



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Aerogel compuesto de nanofibrillas de celulosa y micropartículas  
de quitosano para el tratamiento de aguas mieles de café

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniera Ambiental

**AUTORAS:**

Huaman Meza, Betzi Lili ([orcid.org/0000-0002-5577-0171](https://orcid.org/0000-0002-5577-0171))

Peña Pineda, Kristhely Jasmin ([orcid.org/0000-0001-9245-7996](https://orcid.org/0000-0001-9245-7996))

**ASESOR:**

Dr. Valverde Flores, Jhonny Wilfredo ([orcid.org/0000-0003-2526-112X](https://orcid.org/0000-0003-2526-112X))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA — PERÚ

2022

*Dedicado a nosotras; por  
hacer este trabajo, por no  
tener días libres y por no  
renunciar.*

*Jasmín y Lili.*

AGRADECIMIENTO:

*A nuestro asesor el Dr. Jhonny Valverde Flores; por la guía, apoyo y motivación constante durante este largo proceso.*

*A la Mgtr. Rosalbina de la Cruz Dávila, por brindarnos las facilidades para realizar esta investigación.*

## Índice de contenidos

CARÁTULA .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras .....	vi
Índice de abreviaturas.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT .....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	20
3.1 Tipo, nivel y diseño de la investigación .....	20
3.2 Variables y operacionalización.....	21
3.3 Población, muestra, muestreo y unidad de análisis .....	22
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24
3.5 Procedimientos de la investigación .....	25
3.5.1 Materiales.....	25
3.5.2 Procedimientos.....	26
3.6 Métodos de análisis de datos.....	41
3.7 Aspectos éticos .....	41
IV. RESULTADOS .....	42
V. DISCUSIÓN .....	60
VI. CONCLUSIONES.....	66
VII. RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS .....	68
IX. ANEXO.....	81

## Índice de tablas

<b>TABLA 1.</b>	<i>Composición química de la pulpa y cascarilla de café .....</i>	<i>10</i>
<b>TABLA 2.</b>	<i>Composición química del mucílago .....</i>	<i>11</i>
<b>TABLA 3.</b>	<i>Parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café.....</i>	<i>11</i>
<b>TABLA 4.</b>	<i>Límites Máximos Permisibles de efluentes proveniente de la actividad cafetalera a cuerpos de agua.....</i>	<i>17</i>
<b>TABLA 5.</b>	<i>Límites Máximos Permitidos para aguas mieles del café según la OMS.....</i>	<i>18</i>
<b>TABLA 6.</b>	<i>Datos de la toma de muestra del agua miel de café.....</i>	<i>23</i>
<b>TABLA 7.</b>	<i>Validación de instrumento.....</i>	<i>25</i>
<b>TABLA 8.</b>	<i>Materiales utilizados para la parte experimental de la investigación .....</i>	<i>25</i>
<b>TABLA 9.</b>	<i>Análisis inicial de las aguas mieles de café.....</i>	<i>29</i>
<b>TABLA 10.</b>	<i>Concentraciones de CNF/MPCS para la elaboración del aerogel.....</i>	<i>35</i>
<b>TABLA 11.</b>	<i>Análisis fisicoquímico del agua miel de café post tratamiento respecto a las dosis .....</i>	<i>42</i>
<b>TABLA 12.</b>	<i>Eficiencia de reducción de los tiempos aplicados en el tratamiento de aguas mieles de café.....</i>	<i>45</i>
<b>TABLA 13.</b>	<i>Caracterización del aerogel CNF/MPCS.....</i>	<i>48</i>
<b>TABLA 14.</b>	<i>Eficiencia del aerogel CNF/MPCS para aguas mieles de café respecto al tiempo y dosis óptimo .....</i>	<i>50</i>
<b>TABLA 15.</b>	<i>Eficiencia del aerogel de CNF/MCPS según los parámetros fisicoquímicos evaluados .....</i>	<i>50</i>
<b>TABLA 16.</b>	<i>Prueba de normalidad de los parámetros fisicoquímicos respecto a la dosis del aerogel CNF/MPCS .....</i>	<i>54</i>
<b>TABLA 17.</b>	<i>Prueba de normalidad de los parámetros fisicoquímicos respecto a los tres tiempos aplicados al tratamiento de aguas mieles de café.....</i>	<i>56</i>
<b>TABLA 18.</b>	<i>Prueba de normalidad para capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS.....</i>	<i>57</i>
<b>TABLA 19.</b>	<i>Prueba t-Student para los resultados pre y post de los parámetros fisicoquímicos: SDT, CE, DQO y pH.....</i>	<i>58</i>
<b>TABLA 20.</b>	<i>Prueba de Wilcoxon para aceites y grasas pre y post tratamiento .....</i>	<i>59</i>

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b>	Composición del fruto del café.....	9
<b>Figura 2.</b>	Etapas del beneficio húmedo.....	9
<b>Figura 3.</b>	Tipos de material celulósico obtenidos a partir de residuos vegetales. a) Celulosa microcristalina; b) Nanocelulosa; c) nanofibras; d) nanocristales; e) celulosa bacteriana.....	13
<b>Figura 4.</b>	Adsorción vs. absorción: diferencia y comparación.....	15
<b>Figura 5.</b>	Diferencia de la estructura química de quitina (chitin) y quitosano (chitosan).....	15
<b>Figura 6.</b>	Descripción esquemática de las principales etapas de producción de quitina y quitosano.....	16
<b>Figura 7.</b>	Aguas mieles sin filtrar provenientes del beneficio húmedo del café.....	22
<b>Figura 8.</b>	Pozo de almacenamiento de aguas mieles filtradas provenientes del beneficio húmedo del café.....	23
<b>Figura 9.</b>	Flujograma de las etapas de la investigación.....	26
<b>Figura 10.</b>	Ubicación de la zona de recolección de la pulpa de café.....	27
<b>Figura 11.</b>	Ubicación de la zona de recolección del exoesqueleto de cangrejo.....	27
<b>Figura 12.</b>	Toma de muestra de las aguas mieles del café.....	28
<b>Figura 13.</b>	Flujograma del proceso de obtención de CNF a partir de la pulpa de café.	31
<b>Figura 14.</b>	CNF a partir de la pulpa de café.....	32
<b>Figura 15.</b>	Micropartículas de quitosano (MPCS).....	33
<b>Figura 16.</b>	Flujograma de obtención de MPCS a partir del exoesqueleto del cangrejo.	34
<b>Figura 17.</b>	Flujograma de elaboración del aerogel CNF/MPCS.....	36
<b>Figura 18.</b>	Aerogeles después del tratamiento de aguas mieles del café: a) aerogel A1. b) aerogel A2. c) aerogel A3. ....	37
<b>Figura 19.</b>	Proceso de absorción del aerogel: a) vista lateral del aerogel CNF/MPCS sumergido en aguas mieles. b) vista superior del aerogel CNF/MPCS sumergido en aguas mieles de café.....	40
<b>Figura 20.</b>	Diagrama de cajas y bigotes de los parámetros: a) pH, b) SDT, c) CE, d) DBO y e) aceites y grasas respecto a las dosis del aerogel CNF/MPCS.....	44

<b>Figura 21.</b> Diagrama de cajas y bigotes: a) pH, b) SDT, c) aceites y grasas, d) CE y e) DQO en relación en los tres tiempos del tratamiento. ....	46
<b>Figura 22.</b> Gráfico de barras para capacidad de absorción y porosidad del aerogel CNF/MPCS respecto a las dosis A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> y A <sub>3</sub> .....	49
<b>Figura 23.</b> Gráfico de líneas para pH.....	51
<b>Figura 24.</b> Conductividad eléctrica (CE) .....	52
<b>Figura 25.</b> Sólidos disueltos totales (SDT) .....	52
<b>Figura 26.</b> Demanda química de oxígeno (DQO).....	53
<b>Figura 27.</b> Aceites y grasas .....	53

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de reducción de los parámetros fisicoquímicos en aguas mieles de café con la aplicación del aerogel compuesto de nanofibrillas de celulosa (CNF) y micropartículas de quitosano (MPCS). El agua miel y la pulpa de café fueron recolectados de una finca ubicado en el distrito de Villa Rica (Oxapampa-Pasco) y el exoesqueleto de cangrejo peludo (*Romaleon setosum*) del Terminal Pesquero de Villa María del Triunfo. Se empleó la investigación cuantitativa de tipo aplicada; el diseño experimental fue a escala de laboratorio y estuvo constituido por 27 unidades experimentales: 3 dosis del aerogel CNF/MPCS, A1 (1,2 g/ 0,3 g), A2 (0,75 g/ 0,75 g) y A3 (0,3 g/1,2 g) en 3 repeticiones por cada tiempo de 60, 120 y 180 minutos. Asimismo, los resultados obtenidos indicaron que la dosis de 1,2 g/ 0,3 g de CNF/MPCS fue la más óptima en un tiempo de 60 minutos, logrando una eficiencia de reducción de 12% para CE, 16% SDT, 89% DQO y 97% para aceites y grasas. Se concluyó que, el aerogel CNF/MPCS es eficiente significativamente para la reducción de DQO, aceites y grasas en las aguas mieles de café.

**Palabras clave:** aerogel, nanofibrillas de celulosa, micropartículas de quitosano, aguas mieles.



## ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the efficiency of reduction of the physicochemical parameters in coffee honey water with the application of the airgel composed of cellulose nanofibrils (CNF) and chitosan microparticles (MPCS). Honey water and coffee pulp were collected from a farm located in the Villa Rica district (Oxapampa-Pasco) and the hairy crab (*Romaleon setosum*) exoskeleton from the Villa María del Triunfo Fishing Terminal. Quantitative research of the applicative type was used; the experimental design was on a laboratory scale and consisted of 27 experimental units: 3 doses of CNF/MPCS airgel, A1 (1.2 g/0.3 g), A2 (0.75 g/0.75 g) and A3 (0.3 g/1.2 g) in 3 repetitions for each time of 60, 120 and 180 minutes. Likewise, the results obtained indicated that the dose of 1.2 g/0.3 g of CNF/MPCS was the most optimal in a time of 60 minutes, achieving a reduction efficiency of 12% for CE, 16% SDT, 89 % COD and 97% for oils and fats. It was concluded that the CNF/MPCS airgel is significantly efficient for the reduction of COD, oils and fats in coffee honey water.

**Keywords:** aerogel, cellulose nanofibrils, chitosan microparticles, honey waters.

## I. INTRODUCCIÓN

El café es la materia prima más comercializada en el mundo, después del petróleo. Su oferta y demanda crecen de manera progresiva tanto en mercados desarrollados y mercados emergentes (Cámara Peruana de Café y Cacao, 2017). Durante el 2020, Perú cosechó 234,100 toneladas de café, ocupando el 7mo lugar en exportación y posicionando al café como el producto agrícola más exportado a nivel nacional (Sierra y Selva Exportadora, 2021), siendo las regiones de Cajamarca, Pasco, Amazonas y Cusco con mayor producción (Junta Nacional del Café, 2021).

Sin embargo, es considerada una de las actividades económicas más contaminantes, puesto que el procesamiento de este fruto genera subproductos de gran importancia y alto impacto ambiental. En la producción del grano de café solo el 5% del fruto fresco es aprovechado y el 95% carece de valor económico, este último conformado por residuos orgánicos y aguas residuales (también conocidas como aguas mieles), estas vagamente aprovechados y depositados sin tratamiento previo (Torres *et al.*, 2019).

La transformación del café cerezo en pergamino seco, pasa por un proceso llamado beneficio húmedo que consiste en aislar el grano del cerezo, proceso que consume alrededor de 40 L de agua por 1 Kg de café (Barreto *et al.*, 2019). Los efluentes líquidos se encuentran contaminados por altas concentraciones de materia orgánica, sacarosa, glucosa y pH ácido; al ser descargadas en aguas superficiales modifican la acidez del medio acuático, ocasionando la eutrofización, disminución de la flora y fauna, en algunos casos contaminan agua destinada para el consumo humano (Morales *et al.*, 2021).

Las aguas mieles deberían de ser tratadas antes de ser liberadas al entorno natural, por lo que es necesario aplicar un tratamiento previo que no implique altos costos de implementación y mantenimiento. Al respecto, la investigación aportará con la elaboración de un aerogel a base de nanofibrillas de celulosa y micropartículas de

quitosano (CNF/MPCS), a partir del reaprovechamiento de residuos orgánicos como la pulpa de café y el exoesqueleto de cangrejo; con el fin de tratar las aguas mieles.

La reutilización de residuos orgánicos constituye una alternativa a la acumulación de desechos sin disposición final adecuada como la pulpa del café que al separarse del grano por vía húmeda posee la característica de absorber agua en gran cantidad, lo que dificulta el manejo y aprovechamiento de este desecho sólido. Cabe mencionar que, por una tonelada del café cerezo procesado se genera media tonelada de desechos de pulpa (Figueroa *et al.*,2015).

Por otro lado, el procesamiento industrial de los recursos hidrobiológicos genera gran cantidad de desechos como los exoesqueletos de cangrejos (Sirvas y Perochena, 2020). El 67% de cada ejemplar es desechado, residuo que termina enterrado o depositado en basurales a cielo abierto causando un impacto ambiental como la generación de malos olores (Lombardi, 2017). También, en los mercados pesqueros se generan residuos durante el proceso de eviscerado ya que no se realiza una correcta disposición (Durand, 2019).

Por lo expuesto, se formuló el siguiente problema general: ¿cuál es la eficiencia de reducción de los parámetros fisicoquímicos del agua miel de café con la aplicación del aerogel CNF/MPCS? Así mismo, como problemas específicos, ¿cuál es la dosis óptima de CNF/MPCS para la reducción de los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café?, ¿cuál es el tiempo óptimo de reducción de los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café con la aplicación del aerogel CNF/MPCS? y ¿cuál es la capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS para la reducción de los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café?

La investigación se justifica a nivel teórico, considerando la existencia de diferentes enfoques y teorías sobre los tratamientos de aguas mieles de café y elaboración de aerogeles. En base a lo referido por Mo *et al.*, que el aerogel a partir de residuos forestales y madereros presenta una excelente capacidad selectiva, adsorción y regeneración rápida para disminuir la concentración de contaminantes objetivo

(2022), el uso de la pulpa de café y el exoesqueleto de cangrejo para la elaboración del aerogel podría denominarse como una alternativa no convencional que puede ser parte de la respuesta para el tratamiento adecuado y posterior reutilización de aguas mieles y de esta forma poder evitar su contaminación en un medio natural. En la justificación práctica, el aerogel CNF/MPCS puede ser utilizado para tratar efluentes líquidos optando por una tecnología sostenible a través del aprovechamiento integral de los recursos naturales favoreciendo la economía circular y la bioeconomía, otorgándole un valor agregado a estos residuos. A nivel metodológico se buscó desarrollar un aerogel CNF/MPCS libre de reactivos químicos y de bajo costo mediante el uso del ácido cítrico (CA) que no es tóxico y se encuentra entre los ácidos orgánicos naturales de algunas frutas como naranjas y limones, además de la carboximetilcelulosa (CMC) que es un polímero natural (Darabitabar et al., 2020).

El objetivo general de la investigación es: Evaluar la eficiencia de reducción de los parámetros fisicoquímicos del agua miel de café con la aplicación aerogel CNF/MPCS; siendo así los objetivos específicos: determinar la dosis óptima de CNF/MPCS para la reducción de parámetros fisicoquímicos en aguas mieles de café, determinar el tiempo óptimo de reducción de los parámetros fisicoquímicos en aguas mieles de café con la aplicación de aerogel CNF/MPCS y determinar la capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS para la reducción de los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café.

Finalmente, se formuló la hipótesis general: El aerogel CNF/MPCS es eficiente significativamente para la reducción de los parámetros fisicoquímicos en aguas mieles de café; y las hipótesis específicas, H1: la dosis óptima de CNF/MPCS permite la mayor reducción de parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café, H2: el tiempo óptimo permite la mayor reducción de parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café y H3: la capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS influye en la reducción de parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café.

## II. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de la investigación se revisaron investigaciones previas sobre los distintos tratamientos de aguas mieles de café. Asimismo, sobre la aplicación de la nanocelulosa, quitosano y aerogeles compuestos para el tratamiento en aguas residuales.

Los efluentes provenientes del procesamiento húmedo del café contaminan cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos (Molina, 1999), es por ello que algunos investigadores optaron por la biorremediación para la eliminación de contaminantes. Ashenafi Hailemaríam *et al.*, (2021) trató estos efluentes mediante el uso de cultivos mixtos de bacterias *Pseudomonas fluorescens* y *Escherichia coli* para reducir la DBO<sub>5</sub>, DQO y ST, con una disminución de hasta 81,67%, 87,94% y 33,79%, respectivamente. Por su parte, Ancy *et al.*, (2020) evaluó la eficacia de las bacterias acidófilas autóctonas presentes en las aguas del procesamiento del café (*Enterobacter ludwigii*, *Bacillus cereus*, *Enterobacter aerogenes* y *Enterobacter cloacae*), los consorcios bacterianos eliminaron aproximadamente 40,9% de SDT, 48,7% de DQO y redujo el color del agua residual en un 23,75%.

