, G. S., Toukala, J. P., Lisita, F., Juliano, R. S., & Kimbi, H. K. (2016). Estudios de toxicidad aguda y subcrónica de tres plantas utilizadas en la medicina etnoveterinaria camerunesa: Hojas de *Aloe vera* (L.) Burm. f. (Xanthorrhoeaceae), semillas u hojas *de Carica papaya* L. (Caricaceae) y hojas *de Mimosa pudica* L. (Fabaceae) en polluelos Kabir. *Journal of Ethnopharmacology*, *178*, 40-49. https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.11.049

Okoye, K., & Hosseini, S. (2024). Analysis of Variance (ANOVA) in R: One-Way and Two-Way ANOVA. En K. Okoye & S. Hosseini (Eds.), *R Programming: Statistical Data Analysis in Research* (pp. 187-209). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-97-3385-9_9

Panhwar, A., Sattar Jatoi, A., Ali Mazari, S., Kandhro, A., Rashid, U., & Qaisar, S. (2024). Water resources contamination and health hazards by textile industry effluent and glance at treatment techniques: A review. *Waste Management Bulletin*, *1*(4), 158-163. https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.09.002

Panusa, A., Mammone, F. R., Rotundo, P., Multari, G., Palazzino, G., & Gallo, F. R. (2024). Papaya Seed Extract and Recovery of Some Main Constituents. *Separations*, *11*(9), 254. https://doi.org/10.3390/separations11090254

Parniakov, O., Roselló-Soto, E., Barba, F. J., Grimi, N., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2015). New approaches for the effective valorization of papaya seeds: Extraction of proteins, phenolic compounds, carbohydrates, and isothiocyanates assisted by pulsed electric energy. *Food Research International, Innovative food processing technologies: chemical, nutritional and microbiological aspects*, *77*, 711-717. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.031

Passerine, B. F. G., & Breitkreitz, M. C. (2024). Important Aspects of the Design of Experiments and Data Treatment in the Analytical Quality by Design Framework for Chromatographic Method Development. *Molecules*, *29*(24), 6057. https://doi.org/10.3390/molecules29246057

Patchaiyappan, A., & Devipriya, S. P. (2022). Chapter 5—Application of plant-based natural coagulants in water treatment. En S. Kathi, S. Devipriya, & K. Thamaraiselvi (Eds.), *Cost Effective Technologies for Solid Waste and Wastewater Treatment* (pp. 51-58). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822933-0.00012-7

Patel, H., & Vashi, R. T. (2015). Chapter 2—Characterization of Textile Wastewater. En *Characterization and Treatment of Textile Wastewater* (pp. 21-71). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802326-6.00002-2

Pathiranage, W. B., Mendoza, R., Majdoub, M., Oulhakem, O., Alkhateb, H., & D'Alessio, M. (2026). Calcined oyster shell powder as a sustainable alternative to chemical coagulants for enhanced turbidity removal: Optimization of coagulation parameters. *Journal of Environmental Management*, *404*, 129466. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2026.129466

Ponnusamy Senthil Kumar, , & Anbalagan Saravanan. (2017). Sustainable wastewater treatments in textile sector. En *Sustainable Fibres and Textiles* (pp. 323-346). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102041-8.00011-1

Prakash Khedun, C., Sanchez Flores, R., Rughoonundun, H., & A. Kaiser, R. (2026). *World water supply and use: Challenges for the future*. 73-90. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15976-3.00001-5

Prodanović, J. M., Nastić, N. M., Šćiban, M. B., Lukić, D. V., Vasić, V. M., & Blagojev, N. T. (2025). An Investigation into the Factors Influencing the Effectiveness of a Biodegradable Natural Coagulant Derived from Phaseolus vulgaris Seeds and Coagulation Mechanism. *Sustainability*, *17*(4), 1372. https://doi.org/10.3390/su17041372

PRODUCE. (2025, marzo 12). *PRODUCE: PBI Manufactura creció 7.3 % en junio de 2025 y contribuyó con S/ 5886 millones a la economía*. https://www.gob.pe/institucion/produce/noticias/1223270-produce-pbi-manufactura-crecio-7-3-en-junio-de-2025-y-contribuyo-con-s-5886-millones-a-la-economia

Putra, Z. A., Deswati, D., Tetra, O. N., Zein, R., Suparno, S., & Pardi, H. (2026). Utilización del extracto de semilla de okra como coagulante natural para la mitigación de microplásticos en *Mystacoleucus padangensis* del lago Singkarak, región de Tanah Datar, Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*, *93*, 104735. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104735

Rahmah, N. L., Dewanti, B. S. D., & Azizah, F. (2019). Combination of kinetic maceration—Digestion in the extraction of areca seeds (Areca catechu L.). *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering (AFSSAAE)*, *1*(2), 27-33. https://doi.org/10.21776/ub.afssaae.2018.001.02.4

Raj, S., Singh, H., & Bhattacharya, J. (2023). Treatment of textile industry wastewater based on coagulation-flocculation aided sedimentation followed by adsorption: Process studies in an industrial ecology concept. *Science of The Total Environment*, *857*, 159464. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159464

Rendana, M., Renaldi, F., Akbar, M. N., & Hardestyariki, D. (2025). Optimization of Moringa oleifera-based coagulant in textile wastewater treatment. *Discover Applied Sciences*, *7*(10), 1063. https://doi.org/10.1007/s42452-025-07323-4