Por otro lado, algunos investigadores optaron por el uso de microorganismos eficaces (ME) como Rojas (2019) que, en un reactor tipo Batch, logró porcentajes de remoción que fluctuaron entre 8,09% a 50,10% de SST, 16,14% a 40,81% de DBO<sub>5</sub> y 24,53% a 51,58% de DQO. García (2017) removió el 51,59% de DQO, 56,95% de DBO<sub>5</sub>, la remoción de SST fue mínimo. Mientras que Ángulo (2018), no obtuvo variaciones significativas en los parámetros evaluados: pH, DQO, DBO<sub>5</sub> y ST, no obstante, el investigador refiere que, a mayores dosis de ME, se logró la neutralidad del pH y reducción de la carga de DBO después de 45 días. Goycochea (2021) evaluó la eficiencia de tres tratamientos con microorganismos de montaña (MM) logrando valores de remoción de DBO<sub>5</sub> en 65,02%, en dosis de 10mL. Para la dosis de 20 mL la remoción de DQO fue de 71,30%, potasio total en 55,84%, nitrógeno total de 58,01% y SST de 45,08%.

Desde otra perspectiva, las aguas mieles se pueden remediar mediante la fitorremediación por especies macrófitos, por lo que Neira (2021) obtuvo una disminución de DQO de 833,5 mg/L, DBO<sub>5</sub> 708,5 mg/L, ST 132,5 mg/L, nitratos 5,35 mg/L, nitritos 3,25 mg/L, fósforo total 5,55 mg/L, turbidez 42,5 NTU y pH 5,02, en aguas mieles de café.

También, el uso de coagulantes naturales y químicos es una alternativa factible para el tratamiento de estos efluentes. Por lo que, Garde *et al.*, (2017) utilizaron el proceso de coagulación con el extracto de la semilla de Moringa Oleifera para la eliminación de SST, DQO, nitrito, nitrato y nitrógeno total. Las reducciones oscilaron entre 8% y 54% de SST, 1% y 25% de DQO y 20% y 100% de nitritos y nitratos. Al igual que, Vasanthy *et al.*, (2020) redujeron el 75% de SDT, 80% de DQO, 80% del color y el cambio en el pH de 3,7 a 5,2, a través de la proteína L. presente en la semilla de la planta de Ricino.

Mientras que, Can *et al.*, (2019) optaron por la coagulación química con FeSO<sub>4</sub>, FeCl<sub>3</sub>, AlCl<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>) y la electrooxidación para la eliminación de TOC y DQO. El AlCl<sub>3</sub> mostró mejores resultados, eliminó el 28% de TOC y 55% de DQO, el electrodo BDD redujo en un 95% de TOC y 97% de DQO. A su vez Gomes de Barras *et al.*, (2019) trataron el agua miel por oxidación de Fenton y coagulación-floculación obteniendo resultados en un 76,2%, 76,5% y 66,3% para TOC, DQO y DBO<sub>5</sub>, respectivamente. Del mismo modo, Sahana *et al.*, (2018) mediante el proceso de coagulación electroquímica discontinua con electrodos de acero inoxidable y Fe, utilizó distintas combinaciones obteniendo una eliminación de DQO de 87% y de color 97,1%. La segunda mejor combinación de electrodos tuvo remociones de DQO y color de 75% y 91%. También, Takashina *et al.*, (2018) obtuvieron resultados eficientes para la eliminación del color (de 85% y 99%) utilizando ozono (O<sub>3</sub>) y procesos combinados de ozono/ultravioleta (O<sub>3</sub>/UV).

El uso de bioadsorbentes para la remoción de diversos contaminantes presentes en aguas residuales se viene desarrollando con más frecuencia por lo que, Barreto *et al.*, (2020) diseñaron y construyeron un prototipo de sistema para el tratamiento de efluentes provenientes del beneficio del café mediante el uso del bioadsorbente

obtenido de la semilla Moringa Oleifera. La disminución de la DBO<sub>5</sub>, DQO, aceites y grasas y SST oscilan entre 86% y 77%, 87% y 80%, 70% y 51%, y 92% y 85%, respectivamente.

Para el tratamiento de aguas residuales se ha impulsado nuevos métodos como la aplicación de nanocelulosa extraída de residuos vegetales. De esta manera Septevani *et al.*, (2019) elaboró un superadsorbente de nanocelulosa a base de racimos de frutos vacíos de palma aceitera. La reducción de DQO fue de 93% con la combinación de nanocelulosa y carbón activo, en comparación con el 70% con el superadsorbente de nanocelulosa pura. Así como también, Suopajärvi *et al.*, (2017) prepararon nanocelulosa a partir de abedul (*Betula pendula*) catiónicas. Su eficacia en la reducción de la turbidez fue superior al 85% y de DQO fue de 40%. También, se dio como resultado una buena eficiencia para la eliminación de coloides.

Cabe precisar que la nanocelulosa optimiza el tratamiento de aguas residuales contaminadas con aceites y metales pesados. Phanthong *et al.*, (2017) elaboró una esponja de nanocelulosa de madera dura blanqueada, los investigadores indicaron que la esponja repele el agua, absorbe aceites y líquidos orgánicos de alta densidad (de 0,65 hasta 1,33 g/cm<sup>3</sup>), la capacidad de absorción disminuye, en promedio, 6% después de cada ciclo, cabe resaltar, que esta esponja puede ser recuperada y reutilizada al menos 10 ciclos. Goswami *et al.*, (2021) utilizó una nanomembrana formada de nanocristales de celulosa y quitosano para eliminar iones de cromo en una solución acuosa. Se realizaron 10 ciclos repetitivos para evaluar el potencial de la membrana, en los 4 primeros ciclos la concentración de iones de cromo osciló entre 87 a 29 ppm, después de estos ciclos no se presentaron cambios significativos. Se observó que las membranas presentan algunas deficiencias en el tiempo de saturación (de 4 a 5 min) y la obstrucción de los poros que imposibilita la eliminación de iones de cromo.

El quitosano es un material biológico, altamente coagulante que favorece el tratamiento de aguas residuales alcalinas y con mayor turbidez. Por ello, Olajire y Bamigbade (2021) elaboraron un nanocompuesto de quitosano a base de hierro y

plata (CS-Fe/Ag). El CS-Fe/Ag dio remociones de DBO<sub>5</sub> (48,7%), DQO (15,5%) y SDT (54,9%). El CS puro dio resultados de DBO<sub>5</sub> (25,5%), DQO (3,6%) y TDS (38,9%). Liang *et al.*, (2021) fabricó una esponja a base de quitosano reticuladas con jugo de limón para la eliminación de disolventes orgánicos. La capacidad de adsorción para los disolventes orgánicos fue de 20 a 50 g/g. Kangama *et al.*, (2018) combinó el quitosano, cloruro de polialuminio y rectorita modificada (Al (OH)<sub>3</sub>+HCl) para preparar el floculante compuesto para el tratamiento de agua de grifo. La tasa de remoción de turbidez fue de 96.38% y 80.1% de aluminio.

Los aerogeles, debido a su composición, poseen múltiples aplicaciones en los que destacan su capacidad de adsorción para metales pesados, aceites y grasas, entre otros. Oliveira, Godinho y Zattera (2018) desarrollaron un aerogel hidrofóbico a partir de nanofibras de celulosa obtenidas de residuos de la industria del mueble (*Pinus elliotii*). El petróleo en medio heterogéneo, el aerogel alcanzó 19,05 g/g de sorción entre los 180 y 300s, para aceite vegetal fue de 13,73 g/g entre los 1500 y 4500. Mo *et al.*, (2021) desarrolló un adsorbente de aerogel de nanocelulosa extraída de la madera, la capacidad máxima de adsorción para Pb (II) fue de 571 mg/g, Cu (II) de 462 mg/g, Zn (II) de 361 mg/g, Cd (II) de 263 mg/g, y Mn (II) de 208 mg /g. El aerogel presentó una mayor afinidad por Pb (II) llegando a absorber en un 87 a 100% en 2 a 10 min.

Ji *et al.*, (2020) formaron un aerogel microporoso ecológico y de bajo costo en una estructura de nanofibra de celulosa. El aerogel manifestó una baja densidad e hidrofobicidad favorable, siendo vitales para una absorción altamente eficiente para aceites, disolventes orgánicos, cloroformo (108g/g) y Cu (II) que fue de 45,6 mg/L. Zhang *et al.*, (2021) sintetizó un aerogel de nanofibra de celulosa anisotrópica y quitosano recuperable con la finalidad de absorber aceites y disolventes orgánicos. A medida que el contenido de quitosano aumentaba, la capacidad de absorción aumentó de 82 a 253 g/g. Zhang *et al.*, (2020) elaboraron aerogeles ultraligeros y altamente porosos a partir de nanocelulosa cristalina y quitosano. El aerogel demostró una eficiencia de separación aceite-agua superior al 99,9% después de 50 ciclos. Alrededor del 83% del cloro activo perdido se pudo recuperar después de la recoloración, indicando que el aerogel tiene buenos resultados de regeneración.

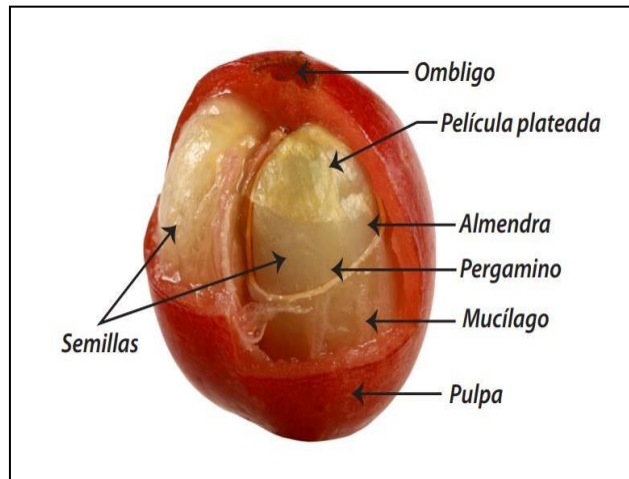


Después de la cloración el aerogel 3-C1 mostró una eficacia antibacteriana y pudo matar el 100% de *S. aureus* y *E. coli*.

Rong *et al.*, (2021) desarrolló un aerogel de nanofibras de celulosa, quitosano y montmorillonita mediante un método simple de congelación direccional con nitrógeno para la adsorción de  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  y  $\text{Cd}^{2+}$  en aguas. Los resultados indicaron que la capacidad de adsorción puede llegar a 1810,92 mg/g, 170,19 mg/g y 163,85 mg/g, respectivamente. Zhang *et al.*, (2021) sintetizó un aerogel de nanofibra de celulosa anisotrópica y quitosano recuperable mediante un proceso de reticulación química y fundición por congelación direccional con la finalidad de absorber aceites y disolventes orgánicos. Los resultados evidenciaron que a medida que el contenido de quitosano aumentaba, la capacidad de absorción aumentó de 82 a 253 g/g, además mostró una alta reutilización del 95% de su capacidad de absorción inicial después de 50 ciclos de adsorción y desorción.

Darabitar *et al.*, (2020) produjeron un aerogel de CNF de desechos de caña de azúcar para el tratamiento de aguas residuales de acuicultura. El pH influyó en la eliminación de nitratos, nitritos y fósforo, al cambiar el pH de 4 a 6 ( $t= 60$  min) la adsorción fue de 79,14%, 75,65% y 99,09%, respectivamente. Rizal *et al.*, (2021) prepararon y caracterizaron un aerogel de nanocelulosa y quitosano, concluyendo que el aerogel CNF puro tuvo la porosidad más alta y la densidad más ligera, pero mostró malas propiedades mecánicas y una alta capacidad de absorción del agua. Mezclar CS con CNF mejoró significativamente las propiedades mecánicas y reduce su absorción de agua.

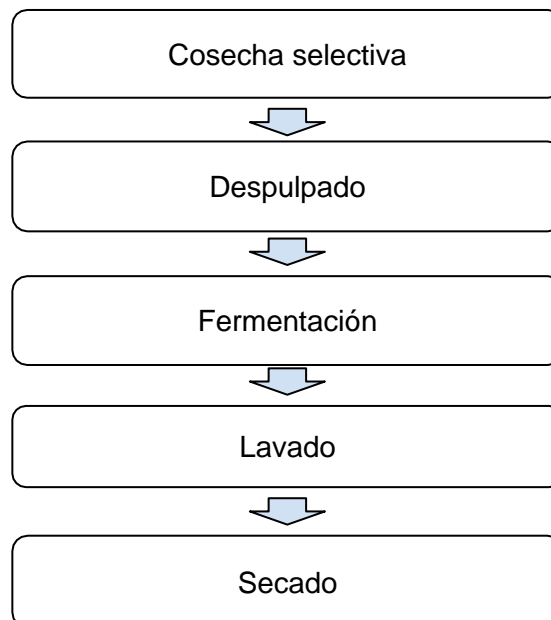
De acuerdo con las variables a estudiar en la investigación, se han desarrollado las siguientes bases teóricas: El fruto del café, según Roa *et al.*, (1999), es también llamado café cereza (ver fig. 1) debido al color rojo que presenta en la madurez, está conformada por una parte carnosa (pulpa y mucílago) y la doble membrana pergamino, este último es la membrana adherida a la semilla (p.2).



**Figura 1.** Composición del fruto del café.

Fuente: Ramos et al., 2010.

Gomes (1894) menciona, que el café, para ser comercial es necesario que pase por tratamientos sucesivos para la obtención del café pergamino (p.56). Existen dos tipos de tratamientos: vía húmeda o beneficio húmedo y vía seca o beneficio ecológico. Pineda *et al.*, (2001) refieren que mediante el beneficio húmedo se producen cafés de alta calidad a diferencia de la vía seca que produce cafés orgánicos y de menor calidad.



**Figura 2.** Etapas del beneficio húmedo.

Fuente: Elaboración propia.

Aguilar *et al.*, describe la fase húmeda e indica que esta fase inicia con la recepción de los frutos que se depositan en tanques con agua para evitar que el cerezo se caliente e inicie su fermentación. En esta etapa se eliminan las impurezas, seguidamente ocurre el despulpado, que consiste en el desprendimiento de la pulpa y la cascarilla. Los granos del café comienzan a fermentarse para eliminar el mucílago; posteriormente, se lava para remover los residuos restantes del mucílago. Finalmente, el café es secado para reducir su humedad, ya en esta fase se tiene como producto el "café oro" (2014).

Dentro del beneficio húmedo se generan subproductos: la pulpa, el mucílago y el agua contaminada. Según Figueroa *et al.*, la pulpa se caracteriza por su color rojo, su principal característica se asemeja a la de una esponja debido a la absorción de agua, por ello posee un alto porcentaje de humedad. Representa el 61% del fruto fresco y a su vez es el residuo que ocasiona mayor contaminación, ya que requiere un mayor tiempo de degradación (2015). En la tabla 1, se presenta la composición química de la pulpa de café.

**TABLA 1.** *Composición química de la pulpa y cascarilla de café*

Parámetros (%)	Pulpa	Cascarilla
Celulosa	63.0 ± 2.5	43.0 ± 8.0
Hemicelulosa	2.3 ± 1.0	7.0 ± 3.0
Lignina	17.5 ± 2.2	9.0 ± 1.6
Otros	11.48 ± 1.99	11.32 ± 5.02

*Fuente:* Adaptada de Lopez, 2014.

La pulpa al absorber agua y al ser uno de los residuos más voluminosos dificulta su transporte y disposición adecuada, es por ello, que sin un tratamiento previo es depositada en cuencas y terrenos agrícolas, su proceso de fermentación genera la formación de cargas orgánicas de 20 Kg/qq de oro (Figueroa *et al.*, 2015).

El mucílago, es la parte media entre la pulpa y cascarilla del café, mide de 0.5 a 2 mm de grosor. De composición física es un hidrogel, compuesto por agua, ácidos orgánicos, azúcares y pectinas; pH ácido que usualmente se encuentra entre 5.6 a 6, aproximadamente (Figuroa *et al.*, 2015). En el beneficio húmedo, representa el 14,85% del café fresco. En la tabla 2, se presenta la composición química.

**TABLA 2.** *Composición química del mucílago*

Materias pépticas totales	33%
Azúcares reductores	30%
Azúcares no reductores	20%
Celulosas, cenizas, etc.	17%

*Fuente: Pineda et al., 2001.*

Según Pineda *et al.*, (2001) el beneficio húmedo del café genera considerables volúmenes de agua en el proceso de despulpado, el cual es utilizado para el arrastre de la pulpa y lavado de los granos de café. Estas aguas residuales son llamadas aguas mieles debido a la composición química y física de la pulpa y mucílago mediante su aporte en carga orgánica, glucosa y sacarosa. El agua miel contiene una carga de DQO de 115 g por 1 kilogramo de café fresco (Rodríguez, 2015). En la tabla 3, se observa los parámetros fisicoquímicos presentes de aguas mieles.

**TABLA 3.** *Parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café.*

Físico		
pH	Escala de pH	4.12 ± 0.33
Temperatura	°C	21.84 ± 1.22
CE	µS/cm	818.61 ± 3.98
SDT	mg/L	406.88 ± 2.37
OD	mg/L	7.58 ± 0.57
Salinidad	mg/L	371.06 ± 2.04

SST	mg/L	2535.64 ± 14.7
Químico		
DBO <sub>5</sub>	mg/L	7796.38 ± 468.20
DQO	mg/L	13370 ± 501.31
PO <sup>3-</sup> <sub>4</sub>	mg/L	9.33 ± 1.06
Cl <sup>-</sup>	mg/L	57.13 ± 1.08
NH <sup>+</sup> <sub>4</sub>	mg/L	5.98 ± 0.71
NO <sup>-</sup> <sub>3</sub>	mg/L	25.41 ± 1.88
NO <sup>-</sup> <sub>2</sub>	mg/L	1.02 ± 0.60
Cu	mg/L	0.21 ± 0.02
Pb	mg/L	<0.01

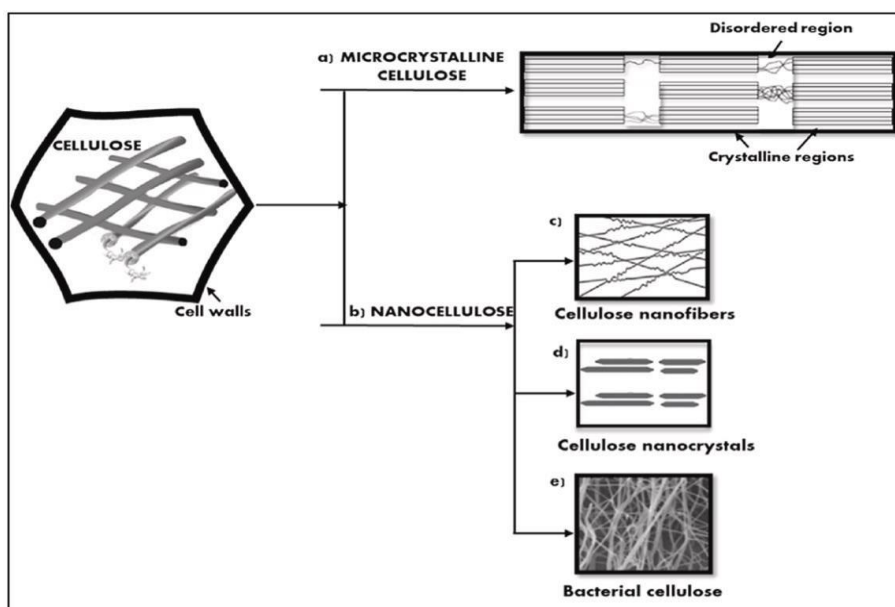
*Fuente:* Bisekwa, Njogu y Taye, 2020.

Los residuos producidos por la industria del café pueden ser aprovechados para disminuir su impacto ambiental. Una de las alternativas comunes es el uso de la pulpa en el compostaje. Soto y Muñoz (2002) mencionan, que es una fuente energética debido al alto contenido de azúcar; además, posee una afable relación carbono: nitrógeno y un tamaño de partícula adecuado. Lo cual convierte a este residuo en una alternativa favorable de bajo costo para la obtención de una enmienda ecológica de calidad (Pierre *et al.*, 2009). Asimismo, el uso de la pulpa como fertilizante orgánico es una alternativa prometedora para aumentar el contenido de humos y estimular la vida microbiológica del suelo. Las concentraciones de nutrientes en la pulpa; rica en fósforo, calcio, potasio, magnesio, azufre, hierro y boro favorecen la fertilidad del suelo. También, el alto contenido de celulosa y hemicelulosa facilita la elaboración de papel y representa un excelente reemplazo como materia prima del papel amate, obtenido de la corteza del árbol (Figuerola *et al.*, 2015).

Por otro lado, las fibras vegetales de la pulpa poseen tres componentes importantes: lignina, hemicelulosa y celulosa. Las hemicelulosas son polisacáridos no celulósicos; compuestas por hexosas, pentosas y ácidos uránicos. Une a la celulosa y lignina proporcionando estabilidad y rigidez a la pared celular. Su peso molecular es menor a la celulosa por lo que es soluble en medios acuosos.

Constituye el 25% en la madera y de 20% a 40% en residuos orgánicos de las cosechas (Blasco, 1970; Hernández y Sastre, 1999). La lignina es el compuesto orgánico más cuantioso en las plantas; después de la celulosa. Forma parte del soporte estructural, ya que aporta fuerza y resistencia a las paredes celulares primarias (Taiz y Zeiger, 2006). La celulosa es el componente principal de las células vegetales y es la macromolécula natural más abundante de la tierra. Es un biopolímero lineal, su unidad básica es la D-glucosa unida por un enlace glucosídico  $\beta$  (1-4) para formar moléculas de celobiosa (Klemm *et al.*, 2005). El contenido y las características de la celulosa pueden variar según su origen: vegetal, animal y bacteriano. La investigación se centrará en el residuo vegetal (ver Fig. 3).

Los materiales celulósicos presentan regiones cristalinas separados por otros menos ordenados llamados regiones amorfas; que son puntos potenciales para ataques químicos y bioquímicos, los dominios amorfos se encuentran en la celulosa nativa en distintas proporciones en función de la especie vegetal, condiciones de crecimiento o parte de la planta (Bras *et al.*, 2011). La aplicación de la nanocelulosa abarca la síntesis de nanopartículas, formulaciones de base acuosa, compuestos de refuerzo, etc.



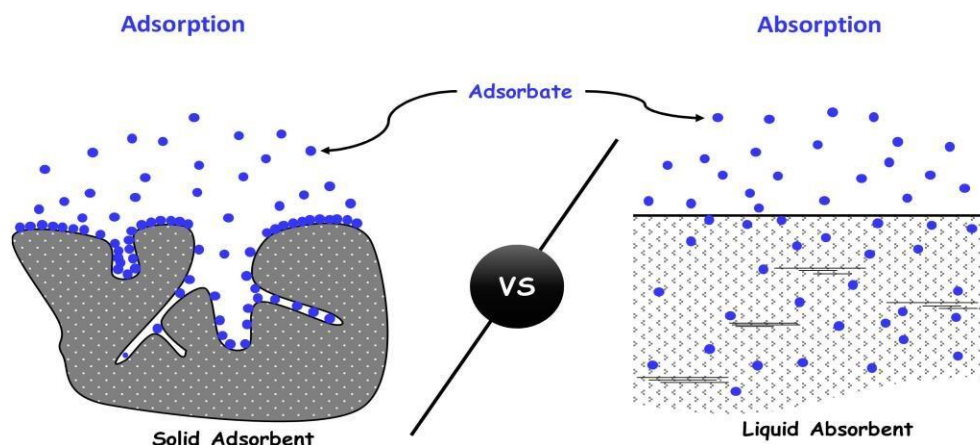
**Figura 3.** Tipos de material celulósico obtenidos a partir de residuos vegetales. a) Celulosa microcristalina; b) Nanocelulosa; c) nanofibras; d) nanocristales; e) celulosa bacteriana

Fuente: Ventura *et al.*, 2021.

Nickerson y Habrle (1947) produjeron por primera vez nanocristales de celulosa (CNC) de alta cristalinidad mediante hidrólisis ácida (HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), estos CNC son muy rígidos debido a su naturaleza cristalina y la ausencia de celulosa amorfa. Por el contrario, las nanofibrillas de celulosa (CNF) conservan sus porciones amorfas de las fibras de celulosa; estas fueron aisladas por primera vez por Herrick *et al.*, (1983) y Turbak *et al.*, (1983). Los tratamientos químico-mecánico son esenciales para el aislamiento de CNF. En la actualidad los CNF se presentan en polvos redispersables de agua, suspensión, películas o nanopapeles, hidrogeles y aerogeles (Alle *et al.*, 2020).

El aerogel es un material mesoporoso derivado del sol-gel con propiedades extraordinarias; como su baja densidad, alta porosidad y superficie química ajustable. Los estudios recientes sobre los materiales basados en aerogel se dan especialmente en remediación ambiental; reportando la eliminación de compuestos volátiles del aire, eliminación de iones metales pesados, aceites y contaminantes orgánicos del agua. También, en la utilidad de descomposición de contaminantes orgánicos e inorgánicos de ambientes terrestres y acuáticos (Gizli *et al.*, 2022, p.195).

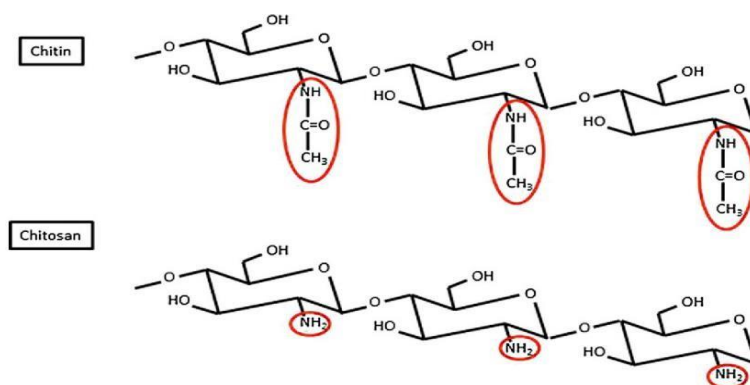
La sorción engloba el proceso de absorción o adsorción (Fig. 4). El proceso de absorción se basa en el ingreso de una sustancia (absorbente) en el volumen de otro material (absorbente). La absorción es el proceso de separación en el que algunos de los componentes de la fase fluida se transfieren a la superficie del material absorbente sólido. Su proceso representa la capacidad de algunos sólidos para absorber en su estructura materiales contaminados presentes en la solución; de forma que, los componentes de la solución gaseosa o líquida pueden separarse de la solución. Por otro lado, la adsorción superficial es la tendencia de las moléculas en fase fluida a adherirse a la superficie sólida, es un fenómeno que solo afecta a la superficie del adsorbente y a las moléculas huéspedes. En la adsorción los poros de sólidos porosos crean un área de superficie enorme. Por lo tanto, la superficie exterior y la estructura porosa del adsorbente son responsables de adsorber los adsorbatos, el proceso continúa hasta lograr el equilibrio entre los contaminantes residuales disueltos con el respectivo absorbido (Ghaedi, 2021).



**Figura 4.** Adsorción vs. absorción: diferencia y comparación

Fuente: Zbair y Bennici, 2021

Otro biopolímero natural más abundante es la quitina; es un homopolímero semicristalino de N-acetil-D-glucosamina enlazada con  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4. Comercialmente se obtiene a partir de caparazones de cangrejos y camarones; este posee propiedades biodegradables, biocompatibles y no tóxicas (Bakshia *et al.*, 2020). Asimismo, a partir de la quitina se extrae el quitosano mediante un tratamiento ácido y alcalino, la diferencia se da por el número de N-Acetilglucosamina, si este es superior al 50% se denomina quitina; de lo contrario, el biopolímero se denomina quitosano (Lee *et al.*, 2015; Eswari *et al.*, 2019).

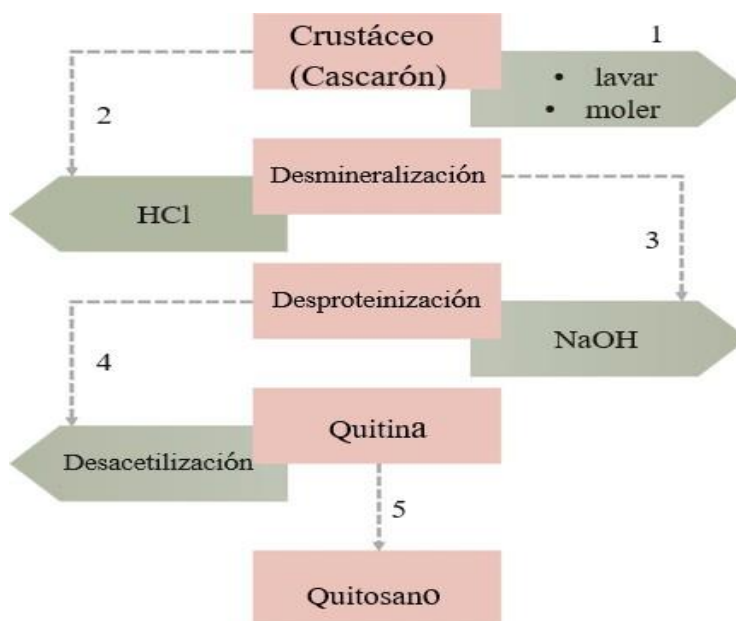


**Figura 5.** Diferencia de la estructura química de quitina (chitin) y quitosano (chitosan).

Fuente: Min *et al.*, 2015.



La síntesis de la quitina tiene lugar en las células de la epidermis. Para aislar el quitosano (ver Fig. 6) se da el primer paso que es la desmineralización; se consigue eliminando la materia inorgánica (carbonato cálcico en mayor porcentaje y fosfatos) mediante HCl. Posteriormente se extrae la materia proteica en medio alcalino, es decir, se desproteíniza, teniendo en cuenta la temperatura y concentración de álcali, con ello se obtiene la quitina. Por último, se realiza la desacetilación de la quitina con NaOH para obtener quitosano. Las propiedades del quitosano varían con su grado de desacetilación, los grupos acetilo y la longitud de onda (Balaji *et al.*, 2018, p. 10).



**Figura 6.** Descripción esquemática de las principales etapas de producción de quitina y quitosano.

*Fuente:* Adaptado de Oliveira *et al.*, 2021.

En la normativa nacional, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA); aprobado en el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y modificado por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, evalúan la calidad del agua en el cuerpo receptor (ríos, lagos, arroyos, etc.) y establecen parámetros de calidad según categorías: poblacional y recreacional; extracción, cultivo, actividades marino costeras; riego de vegetales, bebida de animales; y conservación del ambiente acuático.

Para controlar los niveles de concentración y sus excedentes de las sustancias químicas, físicas y biológicas, el Ministerio del Ambiente (MINAM), ha aprobado los

siguientes Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos: sector energía y minas mediante el Decreto supremo N°010-2010-MINAM para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas y el Decreto Supremo N°037-2008-PCM para el sub-sector hidrocarburos; sector producción mediante el Decreto Supremo N°010-2008-PRODUCE para la industria de harina y aceite de pescado y el Decreto Supremo N°003-2002-PRODUCE para actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Sin embargo, el Perú no cuenta con una normativa que establezca los parámetros y límites máximos permisibles para la industria agrícola, por lo que, el procesamiento de café y sus efluentes no cuentan con parámetros específicos.

En la normativa internacional, el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, en la Resolución 0631/2015, establecieron los LMP para las descargas de efluentes al alcantarillado y vertimientos en cuerpos de agua, dentro de esta normativa enmarca al sector agroindustria e incluye los efluentes del procesamiento de café (ver tabla 4). Sin embargo, esta no considera SDT, CE y temperatura, por ello, se consideró los límites permisibles establecidos por la Organización Mundial para la Salud (OMS) para la descarga de efluentes tratados a un canal de riego (ver tabla 5).

**TABLA 4.** *Límites Máximos Permisibles de efluentes proveniente de la actividad cafetalera a cuerpos de agua.*

PARÁMETRO	UNIDADES	BENEFICIO DE CAFÉ
		PROCESO TRADICIONAL (Beneficio húmedo)
pH	Unidades de pH	5 a 9
DQO	mg/L	650
DBO5	mg/L	400
SST	mg/L	400
SSED	mg/L	10
Grasas y aceites	mg/L	10

*Fuente:* Resolución N° 0631/2015, art. 6- Colombia.

**TABLA 5.** *Límites Máximos Permitidos para aguas mieles del café según la OMS.*

Parámetros	Límites permisibles OMS
Ph	6.8 - 8.5
Conductividad eléctrica (mho/cm)	$1 \times 10^{-3}$
Temperatura (C°)	20
Turbidez (NTU)	5-10
Sólidos totales (mg/L)	650
Sólidos totales suspendidos (mg/L)	200
Sólidos totales disueltos (mg/L)	450
DQO (mg/L)	300
DBO (mg/L)	100

*Fuente:* Haddis y Devis, 2008.

El pH es la actividad del ion hidrógeno (concentración efectiva de H<sup>+</sup>), este se obtiene multiplicando la concentración de H<sup>+</sup> por un coeficiente de actividad adecuado; estos son factores basados en mediciones termodinámicas. El punto medio de la escala a pH 7 representa la neutralidad, los valores inferiores a 7 son ácidos y los superiores cada vez más básicos (Kolb, 1979).

La demanda química de oxígeno (DQO) estima el contenido de material orgánico presente en aguas residuales y naturales, es utilizado para conocer la cantidad de oxígeno equivalente a la materia orgánica a oxidarse a través de un agente químico oxidante (dicromato potásico) y un catalizador (sulfato de plata) (Tchobanoglous y Burton, 1995).

Los sólidos disueltos totales (SDT) son también llamados salinidad total, consiste en la medición de la cantidad de materia orgánica disuelta en agua. Para determinar

esta medición se emplea la evaporación del volumen de agua previa filtración (Rigola, 1990).