Rifi, S. K., Souabi, S., El Fels, L., Driouich, A., Nassri, I., Haddaji, C., & Hafidi, M. (2022). Optimization of coagulation process for treatment of olive oil mill wastewater using *Moringa oleifera* as a natural coagulant, CCD combined with RSM for treatment optimization. *Process Safety and Environmental Protection*, *162*, 406-418. https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.010

Rodriguez, R., Germán Mazza, Daniela Zalazar-García, Anabel Fernandez, Anabel Fernandez, & M. Paula Fabani. (2023). Polyphenol extraction from bio-wastes: Optimization and kinetic analysis. En *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 79, pp. 317-339). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18961-6.00010-X

Salas, H., Lopez-Grimau, V., Vilaseca, M., Crespi, M., & Gutiérrez-Bouzán, C. (2018). Reducing environmental impact of textile wastewater by natural coagulants and reuse of effluents. *Desalination and Water Treatment*, *103*, 323-328. https://doi.org/10.5004/dwt.2018.21773

Shabanizadeh, H., & Taghavijeloudar, M. (2023). Un enfoque sostenible para el tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de semillas *de granada* en un proceso de floculación-coagulación: Optimización de la eliminación de DQO y turbidez mediante la metodología de superficie de respuesta (MSR). *Journal of Water Process Engineering*, *53*, 103651. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103651

Shahzadi, F., Haydar, S., & Tabraiz, S. (2024). Optimization of Coagulation to Remove Turbidity from Surface Water Using Novel Nature-Based Plant Coagulant and Response Surface Methodology. *Sustainability*, *16*(7), 2941. https://doi.org/10.3390/su16072941

Singh, B., & Kumar, P. (2020). Pre-treatment of petroleum refinery wastewater by coagulation and flocculation using mixed coagulant: Optimization of process parameters using response surface methodology (RSM). *Journal of Water Process Engineering*, *36*, 101317. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101317

Sudarshan, S., Harikrishnan, S., RathiBhuvaneswari, G., Alamelu, V., Aanand, S., Rajasekar, A., & Govarthanan, M. (2023). Impact of textile dyes on human health and bioremediation of textile industry effluent using microorganisms: Current status and future prospects. *Journal of Applied Microbiology*, *134*(2), lxac064. https://doi.org/10.1093/jambio/lxac064

Tomasi, I. T., Boaventura, R. A. R., & Botelho, C. M. S. (2026). Comparative study of natural and chemical coagulants for continuous-flow treatment of textile wastewater. *Chemical Engineering Science*, *320*, 122476. https://doi.org/10.1016/j.ces.2025.122476

Torres-Herrera, P. A., Arce-Inga, M., Tarrillo, E., Ocupa, E., Atalaya-Marin, N., Cabrera-Hoyos, H., Cruz-Luis, J., Taboada-Mitma, V. H., Gómez-Fernández, D., Tineo, D., & Goñas, M. (2026). Effect of cover crops on soil quality, yield, and prediction using machine learning in papaya (*Carica papaya* L.). *Smart Agricultural Technology*, *14*, 101953. https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.101953

Treviño-Reséndez, J., Medel, A., Mijaylova, P., & Meas, Y. (2023). 8—Coagulation/flocculation and electrocoagulation methods for oily wastewater treatment. En A. Basile, A. Cassano,

M. R. Rahimpour, & M. A. Makarem (Eds.), *Advanced Technologies in Wastewater Treatment* (pp. 173-212). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99916-8.00013-4

Ugbogu, E. A., Dike, E. D., Uche, M. E., Etumnu, L. R., Okoro, B. C., Ugbogu, O. C., Adurosakin, O. E., Chinma, C. E., Ohaeri, E., & Iweala, E. J. (2023). Usos etnomedicinales, composición nutricional, fitoquímica y potenciales beneficios para la salud de *Carica papaya*. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, *7*, 100266. https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100266

Unnisa, S. A., & Bi, S. Z. (2018). Carica papaya seeds effectiveness as coagulant and solar disinfection in removal of turbidity and coliforms. *Applied Water Science*, *8*(6), 149. https://doi.org/10.1007/s13201-018-0791-x

Vezar, S. A. N., Belinda, Z. T., Rendana, M., Agustina, T. E., Nasir, S., Hanum, L., & Andarini, D. (2024). The use of Carica papaya seeds as bio coagulant for laundry wastewater treatment. *Journal of Engineering and Applied Science*, *71*(1), 99. https://doi.org/10.1186/s44147-024-00438-2

Villabona-Ortiz, Á., Tejada-Tovar, C., & Ortega-Toro, R. (2025). Desarrollo de un coagulante natural a partir de semillas de *Albizia lebbeck* para su aplicación en la eliminación de turbidez del agua destinada al consumo humano. *South African Journal of Chemical Engineering*, *53*, 331-341. https://doi.org/10.1016/j.sajce.2025.05.006

Wei, L., Li, P., Liu, Y., & Xie, Y. (2026). Effects of Drying Methods, Temperature, and Initial Moisture Content on Drying Characteristics, Nutritional Quality, Texture, and Oxidative Stability of Peanuts. *Foods*, *15*(7), 1248. https://doi.org/10.3390/foods15071248

Worku, G. D., & Abate, S. N. (2025). Comparación de la eficiencia de coagulantes naturales (almohadillas de cactus y semillas *de moringa* ) para el tratamiento de aguas residuales textiles (en el caso de la industria textil Kombolcha). *Heliyon*, *11*(4), e42379. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42379

World Health Organization. (2022, marzo 21). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064