Riccio (2010), menciona que las grasas son la mezcla de ácidos grasos (en estado líquido, aceites) y ésteres de glicerina (estado sólido, grasas), ambos con composición química semejante de hidrógeno, carbono y oxígeno. Proviene de grasas de animales y vegetales, aceites, ceras y otros constituyentes encontrados en el agua residual.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo, nivel y diseño de la investigación

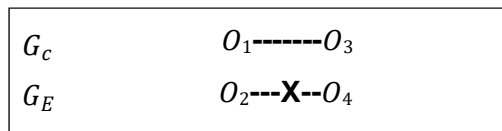
**Tipo de investigación:** El tipo de investigación, acorde a su finalidad, es aplicada, ya que, con esta investigación se da solución a problemas prácticos, y responde a interrogantes científicas mediante el diagnóstico e identificación del sujeto de estudio (aguas mieles de café).

Según su alcance temporal, la investigación es longitudinal, Hernández *et al.*, (2014) mencionan, que representan datos a través del tiempo en periodos referentes al cambio. Es decir, se compararon los datos obtenidos en diferentes momentos (antes y después) con la finalidad de describir las variables y su incidencia en un momento determinado de aguas mieles de café con el objetivo de evaluar cambios atribuibles al aerogel de CNF/MPCS.

**Nivel de investigación:** El nivel es explicativo; la investigación responde la causa y efecto entre el tratamiento aplicado y el sujeto de estudio, es decir, se centra en explicar la relación de las dos variables.

**Diseño de investigación:** El diseño es cuasi experimental, el cual consiste en probar la relación causal en las variables, para calcular el impacto causal del tratamiento aplicado en la población objetivo (Hedrick *et al.*, 1993, p.58).

**-Esquema del diseño:**



Donde:

**Gc:** Grupo control.

**GE:** Grupo experimental.

**X:** Tratamiento (Aplicación del aerogel CNF/NPCS).

**O<sub>1</sub>:** Agua miel sin aplicación del aerogel CNF/NPCS.

O<sub>2</sub>: Pre-test (muestra inicial de aguas mieles de café).

O<sub>3</sub>: Agua miel sin aplicación del aerogel CNF/MPCS.

O<sub>4</sub>: Post-test (muestra final de aguas mieles de café).

### 3.2 Variables y operacionalización

Matriz de operacionalización de variables, ver Anexo A.

- **Variable Independiente:** Aerogel de nanofibrillas de celulosa (CNF) y micropartículas de quitosano (MPCS).

**Definición conceptual:** La nanocelulosa involucra un gran número de nanomateriales celulósicos, las cuales pueden ser obtenidas desde diversas fuentes de materiales lignocelulósicos, principalmente fibras vegetales; como fibras de madera y residuos agrícolas (Vallejos y Area, 2019, p. 12). El quitosano tiene propiedades incomparables y notables; como su biocompatibilidad y biodegradabilidad, bioactividad. Por ello, sus aplicaciones van desde el tratamiento de aguas residuales, agroquímicos y alimentos (Sarode *et al.*, 2019, p. 1089).

El aerogel presenta una estructura porosa y propiedad de compresión; los cuales incrementan su capacidad de absorción (Zhang *et al.*, 2021).

**Definición operacional:** El aerogel de nanofibrillas de celulosa y micropartículas de quitosano fue medido en función de las dosis, características físicas y su capacidad de absorción.

**Dimensión:**

- Dosis de CNF/MPCS presentes en cada aerogel.
- Características físicas del aerogel CNF/MPCS.
- Capacidad de absorción.

**Escala de medición**

- Razón
- Razón
- Razón

- **Variable Dependiente:** Tratamiento de aguas mieles de café.

**Definición conceptual:** El tratamiento de aguas mieles es la reducción de la materia orgánica nociva y neutralización del pH ya que, si no se cuenta con tratamiento adecuado antes de descargarlos en cuerpos de agua o se retienen en lagunas o fosas, se corre el riesgo de contaminar tanto el agua superficial y subterránea. Así como también, provocar daños en los ecosistemas (Molina, 1999).

**Definición operacional:** El tratamiento de aguas mieles se medirá en función de la reducción de parámetros fisicoquímicos y el tiempo de reducción.

**Dimensiones:**

- Tiempo de reducción.
- Reducción de parámetros fisicoquímicos.

**Escala de medición**

- Intervalo
- Razón

### 3.3 Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

#### 3.3.1. Población

Comprende a las aguas mieles del beneficio húmedo de café almacenadas en un pozo de 2m<sup>3</sup> del Fundo “Los Naranjos” ubicada en el Centro Poblado San Miguel de Eneñas, distrito de Villa Rica (Oxapampa-Pasco).

**Criterio de inclusión:** La población incluida en la investigación fueron aguas mieles sin filtrar, provenientes del beneficio húmedo del café.



**Figura 7.** Aguas mieles sin filtrar provenientes del beneficio húmedo del café.

*Fuente:* Elaboración propia.

**Criterio de exclusión:** Aguas mieles filtradas provenientes del beneficio húmedo del café, almacenadas en un pozo de 4 m<sup>3</sup>.



**Figura 8.** Pozo de almacenamiento de aguas mieles filtradas provenientes del beneficio húmedo del café.

*Fuente:* Elaboración propia.

### 3.3.2. Muestra

La muestra es de 14 L de aguas mieles del beneficio húmedo del café del almacenadas en un pozo de 2m<sup>3</sup> del Fundo “Los Naranjos” ubicada en el Centro Poblado San Miguel de Eneñas, distrito de Villa Rica (Oxapampa-Pasco).

**TABLA 6.** *Datos de la toma de muestra del agua miel de café.*

Toma de muestra	
Lugar	Fundo “Los Naranjos” ubicado en el centro poblado San Miguel de Eneñas, distrito de Villa Rica, provincia de Oxapampa- Región Pasco.
Coordenadas UTM	477,490.58 E 8’810,819.00 N
Fecha	10 de junio del 2022
Hora	13:00 p.m.
Cantidad	14 litros

*Fuente:* Elaboración propia



### **3.3.3. Muestreo**

El muestreo es no probabilístico por conveniencia; se seleccionó el punto de salida de las aguas mieles de café, se recolectaron con muestras compuestas de volumen fijo para la cuantificación de DQO, SDT, CE, pH y aceites y grasas. Se realizó acorde al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales – ANA.

### **3.3.4. Unidad de análisis**

La unidad de análisis aplicada fue de 150 mL de aguas mieles del beneficio húmedo del café del almacenadas en un pozo de 2m<sup>3</sup> del Fundo “Los Naranjos” ubicada en el Centro Poblado San Miguel de Eneñas, distrito de Villa Rica (Oxapampa-Pasco).

## **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica aplicada en esta investigación fue mediante la observación. Según Hernández *et al.*, (2014) mencionan, que se basa en un conjunto de categorías y subcategorías para obtener un registro de comportamientos y situaciones observables de forma válida y confiable (ver Anexo B).

Los instrumentos de recolección y registro de datos son fichas elaboradas acorde a los objetivos de la investigación, dichas fichas son adjuntados en los anexos y se presenta de la siguiente manera:

- Ficha de recolección de residuos (Anexo C.1.)
- Ficha de caracterización del aerogel de CNF/MPCS (Anexo C.2.)
- Ficha de recolección de muestra de aguas mieles del café (Anexo C.3.)
- Ficha de características físicas y químicas de la muestra de aguas mieles del café (Anexo C.4.)
- Ficha de capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS (Anexo C.5.)
- Ficha de eficiencia del aerogel CNF/MPCS (Anexo C.6.)

Los instrumentos de recolección de datos se validaron por docentes colegiados de la Universidad César Vallejo (ver Anexo C), especialistas en el tema. Por consiguiente, se obtuvo un promedio 87% en la validación de instrumentos.

**TABLA 7.** Validación de instrumento

Nombre del Experto	% de validación de instrumento
Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar	85%
Dr. Ahuber Omar Vasquez Aranda	85%
Dr. Jhonny Valverde Flores	90%
<b>Promedio total</b>	<b>87%</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Procedimientos de la investigación

#### 3.5.1 Materiales

Los materiales utilizados se muestran en la tabla 8.

**TABLA 8.** Materiales utilizados para la parte experimental de la investigación

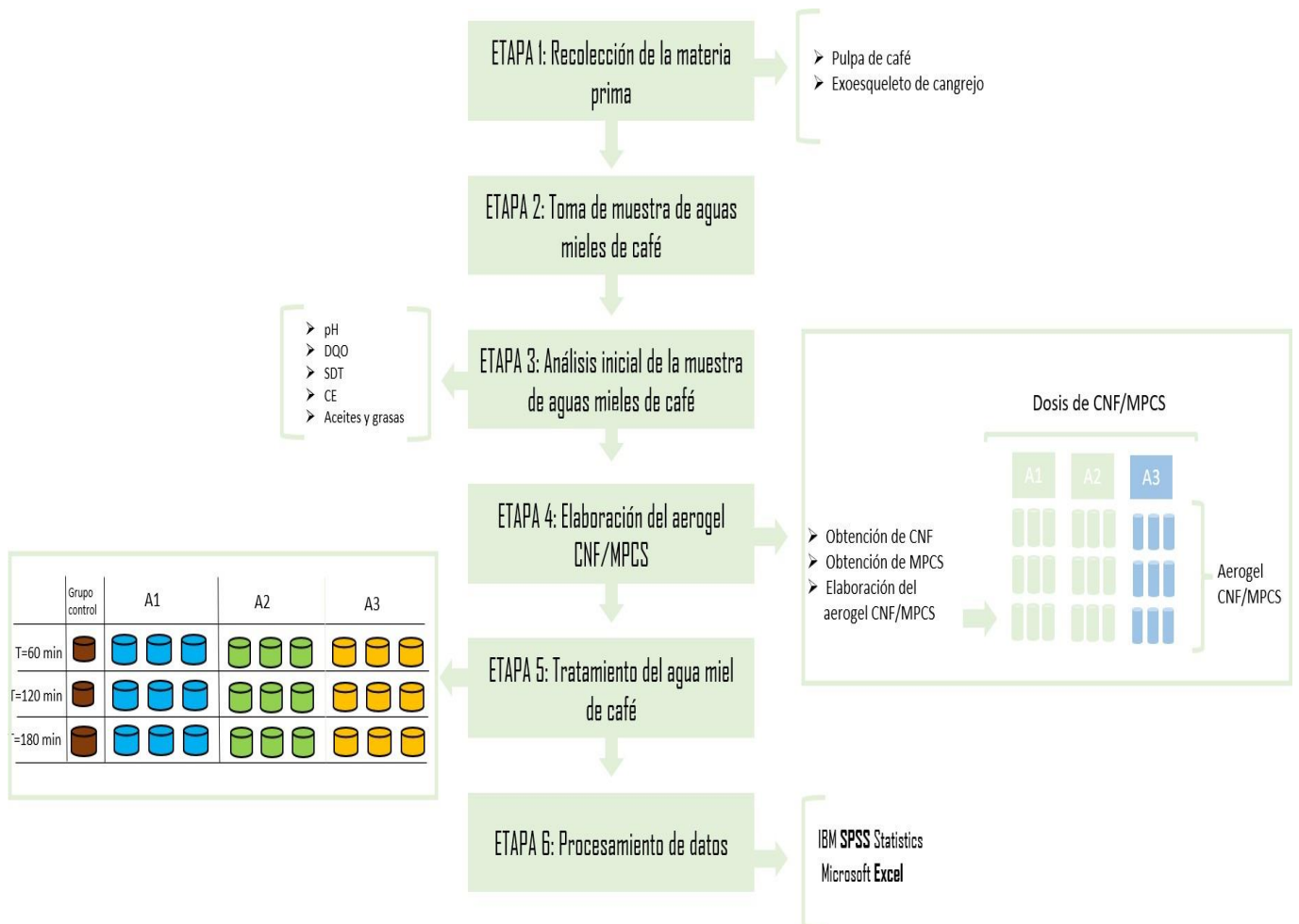
Insumos	Equipos e instrumentos
2 kg. de pulpa de café	Molino Manual para granos
1.025 kg. exoesqueleto de cangrejo	Estufa
104 L de agua desionizada	Termómetro BOECO ZL-260
1 L de hidróxido de sodio al 10%	Bomba de vacío
250 g de hidróxido de sodio	Balanza electrónica HEMKEL
500 mL de ácido clorhídrico al 37%	Multiparámetro HANNA HI9829
300 g de carboximetilcelulosa	Agitador de calentamiento magnético
300 g de ácido cítrico	Viales de vidrio de 20 mL
1.5 L de etanol Absoluto	Vasos precipitados de 50, 100, 150, 250, 500 mL y 1 L
6 L de nitrógeno líquido	Sonicador FAITHFUL
1 caja de papel de filtro	Probeta 50,100 y 200 mL

500 mL hidróxido de potasio al 50%	2 varillas de agitación
200 g de hidróxido de potasio	2 matraz Kitasato de 500 mL y 1 L
8 gel packs de 500 mL	Tamiz de 50-300 mm
	2 pipetas graduadas de 5 mL
	2 Coolers (25 y 7 L)

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2 Procedimientos

Se detalla a continuación el Flujograma de etapas.

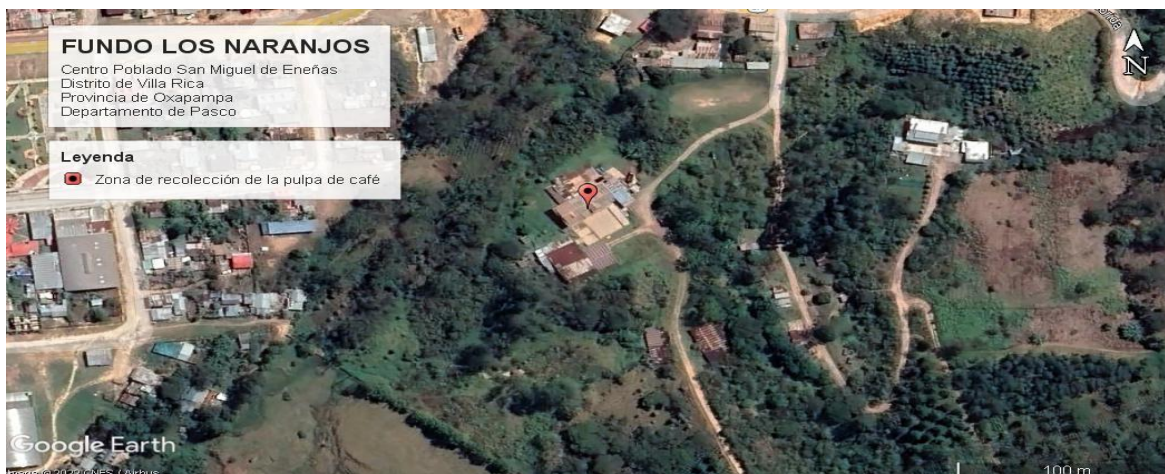


**Figura 9.** Flujograma de las etapas de la investigación

Fuente: Elaboración propia.

## ETAPA 1: Recolección de la materia prima

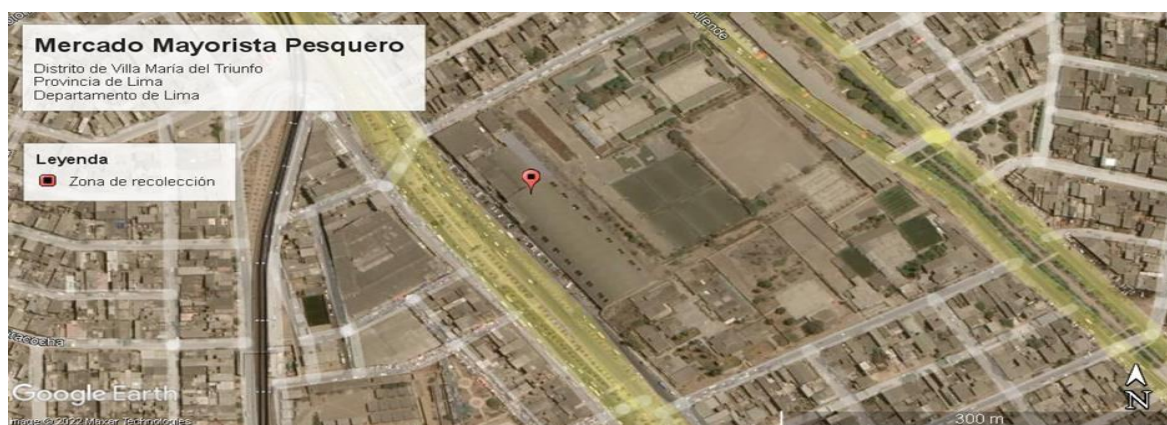
Para la obtención de CNF, la materia prima se recolectó del Fundo “Los Naranjos”, en el Centro Poblado San Miguel de Eneñas, distrito de Villa Rica (Oxapampa-Pasco). Se recolectaron 2 kg de pulpa de café de diversas variedades (*Caturra rojo y amarillo, Gran Colombia, Marsellesa, H1, Gaysha y Pache*). Es importante señalar que este subproducto se encontraba húmedo. Posteriormente, fue almacenada en bolsas ziploc y colocadas en un cooler.



**Figura 10.** Ubicación de la zona de recolección de la pulpa de café.

Fuente: Google Earth.

Para la obtención de quitosano, la materia prima fue recolectada del Terminal Pesquero de Villa María del Triunfo. Se recolectaron 1.025 kg de exoesqueleto de cangrejo peludo (*Romaleon setosum*). Posteriormente, fueron almacenadas en bolsas ziploc y colocadas en un cooler.



**Figura 11.** Ubicación de la zona de recolección del exoesqueleto de cangrejo.

Fuente: Google Earth.

## ETAPA 2: Toma de muestra del agua miel de café

La toma de la muestra de agua miel se realizó siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales - 2016. La muestra de agua miel fue tomada de un pozo donde se almacena las aguas mieles sin filtrar. En 2 botellas de 7 L se depositó el agua miel, éste previamente purgado tres veces; posteriormente, con un balde de 2 L se procedió a llenar las botellas con muestras compuestas de volumen fijo para obtener una mezcla homogénea.

Las botellas fueron almacenadas dentro de un cooler para mantenerlas libres de la luz del sol y evitar derrames. Asimismo, se colocaron 10 gel packs previamente congelados. Por último, se llenó la cadena de custodia. Las muestras y la cadena de custodia, debidamente protegidas en una bolsa ziploc fueron enviadas a un laboratorio para el análisis de pH, aceites y grasas, SDT y DQO. En la figura 12, se observa el punto de toma de muestra.



**Figura 12.** Toma de muestra de las aguas mieles del café.

*Fuente:* Elaboración propia.

### ETAPA 3. Análisis inicial de la muestra de agua miel

Se realizó el análisis de la muestra de las aguas mieles de café antes de aplicar el tratamiento con el aerogel CNF/MPCS. Los parámetros pH, temperatura, aceites y grasas, SDT y DQO grasas fueron enviadas a un laboratorio acreditado para su análisis.

**TABLA 9.** *Análisis inicial de las aguas mieles de café*

Parámetros fisicoquímicos	Unidad	Muestra inicial
pH	Unidad de pH	3.96
Temperatura	°C	18.80
Conductividad eléctrica	μS/cm	692
SDT	mg/L	361
DQO	mg/L	7291
Aceites y grasas	mg/L	7400

*Fuente:* Elaboración propia.

### ETAPA 4: Elaboración del aerogel CNF/MPCS

#### A) Obtención de la nanofibrillas de celulosa (CNF)

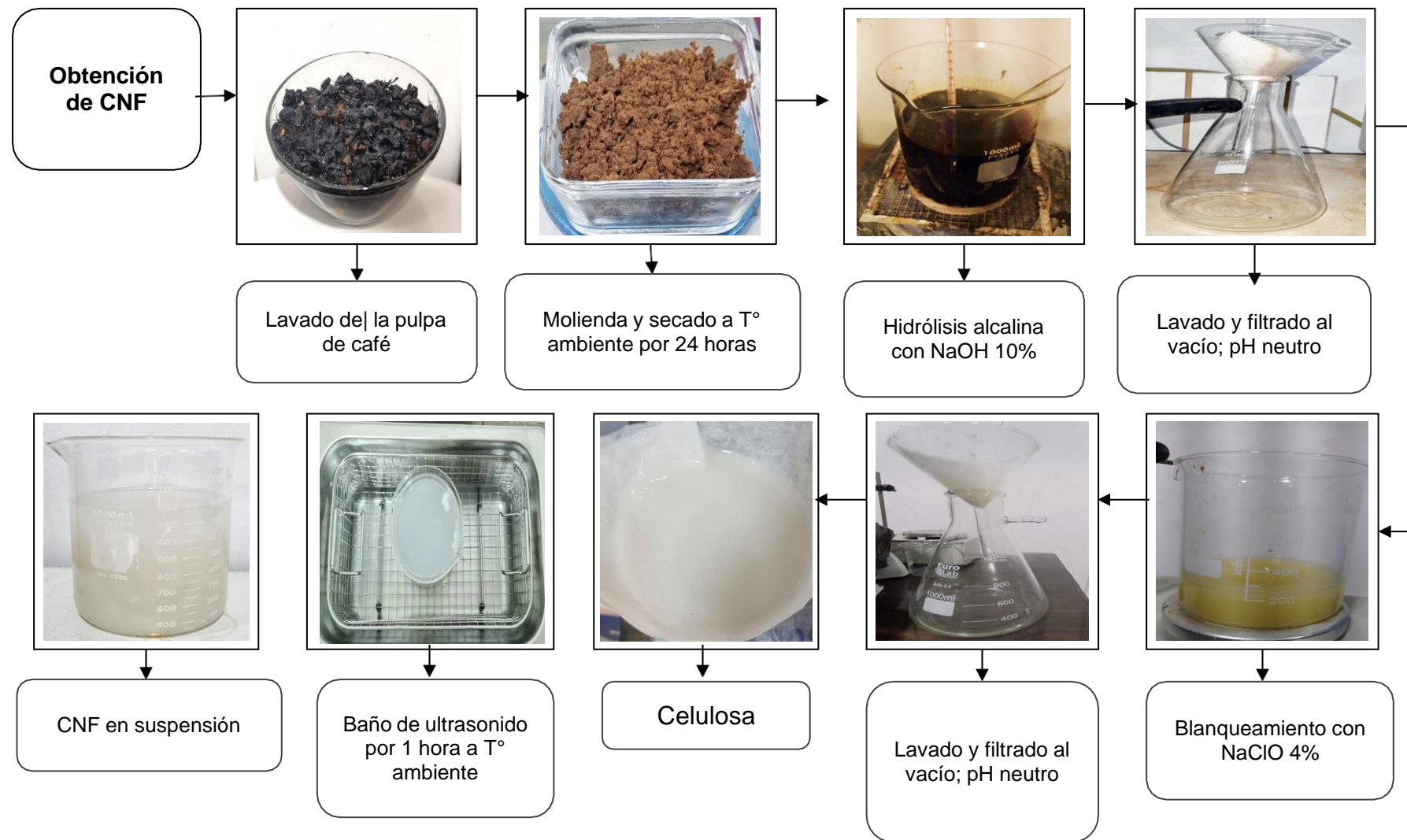
**Limpieza y lavado:** Para obtener el polvo de la pulpa de café, se lavó la pulpa con agua desionizada para la eliminación de residuos e impurezas presentes en la materia recolectada.

**Secado y molienda:** Posteriormente fue secado en un horno convencional a 50 °C durante 12 horas. Después del secado, se procedió a licuar las cáscaras de café, se repitió el proceso cuantas veces sea necesaria hasta conseguir una consistencia pastosa y se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 horas.

**Pretratamiento:** Se utilizó, por cada 50 g de biomasa, 500 mL de NaOH al 10%. Se agregó la mezcla en un vaso precipitado de 1 L y se calentó a 160 °C durante 2 horas con agitación mecánica constante. Este proceso tiene como finalidad eliminar el contenido de lignina presente en la muestra. Seguidamente, las fibras fueron lavadas con agua desionizada y filtradas al vacío hasta conseguir pH neutro.

**Blanqueamiento:** La muestra se blanqueó con 500 mL de NaClO al 4% durante 3 horas a temperatura ambiente y agitación constante. Después, se lavó y filtró al vacío cuantas veces sea necesario hasta obtener pH neutro. En este procedimiento se eliminó el color residual de la celulosa aportado por la lignina.

**Ultrasonido:** La celulosa blanqueada se sonicó durante 1 hora a temperatura ambiente. Cabe precisar que el agua utilizada en el sonicador fue agua desionizada congelada para no incrementar la temperatura de la muestra. Finalmente, se obtuvo la suspensión de CNF (ver Fig. 13).



**Figura 13.** Flujograma del proceso de obtención de CNF a partir de la pulpa de café.

Fuente: Elaboración propia.



Para la visualización de CNF se utilizó un microscopio binocular BM-120 BOECO con el objetivo 10x /0.25. Se agregó una gota de la muestra en un portaobjeto y 1 gota de aceite de inmersión para su posterior observación.



**Figura 14.** CNF a partir de la pulpa de café.

Fuente: Elaboración propia.

## **B) Obtención de las micropartículas de quitosano (MPCS)**

**Secado y molienda:** Se eliminaron los residuos del exoesqueleto del cangrejo peludo (*Romaleon setosum*) con agua desionizada. Seguidamente, se secó en un horno convencional a 125 °C por 30 minutos. Los exoesqueletos fueron triturados en un molino manual, luego el polvo fue tamizado para conseguir un tamaño de 50-300  $\mu$ m.

**Desmineralización:** Por cada 250 g de polvo del exoesqueleto de cangrejo se añadió la solución de HCl a 1.8 M a 35 °C en un vaso precipitado de 1 L durante 2 horas por agitación magnética. Posterior a ello, se lavó y filtró al vacío hasta obtener pH neutro. Esta etapa tiene el fin de eliminar carbonatos y fosfatos presentes en el exoesqueleto.

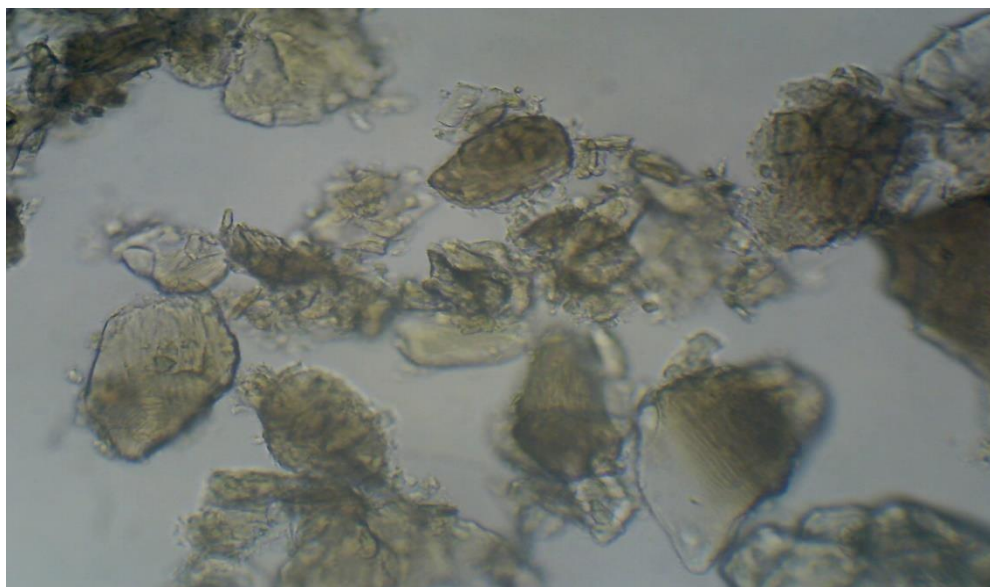
**Desproteínización:** Se realizó mediante hidrólisis alcalina, se usó NaOH al 4% y KOH al 5% en la relación (p/v) 1:4 a 70 °C durante 5 horas. Seguidamente, se lavó

y filtró al vacío hasta obtener pH neutro. Como resultado de este proceso se obtuvo la quitina.

**Desacetilación:** Se empleó NaOH al 40% y KOH al 50% en la relación (p/v) 1:4. La reacción ocurrió primero a 60 °C durante 1 hora y luego a 100 °C durante 2 horas. Después se lavó y filtró al vacío hasta obtener pH neutro. Al terminar la reacción se obtuvo 150 g de quitosano, y se dejó secar a temperatura ambiente.

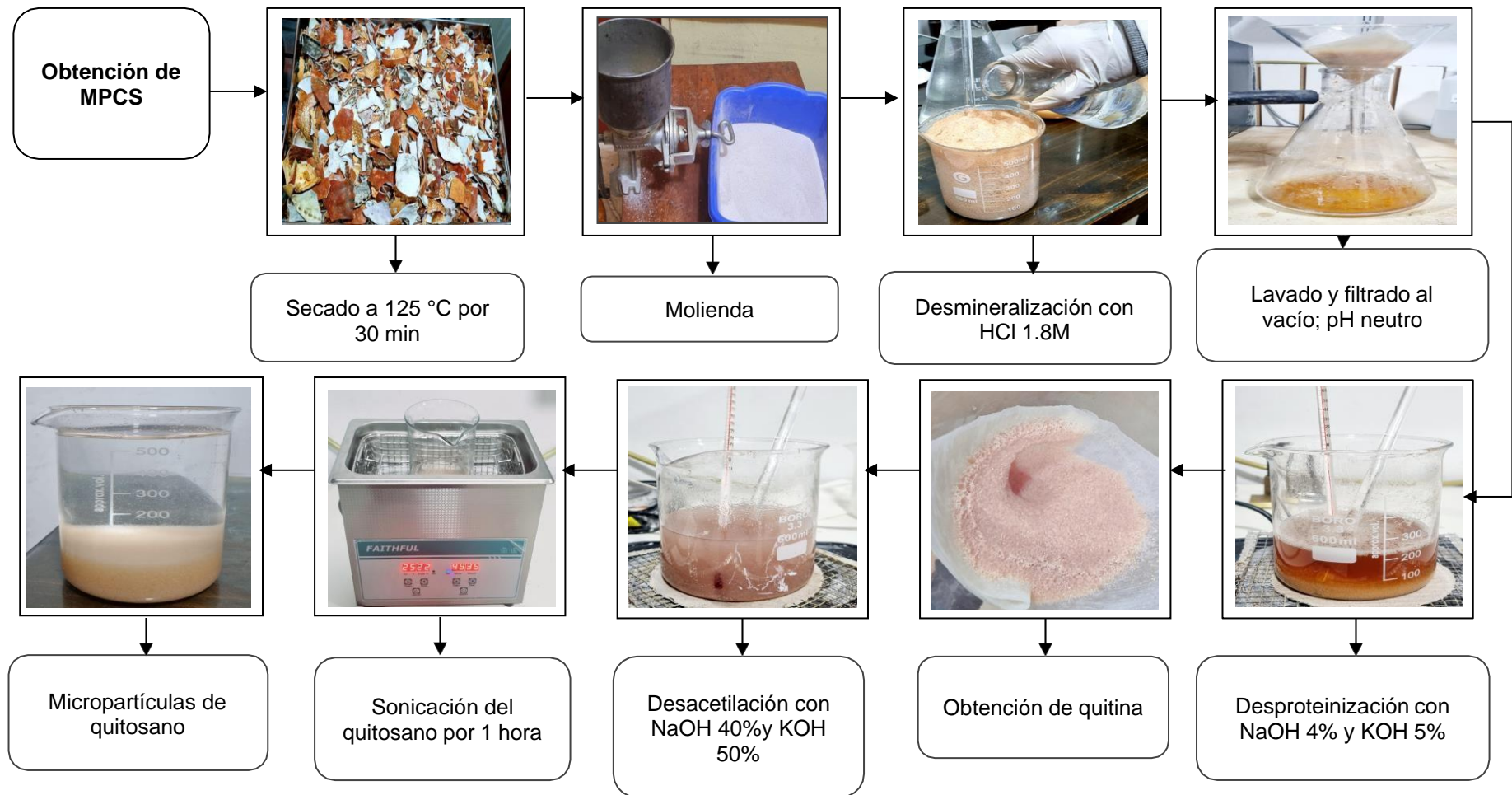
**Ultrasonido:** En un vaso precipitado de 500 mL se agregó el quitosano, seguidamente se sonicó durante 1 hora a temperatura ambiente. Para el baño de ultrasonido se utilizó agua helada desionizada para no incrementar la temperatura de la muestra. Se filtró al vacío y se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 horas. Finalmente, se obtuvo MPCCS (ver Fig. 16).

Para la visualización de MPCCS (ver Fig. 15) se utilizó un microscopio binocular BM-120 BOECO con el objetivo 10x /0.25. Cabe recalcar que la muestra se diluyó en agua desionizada y fue puesta en un portaobjeto agregando 1 gota de aceite de inmersión para su posterior observación.



**Figura 15.** Micropartículas de quitosano (MPCS).

*Fuente:* Elaboración propia.