Xinxin Fan, Yujia Liu, & Hailong Lu. (2026, febrero 23). *Frontiers | Colloids and particulate matters in natural aquatic environments: Dynamics and geochemical impact*. https://doi.org/10.3389/fmars.2026.1749438}

Yahyapour, S., Golshan, A., & Ghazali, A. H. b. (2014). Removal of total suspended solids and turbidity within experimental vegetated channel: Optimization through response surface methodology. *Journal of Hydro-environment Research*, *8*(3), 260-269. https://doi.org/10.1016/j.jher.2013.03.004

Yimer, A., & Dame, B. (2021). Papaya seed extract as coagulant for potable water treatment in the case of Tulte River for the community of Yekuset district, Ethiopia. *Environmental Challenges*, *4*, 100198. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100198

Zaabtia, A., Ba, M., & Ammar, S. (2025). Treatment of olive mill wastewater by coagulation–flocculation and electro-Fenton processes: Application of the experimental design methodology. *Journal of Applied Electrochemistry*, *55*(8), 2173-2189. https://doi.org/10.1007/s10800-025-02308-y

Zedan, T., Mossad, M., Fouad, M., & Mahanna, H. (2022). Potential application of natural coagulant extraction from walnut seeds for water turbidity removal. *Water Practice and Technology*, *17*(3), 684-698. https://doi.org/10.2166/wpt.2022.019

Zengin, G. E., Ozyildiz, G., Soylu, D., Aydogdu, G., Cokgor, E., & Insel, G. (2024). Chapter 17 - Effective cod and color removal with integrated ozonation and biological treatment approaches in textile wastewater: A review. En M. P. Shah & N. Shah (Eds.), *Development in Waste Water Treatment Research and Processes* (pp. 363-380). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13609-2.00011-2

Zevallos, M. O. G., Murillo, V. P., Carrizales, T. Q., Núñez, M. E. T., & Paredes, F. E. H. (2020). TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE LOS EFLUENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE LANA EN UNA INDUSTRIA TEXTIL DE AREQUIPA. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, *86*(4), Article 4. https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i4.312

Zourif, A., Benbiyi, A., Kouniba, S., & El Guendouzi, M. (2024). Avocado seed as a natural coagulant for removing dyes and turbidity from wastewater: Behnken Box design, sustainable reuse, and economic evaluation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *39*, 101621. https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101621

## Anexo 1: Panel fotográfico

**Figura 10**

*Muestra de Agua de hilado de lanada de alpaca.*



**Figura 11**

*Semilla de Carica papaya*



**Figura 12**

*Extracción del polvo de semilla de Carica papaya*

*A. Extracción de mucilago*



*B. Semilla de Carica papaya sin mucilago*



*C. Lavado de semilla de Carica papaya*



*D. Secado de semilla*




*E. Semilla seca*



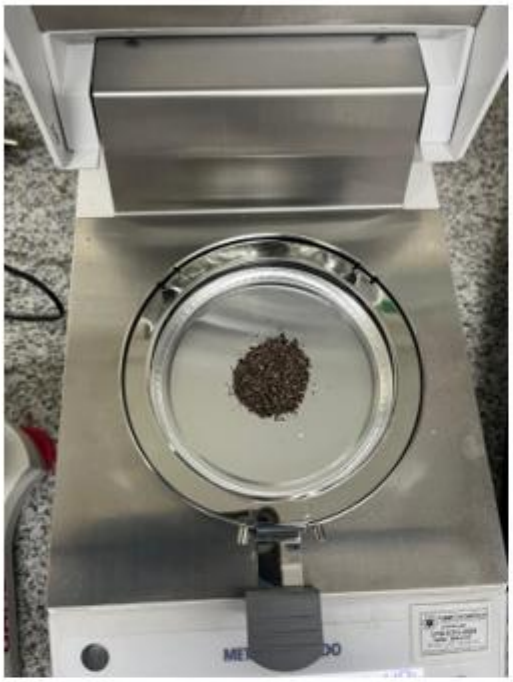
*F. Carica papaya Triturado*



**Figura 13**

*Determinación de Humedad*

*A. Semillade Carica papaya triturada (estufa)*



*B. Semillade Carica papaya triturada (liofilizador)*



*C. Analisis de humemdad*



*D. Analisis de humedad*



**Figura 14**

*Parámetros fisicoquímicos.*



**Figura 15**

*Obtención del coagulante semilla de Carica papaya.*

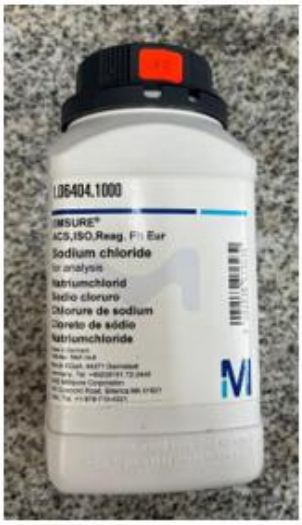
*A. Polvo fino*



*B. Agitador magnético*



*C. Cloruro de Sodio*




*D. Equipo de filtración a vacío*



*E. Coagulante líquido*



**Figura 16**

*Determinación de SST.*

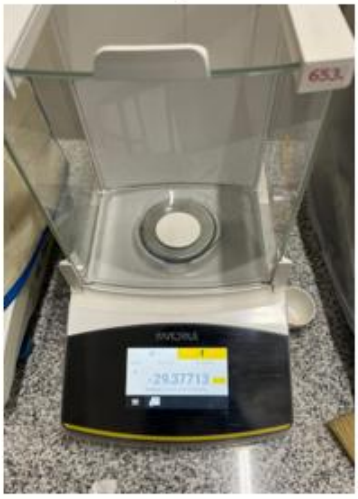
*A. Filtros de 0.45 µm*




*B. Peso constante*



*C. Pesado de filtros más luna de reloj*



*D. Filtración a vacío con efluente textil*



*E. Resultados*



**Figura 17**

*Determinación de DQO*

*A. Efluetne tratado*



*B. Dicromato de potasio*




*C. Ácido sulfúrico*



*D. Bloque digestor*



*E. Espectrofotometro*



*F. Resultados*



## ANEXOS II: NORMATIVA AMBIENTAL

**Tabla 21**

*DS 010-2019 VIVIENDA*

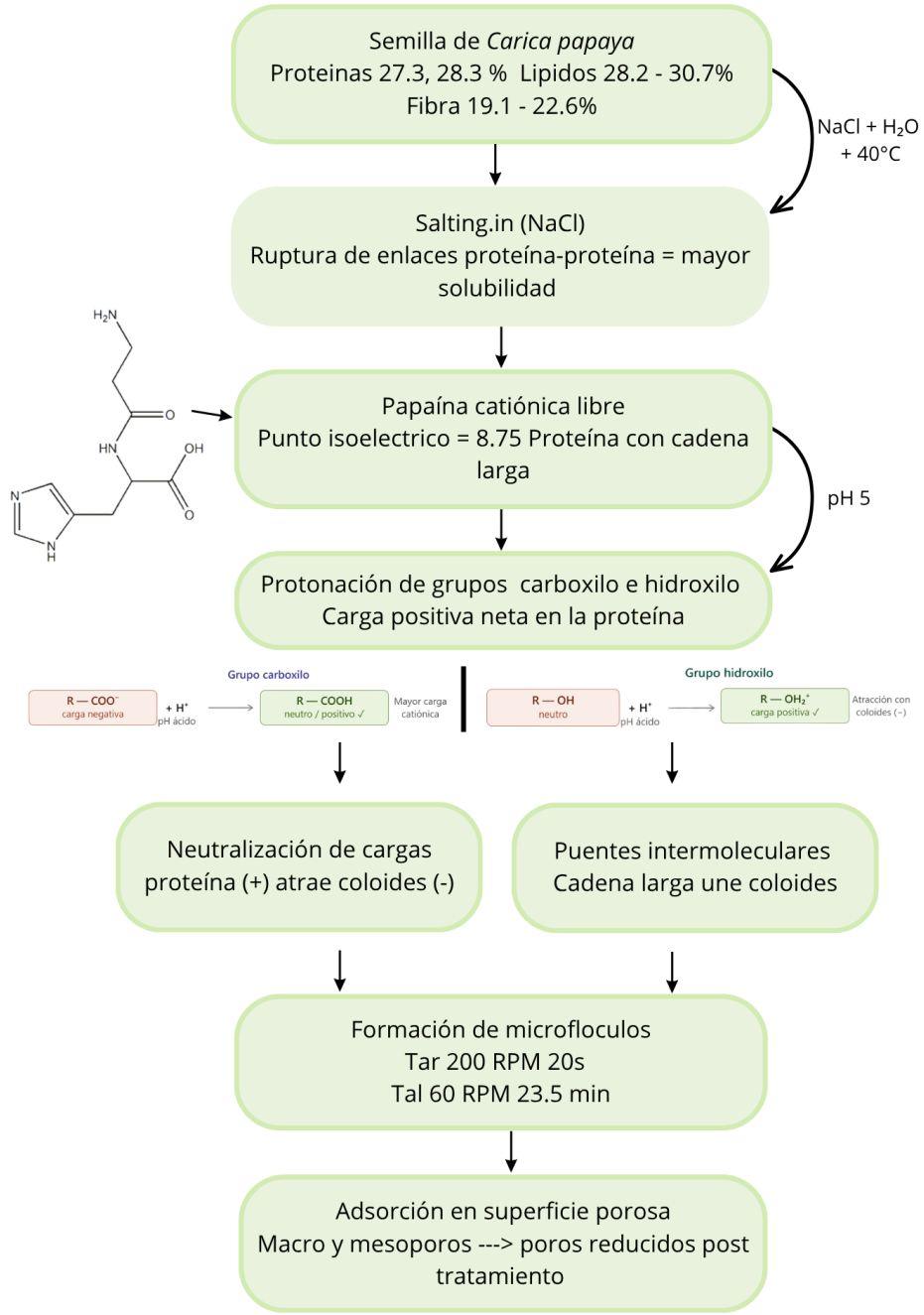
| Parámetro | Unidad | Simbología | VMA para descargo al alcantarillado |
|---|---|---|---|
| Demanda Bioquímica de Oxigeno | mg/l | DBO5 | 500 |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 1000 |
| Solidos Suspendidos Totales | mg/l | SST | 500 |
| Aceites y grasas | mg/l | A y G | 100 |