**Figura 16.** Flujo de obtención de MPCS a partir del exoesqueleto del cangrejo.  
 Fuente: Elaboración propia.

### C) Elaboración del aerogel

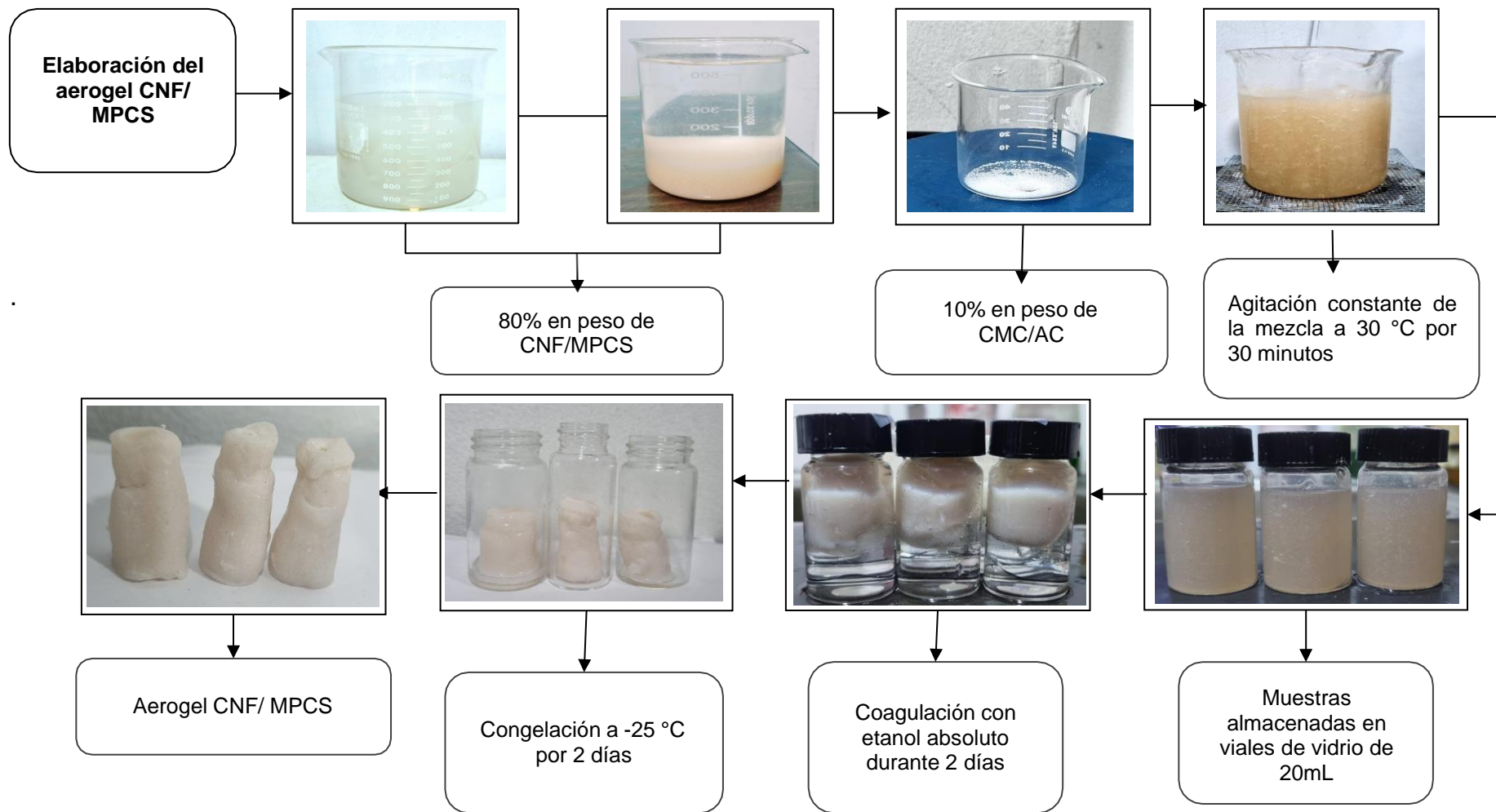
Para elaborar el aerogel, se utilizaron 3 dosis distintas de CNF/MPCS, los cuales se detallan a continuación (ver tabla 10).

**TABLA 10.** Concentraciones de CNF/MPCS para la elaboración del aerogel

Código	Aerogel		
	Concentración de CNF (g)	Concentración de MPCS (g)	Relación CNF/MPCS
A <sub>1</sub>	1.2	0.3	2:1
A <sub>2</sub>	0.75	0.75	1:1
A <sub>3</sub>	0.3	1.2	1:2

*Fuente:* Elaboración propia.

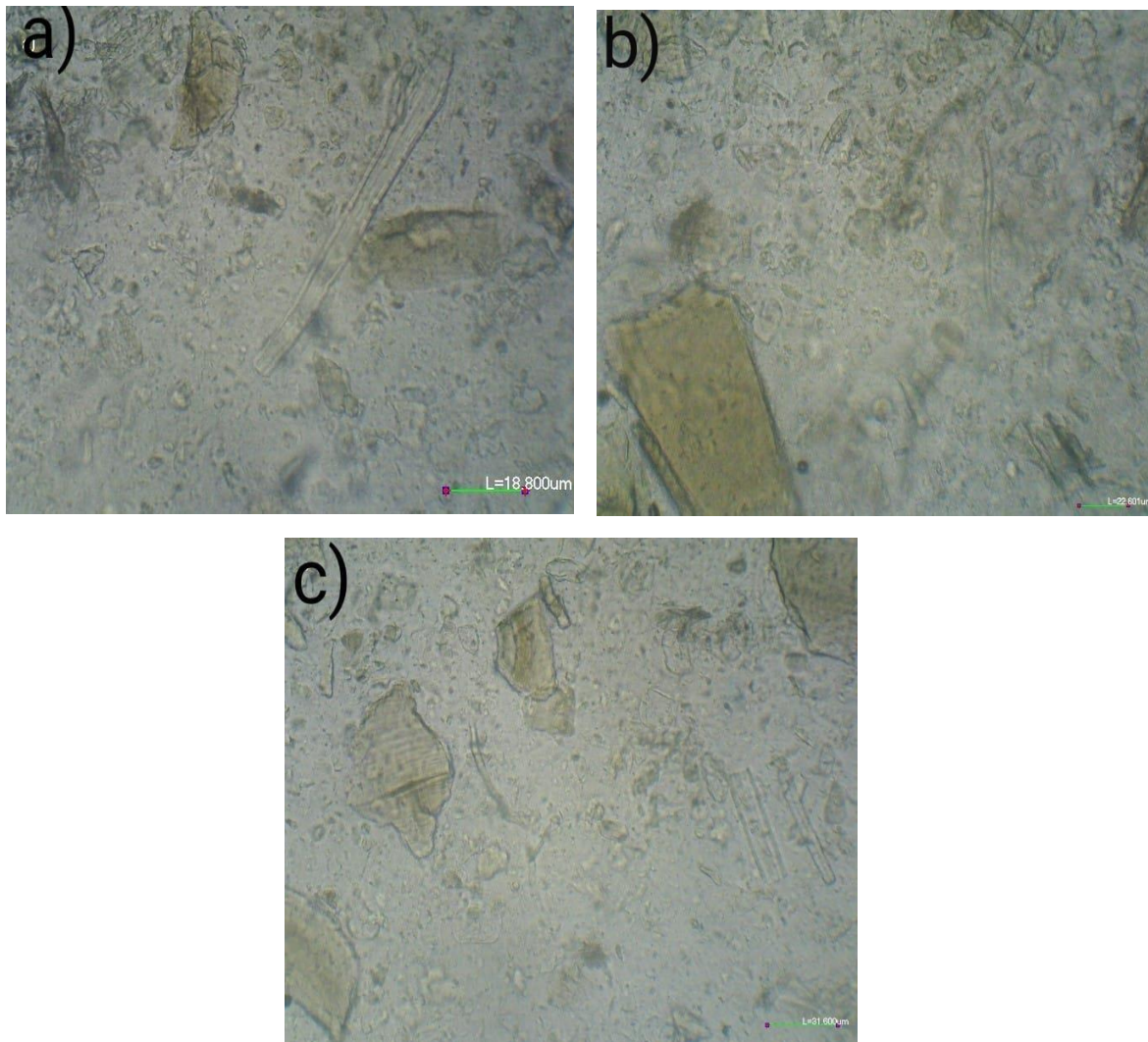
El 80% en peso de la suspensión de CNF/MPCS fue puesta en un agitador a 80°C a 100 rpm durante 20 minutos, para conseguir una mezcla homogénea. Luego, la carboximetilcelulosa (CMC) y el ácido cítrico (CA), cada uno al 10% en peso se disolvieron en 10 mL de agua desionizada. Seguidamente, la suspensión de CNF/MPCS se mezcló con la solución de CMC/CA y se agitó a 70 °C durante 30 minutos para obtener un gel altamente viscoso. La muestra resultante fue almacenada en viales de vidrio de 20 mL. Inmediatamente, se añadió etanol absoluto (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) hasta sumergir la muestra durante 2 días a temperatura ambiente. Posteriormente, se lavó con agua desionizada. Después, se utilizó la congelación unidireccional con nitrógeno líquido durante 10 minutos. Para mantener la forma de las muestras se conservaron a -25 °C por 2 días. Finalmente, se obtuvo el aerogel CNF/MPCS con un pH 4 (ver Fig. 17).



**Figura 17.** Flujograma de elaboración del aerogel CNF/MPCS.

Fuente: Elaboración propia.

Para la visualización, se extrajo una pequeña muestra de cada aerogel CNF/MPCS después del tratamiento de aguas mieles del café, se utilizó un microscopio binocular BM-120 BOECO con el objetivo 10x /0.25. En el aerogel (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>) se puede observar la presencia de CNF/MPCS (Fig. 18).



**Figura 18.** Aerogeles después del tratamiento de aguas mieles del café: a) aerogel A1. b) aerogel A2. c) aerogel A3.

*Fuente:* Elaboración propia.

- **Propiedades físicas del aerogel CNF/MPCS**

Las propiedades físicas del aerogel CNF/MPCS se determinaron mediante la medición del peso, altura, densidad, porosidad y absorción.

**Cálculo para la densidad del aerogel:**

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots \text{(Ec.1)}$$

Siendo:

$\rho$  : Densidad del aerogel CNF/MPCS (g/cm<sup>3</sup>)

$m$  : Masa (g)

$v$  : Volumen (cm<sup>3</sup>)

**Cálculo para la porosidad:**

$$P\% = \left( \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_C} \right) + \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_{CS}} \right) \right) \times 100 \dots\dots \text{(Ec.2)}$$

Siendo:

$P\%$ : Porosidad

$\rho$  : Densidad del aerogel CNF/MPCS (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_C$ : Densidad de la celulosa (1.528 g/ cm<sup>3</sup>)

$\rho_{CS}$ : Densidad del quitosano (1.446 ± 0.116 g/cm<sup>3</sup>)

**Cálculo para la capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS:**

$$\text{Capacidad de absorción (g/g)} = \left( \frac{m - m_0}{m_0} \right) \dots\dots \text{(Ec.3)}$$

Siendo:

$m$  = Peso del aerogel después de introducirlo en el agua miel

$m_0$  = Peso del aerogel antes de introducirlo en el agua miel

## ETAPA 5: Tratamiento del agua miel de café

La investigación se llevó a cabo a escala de laboratorio. Por consiguiente, se realizó el tratamiento de aguas mieles de café en 27 unidades experimentales: 3 dosis del aerogel CNF/MPCS, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub> en 3 repeticiones por cada tiempo de 60, 120 y 180 minutos.

El aerogel de dosis A<sub>1</sub> (1,2 g de CNF y 0,3 g de MPCS), se colocó en vasos precipitados de 50mL, donde se realizó 3 tratamientos de absorción por 60, 120 y 180 minutos, por triplicado. Así mismo, se realizó el tratamiento del agua miel de café con el aerogel de dosis A<sub>2</sub> (0,75 g de CNF y 0,75 g de MPCS), se colocó en vasos precipitados de 50mL, donde se realizó 3 tratamientos de absorción por 60, 120 y 180 minutos, por triplicado. De igual manera, se realizó el tratamiento del agua miel de café con el aerogel de dosis A<sub>3</sub> (0,3 g de CNF y 1,2 g de MPCS), se colocó en vasos precipitados de 50mL, donde se realizó 3 tratamientos de absorción por 60, 120 y 180 minutos, por triplicado (ver Fig. 19).

Se tomó en cuenta los factores de capacidad de absorción, tiempo de reducción, dosis del aerogel CNF/MPCS y concentración de los parámetros fisicoquímicos; DQO, SDT, C.E., pH, temperatura, aceites y grasas del agua miel del café pre y post tratamiento.

### Cálculo del porcentaje de eficiencia de reducción:

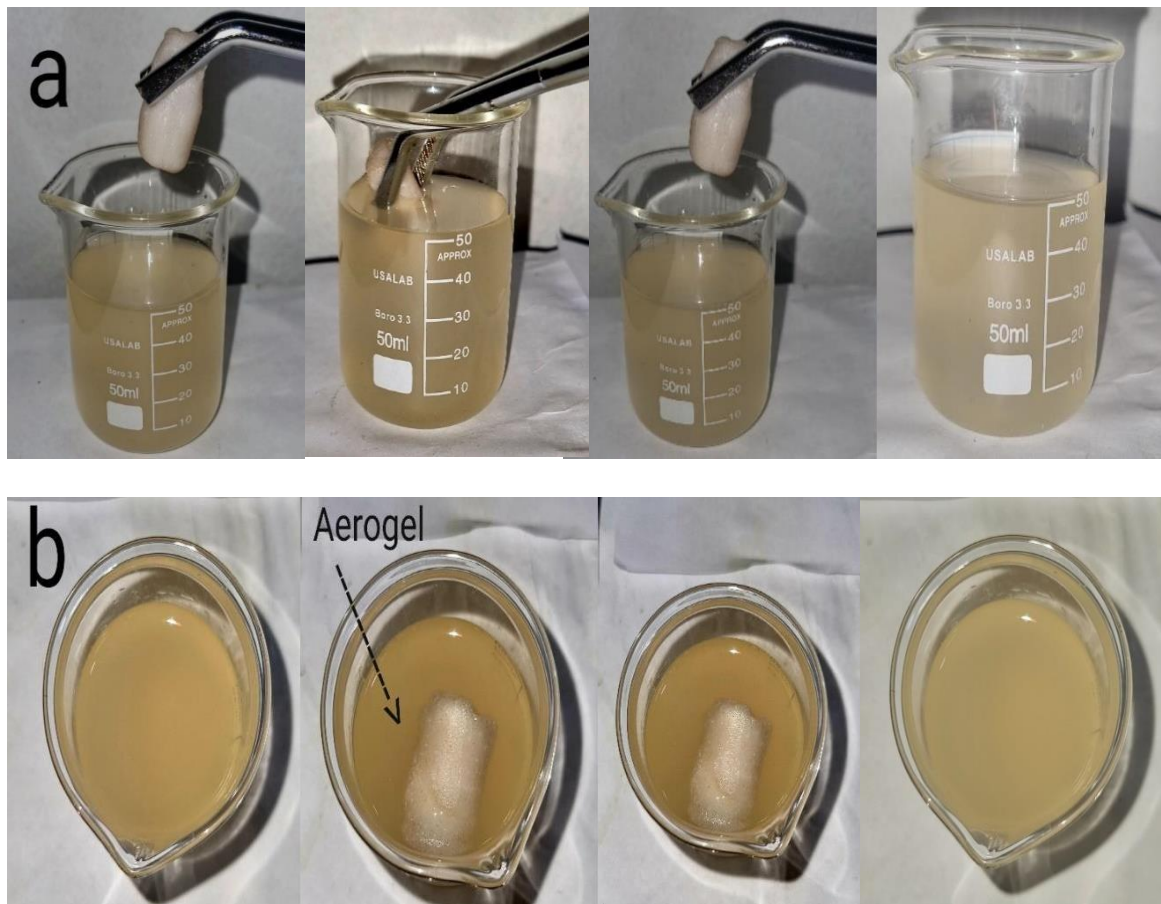
$$\% \text{Eficiencia de reducción} = \left( \frac{c_i - c_f}{c_i} \right) * 100 \dots \text{(Ec.4)}$$

Donde:

$c_i$  = Concentración inicial (mg/L)

$c_f$  = Concentración final (mg/L)





**Figura 19.** Proceso de absorción del aerogel: a) vista lateral del aerogel CNF/MPCS sumergido en aguas mieles. b) vista superior del aerogel CNF/MPCS sumergido en aguas mieles de café.

*Fuente:* Elaboración propia.

## ETAPA 6: Procesamiento de los resultados finales

Los resultados obtenidos posterior al tratamiento con el aerogel CNF/MPCS para la reducción de los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, DQO, SDT, aceites y grasas fueron se evaluaron con las herramientas estadísticas y comparadas con la R. N° 0631/2015- Colombia y OMS que establecen límites máximos permisibles para efluentes del beneficio húmedo del café.

### **3.6 Métodos de análisis de datos**

La interpretación estadística y procesamiento de datos se realizó mediante el software SPSS 25, en el cual se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas respecto a las dosis de CNF/MPCS, tiempo de reducción, capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS y definir cuál de las dosis del aerogel CNF/MPCS es más efectiva para la reducción de los parámetros fisicoquímicos presentes en aguas mieles de café.

### **3.7 Aspectos éticos**

El desarrollo de la investigación fue acorde a la metodología establecida en la línea de investigación de la RCU N° 200-2018/UCV y la Resolución del Vicerrectorado de Investigación N°110-2022-VI-UCV en el cual describe la forma adecuada para realizar la investigación. Asimismo, fue realizada en base a fuentes confiables de información como repositorios, revistas y libros indexados. Es importante señalar que se respetaron los derechos de autor de la información bibliográfica consultada, citando cada uno de ellos acorde a los estándares de las normas internacionales ISO 690. Por último, la investigación se adjuntó a turnitin para comprobar el índice de similitud, siendo indispensable que sea inferior a 25%.

#### IV. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados en base a los objetivos establecidos siguiendo el siguiente orden: objetivo específico 1, objetivo específico 2, objetivo específico 3 y objetivo general.

##### 4.1 Objetivo específico 1: Determinar la dosis óptima del aerogel CNF/MPCS para la reducción de parámetros fisicoquímicos en aguas mieles de café.

Posterior a la aplicación del tratamiento con el aerogel CNF/MPCS, se realizó el análisis fisicoquímico de las muestras, los datos consignados en la tabla 11 fueron brindados por el laboratorio Research Lab, CINCADER.