Fuente: DECRETO SUPREMO Nº 010-2019-VIVIENDA

## ANEXOS III: RUTA BIOQUIMICA

**Figura 18**

*Ruta bioquimica*



## ANEXOS IV: EQUIPOS CALIBRADOS

**Figura 19**

*Calibración test de jarras*



**Figura 20**

*Calibración espectrofotómetro*

RESEARCH PARTNERS ASSOCIATES

CONSTRUIMOS SOLUCIONES INTEGRALES

| INFORME TÉCNICO – MANTENIMIENTO CORRECTIVO (CAMBIO ESPEJO 1 GENESYS 150) | | |
|---|---|---|
| **Responsable:** Pamela Gárate Gonzales | | |
| Caso: **Cambio de Repuesto (Espejo 1)** | Cliente: **Universidad Católica de Santa María** | |
| Equipo: **espectrofotómetro UV-VS**<br>Modelo: **Genesys 150** | Marca: **Thermo Scientific** | Serie: **9A5X354048** |

Ref: Mantenimiento Correctivo del espectrofotómetro UV-VIS Genesys 150 (cambio de espejo 1)

**Antecedentes:**

En el mantenimiento preventivo del espectrofotómetro se recomendó el cambio del espejo 1 debido a que este se encontraba deteriorado.

**Descripción de lo realizado:**

1. Se entrega el repuesto detallado a continuación:

| Nro. de parte | Descripción | Guía de Remisión |
|---|---|---|
| 714-216800 | LRU GENESYS 50, 150, 180 & BioMate 160 System Mirror 1 | T001-0007354 |

2. Se realiza prueba de verificación con los filtros de Holmium y densidad neutra previo al cambio del espejo 1. (Se adjunta resultados de la prueba).
3. Se apaga el equipo y se desconecta de la alimentación électrica.
4. Se retira la cubierta del equipo y se retira el espejo 1 dañado.
5. Se instala el nuevo espejo 1.
6. Se realiza el alineamiento del espejo 1.
7. Se regresa la cubierta del equipo, se verifica el correcto encendido del equipo.
8. Se realiza prueba de verificación con los filtros de Holmium y densidad neutra posterior al cambio del espejo 1, en la cual se observa que los valores obtenidos se encuentran dentro de los limites indicados para estos filtros. (Se adjunta resultados de la prueba).
9. Cliente realiza prueba de funcionamiento con sus muestras, los resultados son correctos.
10. Se adjunta anexo fotográfico.

→ Av. Guardia Civil N°657-661 / 6to piso / San Borja
→ rpasa@rpaperu.com
→ (511) 451 2457 / 452 0789 / 451 9648 / 561 0781
→ rpaperu.com

**Conclusiones:**

Equipo queda operativo y verificado luego del cambio del espejo 1.

**Recomendaciones:**

- Se recomienda cuidar el ambiente del laboratorio ya que se observa una cantidad regular de polvo dentro del equipo, el ultimo mantenimiento preventivo y limpieza interna fue realizada en el mes de mayo del 2025.
- Se recomienda mantenimiento preventivo anual del equipo.

Jueves 22 de mayo del 2026

PAMELA GARATE G.
RPA Soporte Técnico

Saludos cordiales

**Ing. Pamela Gárate**
Ingeniero de Soporte Técnico
pgarate@rpaperu.com
**[51] 913642458**
**[511] 451 2457 / 561 0781 Anexo 104**
**Av. Guardia Civil 657-661, Piso 6, San Borja, Lima**
→ **rpaperu.com**

**Conformidad del Cliente:**

**Cliente: Ruly Terán Hilares**

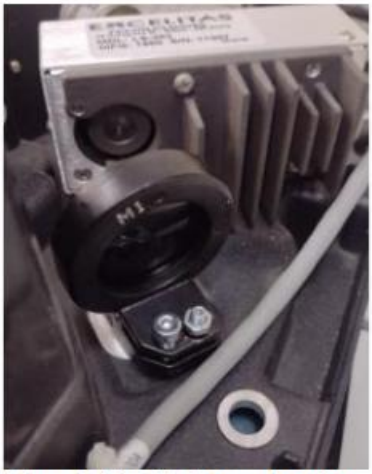
## ANEXO FOTOGRÁFICO



Espejo 1 dañado



Espejo 1 nuevo



Espejo 1 instalado en el equipo



Equipo operativo luego del cambio y alineamiento del espejo 1

RESEARCH PARTNERS ASSOCIATES

CONSTRUIMOS SOLUCIONES INTEGRALES

PRUEBA DE VERIFICACIÔN PREVIO AL CAMBIO DEL ESPEJO 1

## *SISTEMA DE VALIDACION GENESYS 150*

Cliente : **UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTA MARÍA**

Sistema : **ESPECTROFOTOMETRO UV-VIS GENSYS 150**
Nro de Serie: **9A5X354048**

Set de Estándares de Longitud de Onda : RM-HG — Número de Serie: 43163, Fecha de Calibración: 22 de mayo del 2026

Set de Estándares de Absorbancia : RM-1N2N3N — Número de Serie: 43163, Fecha de Calibración: 22 de mayo del 2026

### SISTEMA DE VALIDACION

**EXACTITUD Y PRECISION DE LONGITUD DE ONDA**

| Tipo de Filtro | Posicion nominal del Pico | Rango | Tolerancia del Filtro | Tolerancia del Equipo | Rango Permitido (nm) | | | Valor Medido | Pasa/Falla |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Holmium | 278.68 nm | 270 a 290 | 0.11 | 0.5 | 278.07 | - | 279.29 | 278.39 | Pasa |
| Holmium | 287.79 nm | 280 a 290 | 0.11 | 0.5 | 287.18 | - | 288.40 | 287.45 | Pasa |
| Holmium | 333.79 nm | 330 a 340 | 0.11 | 0.5 | 333.18 | - | 334.40 | 334.01 | Pasa |
| Holmium | 360.60 nm | 355 a 365 | 0.11 | 0.5 | 359.99 | - | 361.21 | 360.52 | Pasa |
| Holmium | 417.6 nm | 415 a 425 | 0.11 | 0.5 | 416.99 | - | 418.21 | 417.22 | Pasa |
| Holmium | 447.64 nm | 445 a 455 | 0.11 | 0.5 | 447.03 | - | 448.25 | 447.47 | Pasa |
| Holmium | 537.22 nm | 530 a 540 | 0.11 | 0.5 | 536.61 | - | 537.83 | 537.19 | Pasa |
| Holmium | 641.6 nm | 634 a 644 | 0.11 | 0.5 | 640.99 | - | 642.21 | 641.23 | Pasa |

**EXACTITUD Y PRECISION FOTOMETRICA**

| Filtro | Longitud de Onda | Valor Nominal | Tolerancia del Filtro | Tolerancia del Equipo | Rango Permitido (Abs) | | | Valor Medido | Pasa/Falla |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 131138 | 440.0 nm | 1.0037 | 0.0027 | 0.0040 | 0.997 | - | 1.010 | 1.006 | Pasa |
| | 465.0 nm | 0.9469 | 0.0027 | 0.0040 | 0.940 | - | 0.954 | 0.948 | Pasa |
| | 546.1 nm | 1.0026 | 0.0027 | 0.0040 | 0.996 | - | 1.009 | 1.005 | Pasa |
| | 590.0 nm | 1.1147 | 0.0027 | 0.0040 | 1.108 | - | 1.121 | 1.116 | Pasa |
| | 635.0 nm | 1.1004 | 0.0027 | 0.0040 | 1.094 | - | 1.107 | 1.102 | Pasa |
| 125464 | 440.0 nm | 0.7038 | 0.0027 | 0.0040 | 0.697 | - | 0.711 | 0.703 | Pasa |
| | 465.0 nm | 0.6648 | 0.0027 | 0.0040 | 0.658 | - | 0.672 | 0.664 | Pasa |
| | 546.1 nm | 0.7012 | 0.0027 | 0.0040 | 0.695 | - | 0.708 | 0.701 | Pasa |
| | 590.0 nm | 0.7766 | 0.0027 | 0.0040 | 0.770 | - | 0.783 | 0.776 | Pasa |
| | 635.0 nm | 0.7659 | 0.0027 | 0.0040 | 0.759 | - | 0.773 | 0.765 | Pasa |
| 127722 | 440.0 nm | 0.5606 | 0.0027 | 0.0040 | 0.554 | - | 0.567 | 0.558 | Pasa |
| | 465.0 nm | 0.5228 | 0.0027 | 0.0040 | 0.516 | - | 0.530 | 0.520 | Pasa |
| | 546.1 nm | 0.5235 | 0.0027 | 0.0040 | 0.517 | - | 0.530 | 0.523 | Pasa |
| | 590.0 nm | 0.5571 | 0.0027 | 0.0040 | 0.550 | - | 0.564 | 0.556 | Pasa |
| | 635.0 nm | 0.5644 | 0.0027 | 0.0040 | 0.558 | - | 0.571 | 0.564 | Pasa |

Ing. de Servicio : **Pamela Gárate Gonzales** Firma

Cliente : **Ruly Terán** Firma

Reporte de Servicio : **ST2025-391** Fecha : **Jueves 22 de mayo del 2026**

Av. Guardia Civil N°657-661 / 6to piso / San Borja

rpasa@rpaperu.com

RESEARCH PARTNERS ASSOCIATES

CONSTRUIMOS SOLUCIONES INTEGRALES

PRUEBA DE VERIFICACIÔN POSTERIOR AL CAMBIO DEL ESPEJO 1

## *SISTEMA DE VALIDACION GENESYS 150*

Cliente : **UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTA MARÍA**

Sistema : **ESPECTROFOTOMETRO UV-VIS GENSYS 150**
Nro de Serie: **9A5X354048**

Set de Estándares de Longitud de Onda : RM-HG — Número de Serie: 43163, Fecha de Calibración: 22 de mayo del 2026

Set de Estándares de Absorbancia : RM-1N2N3N — Número de Serie: 43163, Fecha de Calibración: 22 de mayo del 2026

### SISTEMA DE VALIDACION

**EXACTITUD Y PRECISION DE LONGITUD DE ONDA**

| Tipo de Filtro | Posicion nominal del Pico | Rango | Tolerancia del Filtro | Tolerancia del Equipo | Rango Permitido (nm) | | | Valor Medido | Pasa/Falla |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Holmium | 278.68 nm | 270 a 290 | 0.11 | 0.5 | 278.07 | - | 279.29 | 278.58 | Pasa |
| Holmium | 287.79 nm | 280 a 290 | 0.11 | 0.5 | 287.18 | - | 288.40 | 287.64 | Pasa |
| Holmium | 333.79 nm | 330 a 340 | 0.11 | 0.5 | 333.18 | - | 334.40 | 334.25 | Pasa |
| Holmium | 360.60 nm | 355 a 365 | 0.11 | 0.5 | 359.99 | - | 361.21 | 360.70 | Pasa |
| Holmium | 417.6 nm | 415 a 425 | 0.11 | 0.5 | 416.99 | - | 418.21 | 417.40 | Pasa |
| Holmium | 447.64 nm | 445 a 455 | 0.11 | 0.5 | 447.03 | - | 448.25 | 447.59 | Pasa |
| Holmium | 537.22 nm | 530 a 540 | 0.11 | 0.5 | 536.61 | - | 537.83 | 537.27 | Pasa |
| Holmium | 641.6 nm | 634 a 644 | 0.11 | 0.5 | 640.99 | - | 642.21 | 641.72 | Pasa |