**TABLA 11.** *Análisis fisicoquímico del agua miel de café post tratamiento respecto a las dosis.*

Parámetros	Muestra inicial	Post tratamiento con el aerogel CNF/MPCS					
		A <sub>1</sub>	Eficiencia de reducción	A <sub>2</sub>	Eficiencia de reducción	A <sub>3</sub>	Eficiencia de reducción
pH	3,96	3,81	-	3,80	-	3,78	-
C.E (μS/cm)	692	651	6%	676,78	2%	689,11	0,4%
SDT (mg/L)	361	325,78	10%	338,00	6%	344,44	5%
Aceites y grasas (mg/L)	7 400	266,7	96%	933,3	87%	533,3	93%
DQO (mg/L)	7 291	2 226,3	70%	4 569,4	37%	7 280,8	0,1%

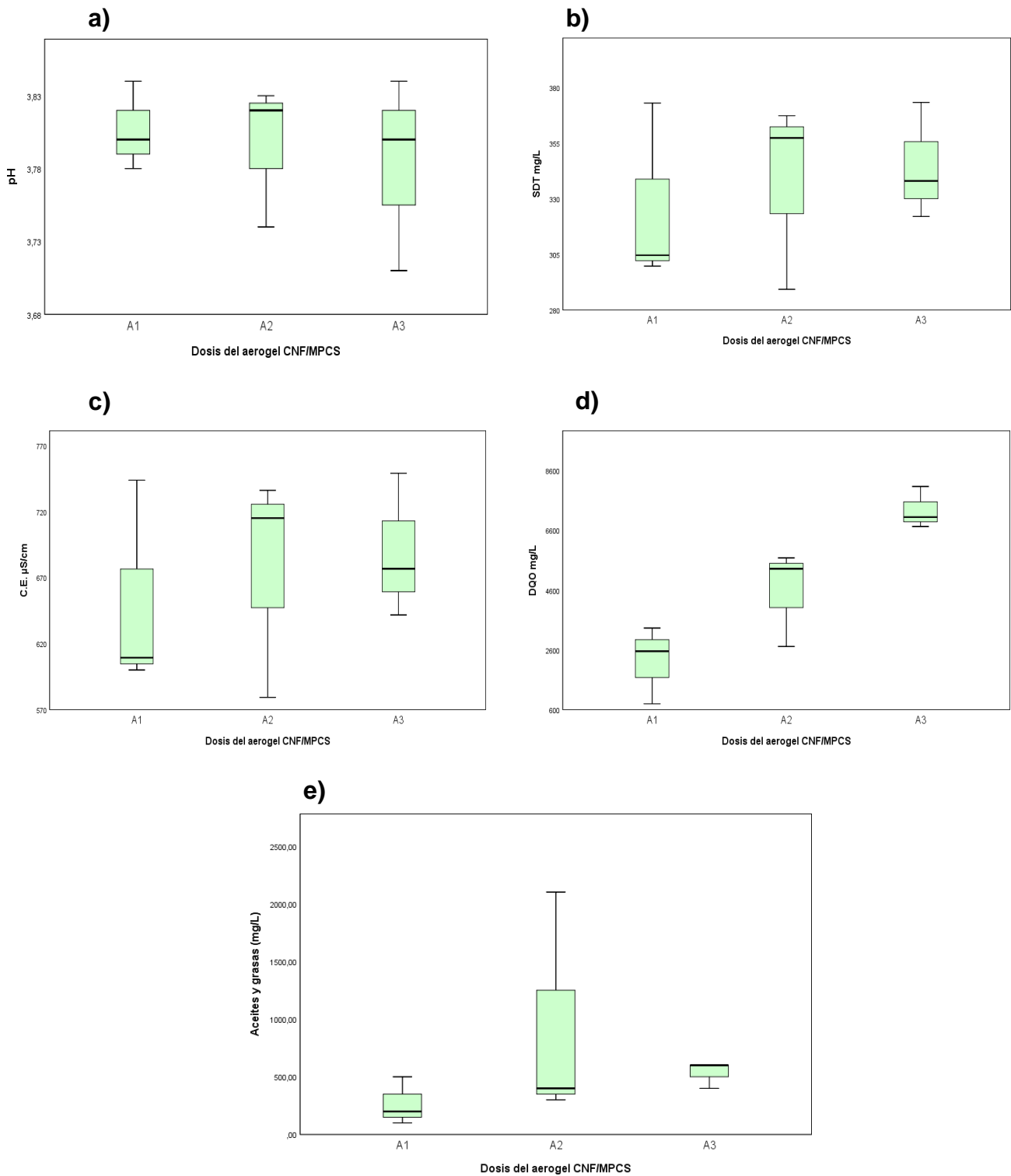
Fuente: Elaboración propia.

El agua miel antes del tratamiento el pH 3,96, con la aplicación de las dosis A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub> no presentó una eficiencia de reducción positiva ya que sus valores fueron inferiores a la muestra inicial, siendo estos valores de 3,80, 3,79 y 3,78, respectivamente. Respecto a los SDT, se obtuvo una reducción de 10%, 6% y 5% para las dosis A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>, respectivamente. De igual manera, la CE tuvo una eficiencia de reducción de 6%, 2% y 0,4% en A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>, respectivamente. En contraste con estos resultados, el DQO tuvo una eficiencia de reducción del 70%, 37% y 0,1% para las dosis A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>, respectivamente. Asimismo, los aceites y grasas presentaron una mayor eficiencia de reducción siendo de 96%, 87% y 93% para las dosis A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>, respectivamente.

En la figura 20, se observa que el pH, la CE, SDT, aceites y grasas y DQO, en relación a las dosis del aerogel CNF/MPCS, presentaron las siguientes concentraciones:

Los valores para el pH se encuentran en 3,8 con una media de 3,8 para la dosis A<sub>1</sub>, en la dosis A<sub>2</sub> se registraron valores entre 3,7 y 3,8 con una media de 3,7; mientras que en la dosis A<sub>3</sub> fue de 3,7 a 3,8 con una media de 3,7. Respecto a los SDT, estuvieron entre de 299,7 mg/L y 373,02 mg/L con una media de 325,8 mg/L para la dosis A<sub>1</sub>; la dosis A<sub>2</sub> presentó valores entre 289,3 y 367,3 mg/L con una media de 337,9 mg/L, y para la dosis A<sub>3</sub> fue entre 322 y 373,3 mg/L con una media de 344,4 mg/L. En relación a la C.E, las dosis A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub> variaron respectivamente entre 600 y 743,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con una media de 651  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; de 579,3 y 736  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con una media de 676  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; y de 641 y 749  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para una media de 689  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Mientras que, para los aceites y grasas, oscilaron entre 100 y 500 mg/L con una media de 266,7 mg/L; de 300 y 2 100 mg/L con una media de 933,3 mg/L; y de 400 y 600 mg/L con una media de 533,3 mg/L para A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>, respectivamente. Por otro lado, el DQO registró las variaciones más altas entre las dosis del aerogel CNF/MPCS, evidenció valores entre 793,3 y 3 331,33 mg/L con media de 2 226 mg/L; de 2 713,7 y 5 678,3 mg/L con una media de 4 569; y de 6 731 a 8 067 mg/L con una media de 7 280 mg/L para A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>, respectivamente.



**Figura 20.** Diagrama de cajas y bigotes de los parámetros: a) pH, b) SDT, c) CE, d) DBO y e) aceites y grasas respecto a las dosis del aerogel CNF/MPCS.

*Fuente:* Elaboración propia.

Mediante el análisis realizado, se determinó que la dosis óptima del aerogel CNF/MPCS para la reducción de SDT, CE, DQO, aceites y grasas fue la dosis A<sub>1</sub> con concentraciones de 1,2 g/ 0,3 g de CNF/MPCS. Referente al pH, la dosis A<sub>1</sub> presentó la menor disminución en comparación con las otras dosis.

#### 4.2 Objetivo específico 2: Determinar el tiempo óptimo de reducción de los parámetros fisicoquímicos en aguas mieles de café con la aplicación del aerogel CNF/MPCS.

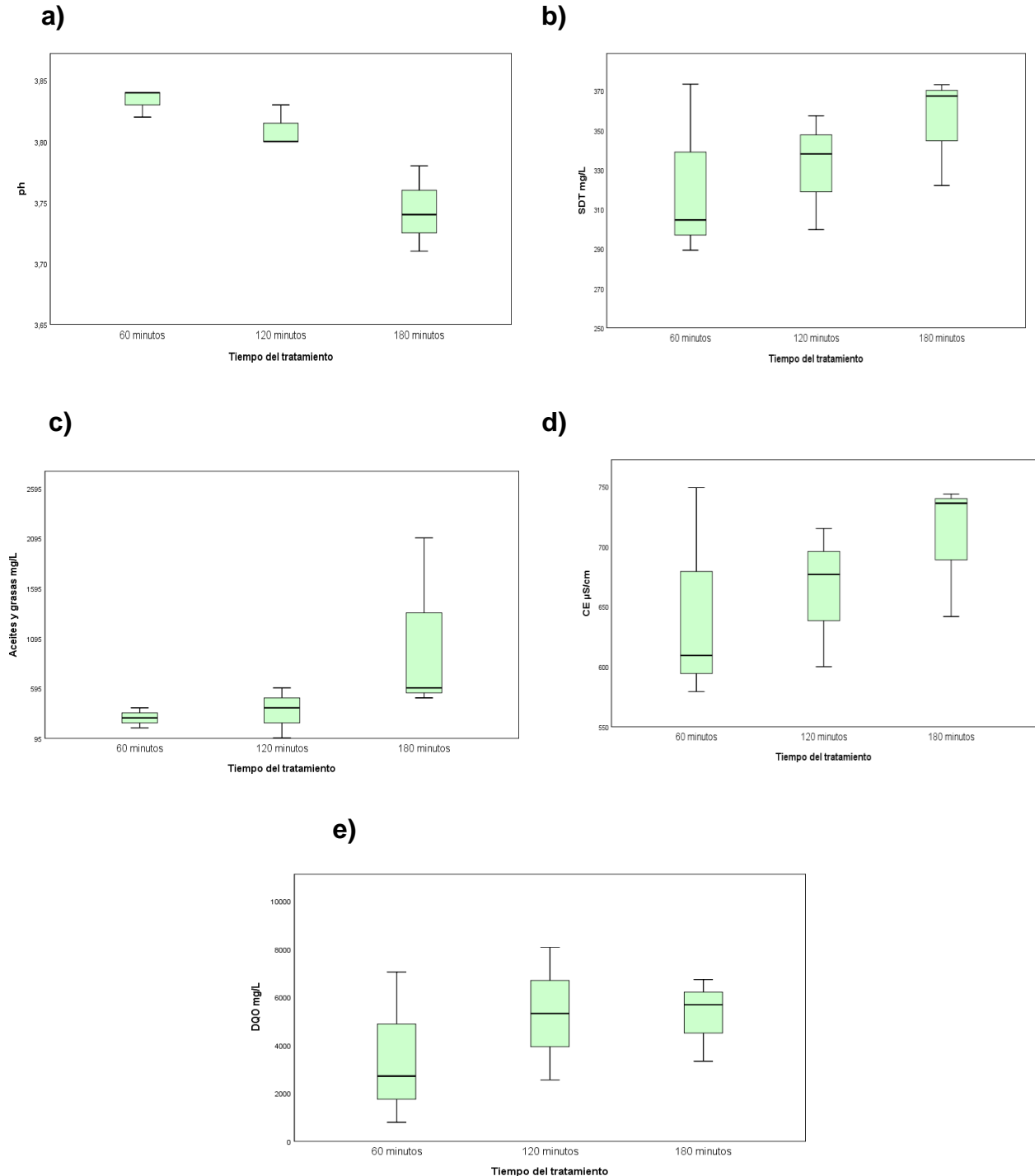
**TABLA 12.** *Eficiencia de reducción de los tiempos aplicados en el tratamiento de aguas mieles de café.*

Parámetros fisicoquímicos	Tiempo del tratamiento						
	Muestra inicial	60 minutos	Eficiencia de reducción	120 minutos	Eficiencia de reducción	180 minutos	Eficiencia de reducción
pH	3.96	3.83	-	3.81	-	3.74	-
CE (µS/cm)	692	645.89	7%	663.9	4%	707.13	-2%
SDT (mg/L)	361	322.4	11%	331.67	8%	354.1	2%
DQO (mg/L)	7291	3516.88	52%	5312.78	27%	5246.89	28%
Aceites y grasas (mg/L)	7400	300	96%	366.67	95%	1066.67	86%

*Fuente:* Elaboración propia.

Con la aplicación del tratamiento en los tiempos de 60, 120 y 180 minutos; el pH no presentó una eficiencia de reducción positiva (ver tabla 12) debido a que sus valores fueron inferiores a la muestra inicial, siendo estos valores de 3,83 en 60 minutos, 3,81 en 120 minutos y 3,74 en 180 minutos. Mientras que, la CE, se obtuvo una eficiencia de reducción de 7% y 4% en 60 y 120 minutos, respectivamente. A los 180 minutos se observó un aumento de 2% tomando como referencia la concentración de CE inicial. Los SDT tuvieron una eficiencia de reducción de 11%, 8% y 2% en 60, 120 y 180 minutos, respectivamente.

Por otro lado, el DQO tuvo una eficiencia de reducción de 52%, 27% y 28% en 60, 120 y 180 minutos, respectivamente. Asimismo, los aceites y grasas fueron los parámetros con mayor eficiencia de reducción de 96%, 95% y 86%% en 60, 120 y 180 minutos, respectivamente.



**Figura 21.** Diagrama de cajas y bigotes: a) pH, b) SDT, c) aceites y grasas, d) CE y e) DQO en relación en los tres tiempos del tratamiento.

*Fuente:* Elaboración propia.

Según la figura 21, se observó que la CE, SDT, DQO, aceites y grasas no variaron en relación de los tiempos del tratamiento. Los SDT, registraron concentraciones entre el rango de 289,30 mg/L y 373,30 mg/L con una media de 322,4 mg/L en 60 minutos; a 120 minutos osciló entre 299,7 mg/L y 357,3 mg/L con una media de 331,67 mg/L y a los 180 minutos entre 322 mg/L y 357,3 mg/L con una media de 354,1 mg/L. En relación a la C.E, fue de 579,33  $\mu\text{S/cm}$  y 749  $\mu\text{S/cm}$  con una media de 645,89  $\mu\text{S/cm}$ , de 600  $\mu\text{S/cm}$  y 715  $\mu\text{S/cm}$  con una media de 663,9  $\mu\text{S/cm}$  y entre 641,7  $\mu\text{S/cm}$  y 743,7  $\mu\text{S/cm}$  para una media de 707,13  $\mu\text{S/cm}$  en 60, 120 y 180 minutos, respectivamente.

De igual manera, los aceites y grasas oscilaron entre 200 mg/L y 400 mg/L con una media de 300 mg/L; de 100 mg/L y 600 mg/L con una media de 366,6 mg/L y de 500 mg/L y 2 100 mg/L con una media de 1 066 mg/L en 60, 120 y 180 minutos, respectivamente. El DQO a los 60, 120 y 180 minutos obtuvo valores, respectivamente de 793,33 mg/L y 7043,67 mg/L con una media de 3 516 mg/L; de 2 554,3 mg/L y 8 067,67 mg/L con una media de 5 312,7 mg/L; y de 3 331,33 mg/L y 6 731 mg/L con una media de 5 246,88 mg/L.

Mediante los datos observados, se determinó que el tiempo óptimo para el tratamiento de aguas mieles es de 60 minutos, durante este tiempo se presentaron los mejores resultados respecto a la reducción de los parámetros fisicoquímicos: DQO, SDT, CE, aceites y grasas.



**4.3 Objetivo específico 3: Determinar la capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS para la reducción de los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café.**

La porosidad influye en la capacidad de absorción por lo que es importante conocer si hubo una influencia positiva en la reducción de los parámetros fisicoquímicos evaluados. Por ello, se calculó la densidad y porosidad de los aerogel CNF/MPCS en sus 3 dosis (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>).