**EXACTITUD Y PRECISION FOTOMETRICA**

| Filtro | Longitud de Onda | Valor Nominal | Tolerancia del Filtro | Tolerancia del Equipo | Rango Permitido (Abs) | | | Valor Medido | Pasa/Falla |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 131138 | 440.0 nm | 1.0037 | 0.0027 | 0.0040 | 0.997 | - | 1.010 | 1.006 | Pasa |
| | 465.0 nm | 0.9469 | 0.0027 | 0.0040 | 0.940 | - | 0.954 | 0.948 | Pasa |
| | 546.1 nm | 1.0026 | 0.0027 | 0.0040 | 0.996 | - | 1.009 | 1.005 | Pasa |
| | 590.0 nm | 1.1147 | 0.0027 | 0.0040 | 1.108 | - | 1.121 | 1.117 | Pasa |
| | 635.0 nm | 1.1004 | 0.0027 | 0.0040 | 1.094 | - | 1.107 | 1.102 | Pasa |
| 125464 | 440.0 nm | 0.7038 | 0.0027 | 0.0040 | 0.697 | - | 0.711 | 0.703 | Pasa |
| | 465.0 nm | 0.6648 | 0.0027 | 0.0040 | 0.658 | - | 0.672 | 0.664 | Pasa |
| | 546.1 nm | 0.7012 | 0.0027 | 0.0040 | 0.695 | - | 0.708 | 0.701 | Pasa |
| | 590.0 nm | 0.7766 | 0.0027 | 0.0040 | 0.770 | - | 0.783 | 0.776 | Pasa |
| | 635.0 nm | 0.7659 | 0.0027 | 0.0040 | 0.759 | - | 0.773 | 0.765 | Pasa |
| 127722 | 440.0 nm | 0.5606 | 0.0027 | 0.0040 | 0.554 | - | 0.567 | 0.558 | Pasa |
| | 465.0 nm | 0.5228 | 0.0027 | 0.0040 | 0.516 | - | 0.530 | 0.520 | Pasa |
| | 546.1 nm | 0.5235 | 0.0027 | 0.0040 | 0.517 | - | 0.530 | 0.523 | Pasa |
| | 590.0 nm | 0.5571 | 0.0027 | 0.0040 | 0.550 | - | 0.564 | 0.557 | Pasa |
| | 635.0 nm | 0.5644 | 0.0027 | 0.0040 | 0.558 | - | 0.571 | 0.565 | Pasa |

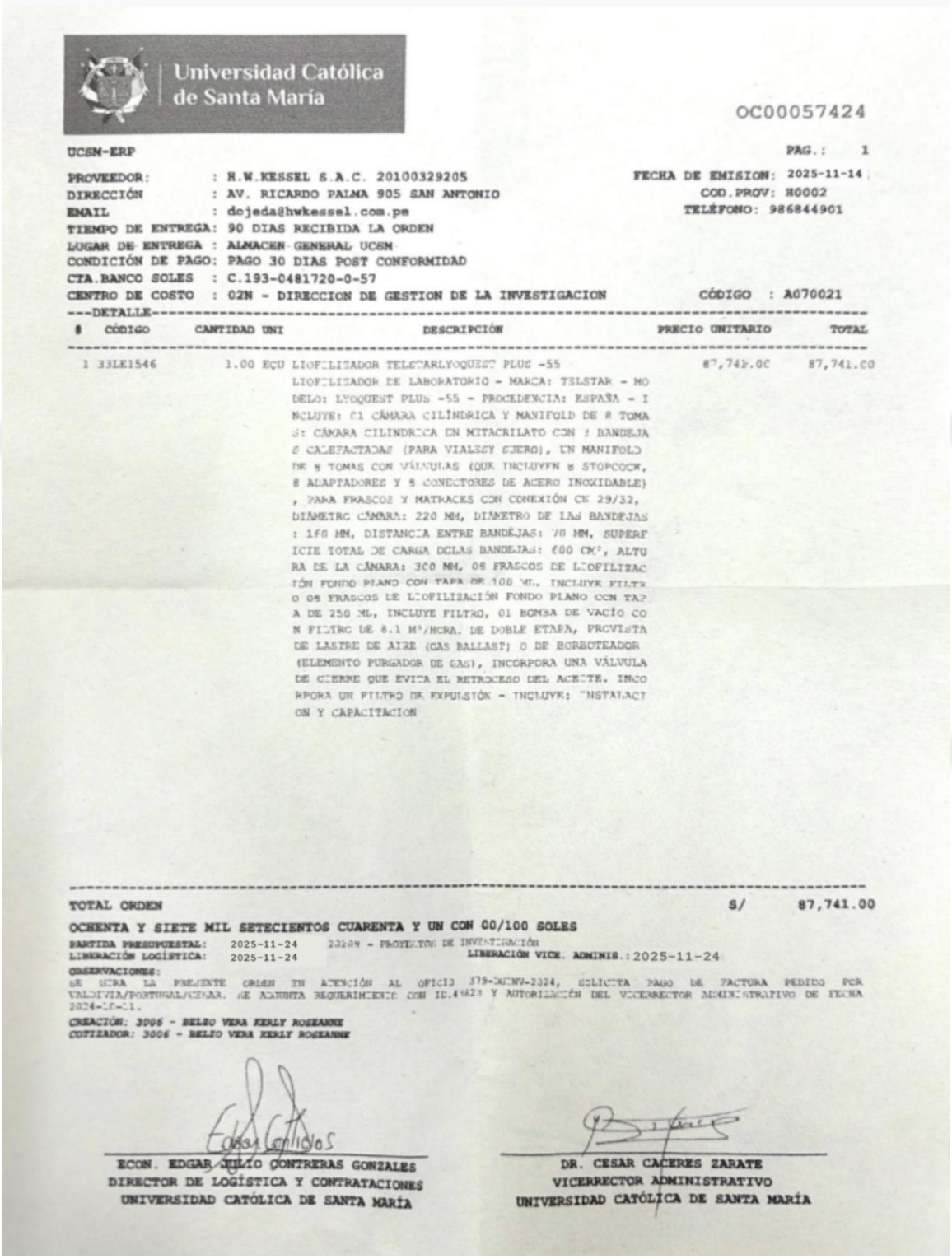
Ing. de Servicio : **Pamela Gárate Gonzales** Firma