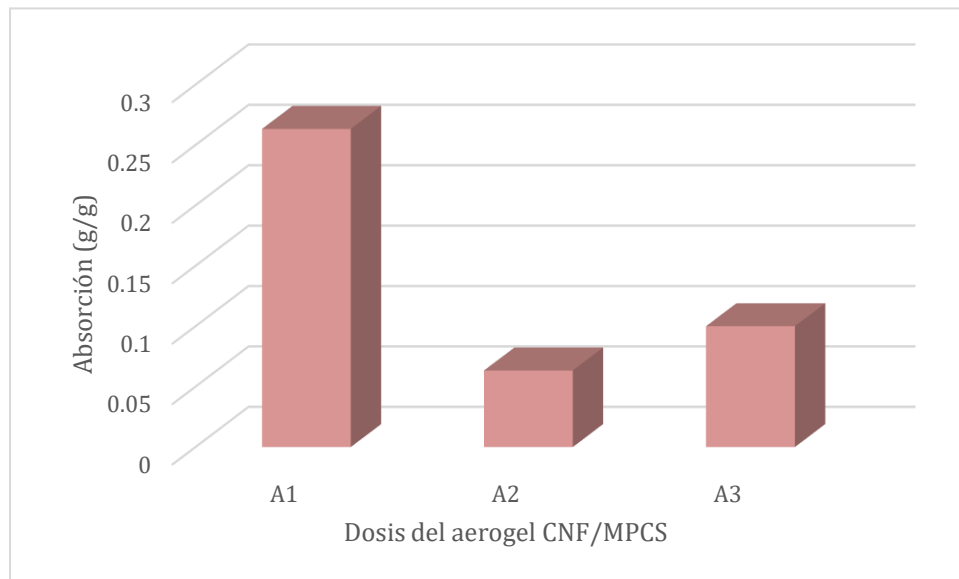
**TABLA 13.** *Caracterización del aerogel CNF/MPCS.*

Dosis del aerogel CNF/MPCS	Tiempo (minutos)	Densidad (g/ cm <sup>3</sup> )	Porosidad %	Absorción g/g
A <sub>1</sub> (1,2 g/ 0,3 g)	60	1,01	61,00	0.33
	120	1,06	64,36	0.30
	180	1,16	66,04	0.16
A <sub>2</sub> (0,75 g/ 0,75 g)	60	1,10	63,01	0.09
	120	0,9	69,74	0.01
	180	1,16	61,00	0.09
A <sub>3</sub> (0,3 g/ 1,2 g)	60	1,09	63,35	0.10
	120	1,07	64,02	0.23
	180	1,00	66,38	-0.03

*Fuente:* Elaboración propia.

En la tabla 13 se observa que el porcentaje de porosidad fue inversamente proporcional a la densidad del aerogel CNF/MPCS; es decir, a menor densidad una mayor porosidad. Para las dosis A<sub>1</sub>, la porosidad fue entre 61 y 66,04%, entre el 61 y 69,74% para la dosis A<sub>2</sub>; y de 63,35 y 66,38% para la dosis A<sub>3</sub>. Respecto a la capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS para las dosis de A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub> los

valores oscilaron entre 16,37 y 33,08%, 1,05 y 9,27%, y -3,22 y 22,72%, respectivamente.



**Figura 22.** Gráfico de barras para capacidad de absorción y porosidad del aerogel CNF/MPCS respecto a las dosis A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>

*Fuente:* Elaboración propia.

En el gráfico 22, se observa la variación de la capacidad de absorción respecto a las tres dosis. La dosis A<sub>1</sub> presentó la mayor capacidad de absorción en comparación con las otras dosis A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>.

**4.3.1 Objetivo general: Evaluar la eficiencia de reducción de los parámetros fisicoquímicos del agua miel de café con la aplicación del aerogel CNF/MPCS.**

**TABLA 14.** *Eficiencia del aerogel CNF/MPCS para aguas mieles de café respecto al tiempo y dosis óptimo.*

		Eficiencia de reducción promedio %
Tiempo del tratamiento	60 minutos	41%*
	120 minutos	34%
	180 minutos	28%
Dosis del aerogel CNF/MPCS	A1	45%*
	A2	34%
	A3	24%

\* Dosis y tiempo óptimo.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14, se muestra la eficiencia del tratamiento en función del tiempo (60 minutos) y dosis (A<sub>1</sub>), los cuales presentaron una mayor eficiencia de reducción promedio de 41% y 45%, respectivamente.

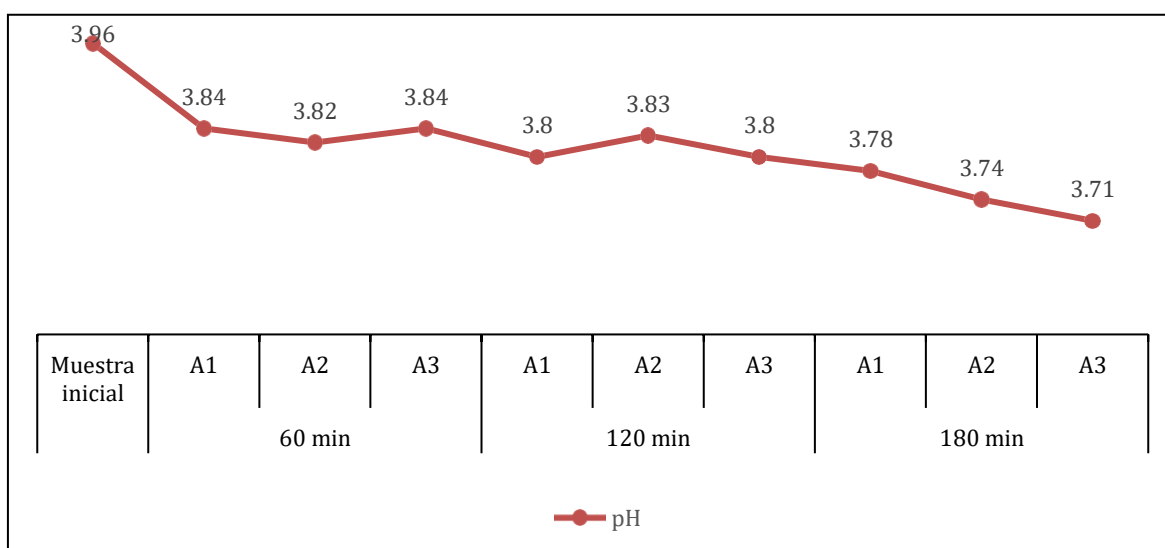
**TABLA 15.** *Eficiencia del aerogel de CNF/MCPS según los parámetros fisicoquímicos evaluados.*

Parámetro fisicoquímico	Eficiencia de reducción
CE (μS/cm)	12%
SDT (mg/L)	16%
DQO (mg/L)	89%
Aceites y grasas (mg/L)	97%

Fuente: Elaboración propia.

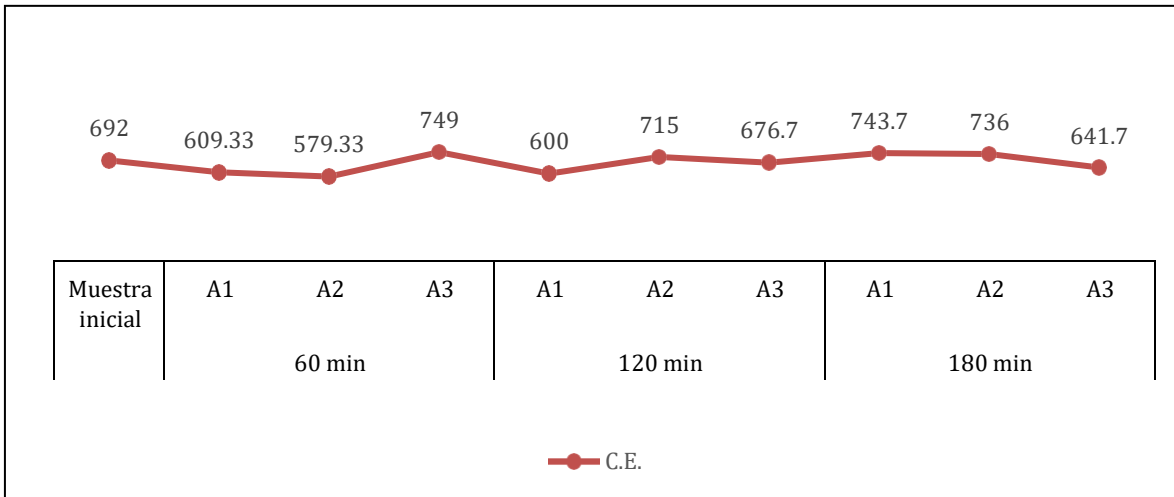
En la tabla 15, no se ha considerado pH puesto que, no presentó eficiencia en la disminución de la acidez del agua miel. Referente a los demás parámetros fisicoquímicos se observó la eficiencia de reducción de la CE fue de 12%, para SDT de 16%, DQO 89%, aceites y grasas 97%.

Asimismo, se detallan las variaciones de los parámetros fisicoquímicos y sus respuestas a las dosis del aerogel CNF/MPCS y tiempos del tratamiento aplicados:



**Figura 23.** Gráfico de líneas para pH  
*Fuente:* Elaboración propia.

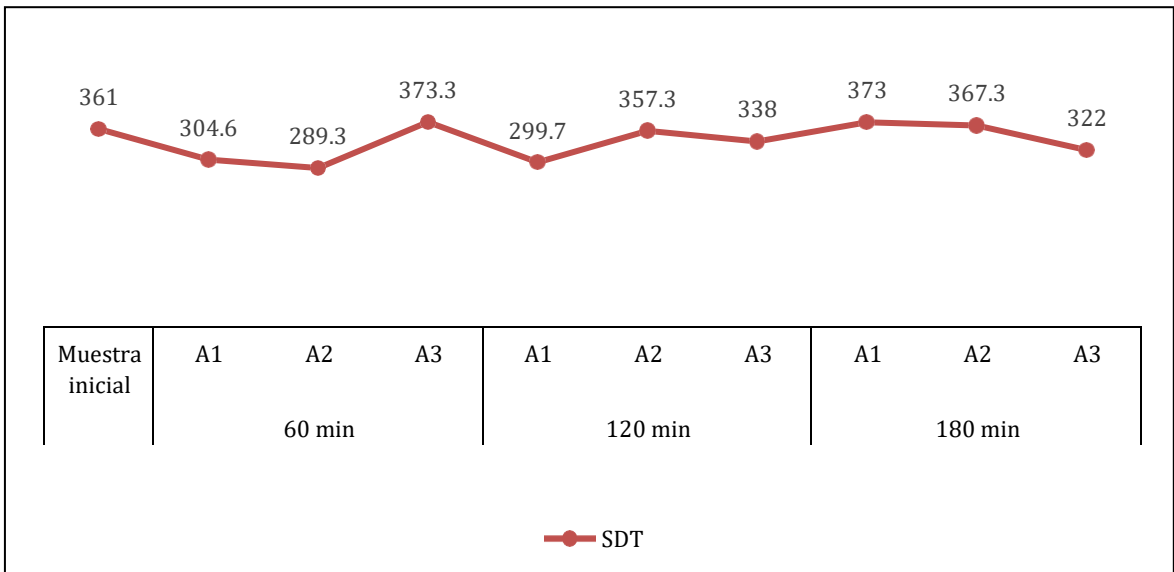
El pH en la muestra inicial tuvo un valor de 3, 96 y como se observa en la figura 23, el pH presento una disminución en función al tiempo y las tres dosis aplicadas dosis del aerogel CNF/MPCS. En los 60 minutos la dosis A1 evidenció la menor disminución en comparación con la dosis A2 y A3, asimismo, en comparación con los 2 tiempos restantes, está dosis presentó el mejor pH; sin embargo, tuvo una influencia negativa en el tratamiento de aguas mieles, convirtiéndolas en aguas más ácidas.



**Figura 24.** Conductividad eléctrica (CE)

Fuente: Elaboración propia.

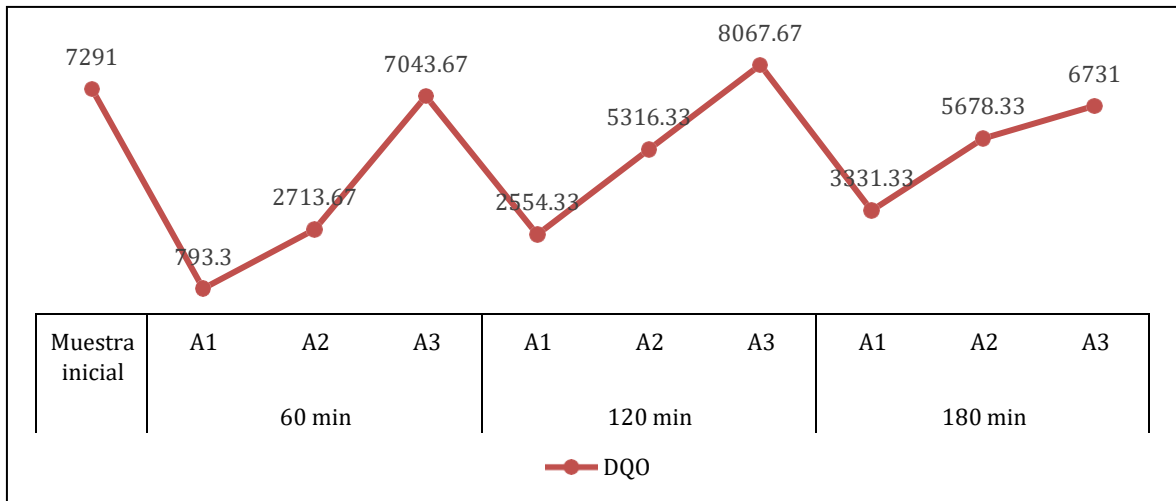
La conductividad eléctrica presentó una concentración inicial de 692  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a los 60 minutos, la dosis A<sub>2</sub> presentó la menor concentración de 579,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en comparación con las demás dosis y tiempos restantes.



**Figura 25.** Sólidos disueltos totales (SDT)

Fuente: Elaboración propia

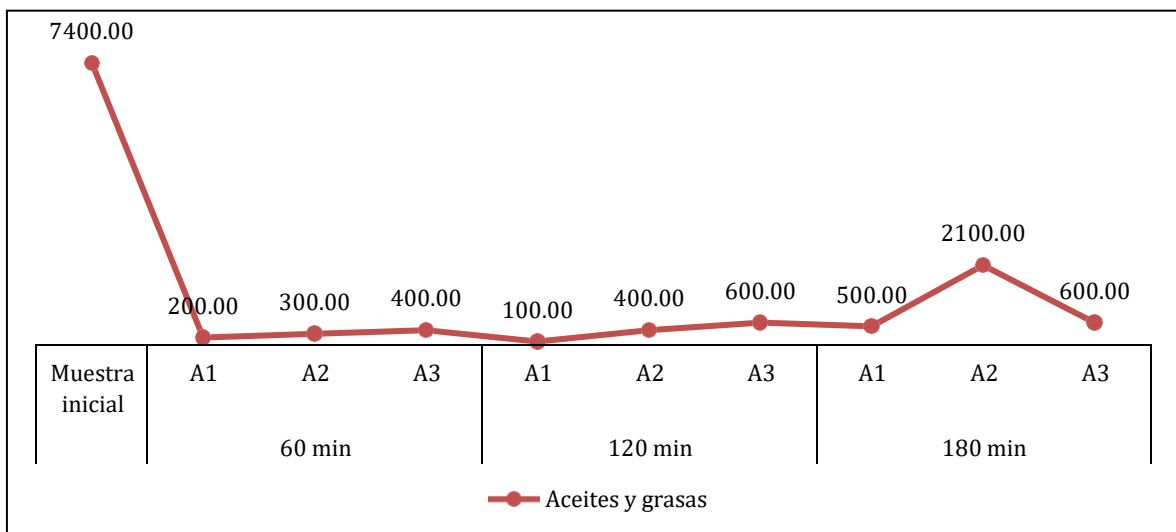
Los sólidos disueltos totales presentaron una concentración inicial de 361 mg/L, a los 60 minutos presentó la menor concentración de 289,3 mg/L, siendo esta concentración menor en contraste con el resto de dosis a diferentes tiempos.



**Figura 26.** Demanda química de oxígeno (DQO)

Fuente: Elaboración propia.

La concentración inicial demanda química de oxígeno fue de 7 291 mg/L, la dosis A<sub>1</sub> presento la menor concentración del tratamiento siendo de 793,3 mg/L en los 60 minutos, 2 554,33 mg/L a los 120 minutos y 3 331,33 mg7L a los 180 minutos.



**Figura 27.** Aceites y grasas

Fuente: Elaboración propia.

La concentración inicial de los aceites y grasas fue de 7 400 mg/L, en los primeros 60 minutos presento una concentración de 200 mg/L y 100 mg/L a los 120 minutos en la dosis A<sub>1</sub>; dosis que mostró los mejores resultados en comparación de las otras dosis.

## PRUEBA DE HIPÓTESIS

**Hipótesis específica 1:** La dosis óptima de CNF/MPCS permite la mayor reducción de parámetros fisicoquímicos presentes en aguas mieles de café.

### - Contrastación de la hipótesis

A partir de los resultados obtenidos, se aplicó la prueba de normalidad para contrastar si los datos observados presentan una distribución normal.

#### **Hipótesis a evaluar:**

**Ho:** Los datos observados de los parámetros fisicoquímicos se aproximan a la distribución normal.

**Ha:** Los datos observados de los parámetros fisicoquímicos no aproximan a la distribución normal.

#### **Nivel de significancia:**

$\alpha=0,05$

#### **Estadístico de prueba:**

Shapiro Wilk, por tratarse de una muestra menor a 50.

**TABLA 16.** Prueba de normalidad de los parámetros fisicoquímicos respecto a la dosis del aerogel CNF/MPCS.

Parámetros fisicoquímicos	Dosis del aerogel CNF/MPCS	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.
pH	A <sub>1</sub>	0,964	3	0,637
	A <sub>2</sub>	0,832	3	0,194
	A <sub>3</sub>	0,953	3	0,583
SDT (mg/L)	A <sub>1</sub>	0,800	3	0,114
	A <sub>2</sub>	0,844	3	0,226

	A <sub>3</sub>	0,955	3	0,592
C.E ( $\mu$ S/cm)	A <sub>1</sub>	0,798	3	0,111
	A <sub>2</sub>	0,848	3	0,236
	A <sub>3