Cliente : **Ruly Terán** Firma

Reporte de Servicio : **ST2025-391** Fecha : **Jueves 22 de mayo del 2026**

**Figura 21**

*Certificado liofilizador*



Universidad Católica de Santa María

OC00057424

UCSM-ERP PAG.: 1

PROVEEDOR : H.W.KESSEL S.A.C. 20100329205 FECHA DE EMISION: 2025-11-14
DIRECCIÓN : AV. RICARDO PALMA 905 SAN ANTONIO COD.PROV: H0002
EMAIL : dojeda@hwkessel.com.pe TELÉFONO: 986844901
TIEMPO DE ENTREGA: 90 DIAS RECIBIDA LA ORDEN
LUGAR DE ENTREGA : ALMACEN GENERAL UCSM
CONDICIÓN DE PAGO: PAGO 30 DIAS POST CONFORMIDAD
CTA.BANCO SOLES : C.193-0481720-0-57
CENTRO DE COSTO : 02N - DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION CÓDIGO : A070021

---DETALLE---

| # | CÓDIGO | CANTIDAD UNI | DESCRIPCIÓN | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 33LE1546 | 1.00 ECU | LIOFILIZADOR TELSTARLYOQUEST PLUS -55 LIOFILIZADOR DE LABORATORIO - MARCA: TELSTAR - MODELO: LYOQUEST PLUS -55 - PROCEDENCIA: ESPAÑA - INCLUYE: 01 CÁMARA CILÍNDRICA Y MANIFOLD DE 8 TOMAS: CÁMARA CILINDRICA EN METACRILATO CON 1 BANDEJA S CALEFACTADAS (PARA VIALES Y ESTERO), UN MANIFOLD DE 8 TOMAS CON VÁLVULAS (QUE INCLUYEN 8 STOPCOCK, 8 ADAPTADORES Y 8 CONECTORES DE ACERO INOXIDABLE), PARA FRASCOS Y MATRACES CON CONEXIÓN CK 29/32, DIÁMETRO CÁMARA: 220 MM, DIÁMETRO DE LAS BANDEJAS: 160 MM, DISTANCIA ENTRE BANDEJAS: 70 MM, SUPERFICIE TOTAL DE CARGA DELAS BANDEJAS: 600 CM², ALTURA DE LA CÁMARA: 300 MM, 08 FRASCOS DE LIOFILIZACIÓN FONDO PLANO CON TAPA DE 100 ML. INCLUYE FILTRO 08 FRASCOS DE LIOFILIZACIÓN FONDO PLANO CON TAPA DE 250 ML, INCLUYE FILTRO, 01 BOMBA DE VACÍO CON FILTRO DE 8.1 M³/HORA. DE DOBLE ETAPA, PROVISTA DE LASTRE DE AIRE (GAS BALLAST) O DE BORBOTEADOR (ELEMENTO PURGADOR DE GAS), INCORPORA UNA VÁLVULA DE CIERRE QUE EVITA EL RETROCESO DEL ACEITE. INCORPORA UN FILTRO DE EXPULSIÓN - INCLUYE: INSTALACION Y CAPACITACION | 87,741.00 | 87,741.00 |

TOTAL ORDEN S/ 87,741.00

OCHENTA Y SIETE MIL SETECIENTOS CUARENTA Y UN CON 00/100 SOLES

PARTIDA PRESUPUESTAL: 2025-11-24 23208 - PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
LIBERACIÓN LOGÍSTICA: 2025-11-24 LIBERACIÓN VICE. ADMINIS.: 2025-11-24

OBSERVACIONES:
SE EMITE LA PRESENTE ORDEN EN ATENCIÓN AL OFICIO 379-DGINV-2024, SOLICITA PAGO DE FACTURA PEDIDO POR VALDIVIA/PORTUGAL/CESAR. SE ADJUNTA REQUERIMIENTO CON ID.44623 Y AUTORIZACIÓN DEL VICERRECTOR ADMINISTRATIVO DE FECHA 2024-10-21.

CREACIÓN: 3006 - BELLO VERA KERLY ROSEANNE
COTIZADOR: 3006 - BELLO VERA KERLY ROSEANNE

ECON. EDGAR JULIO CONTRERAS GONZALES
DIRECTOR DE LOGÍSTICA Y CONTRATACIONES
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

DR. CESAR CACERES ZARATE
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA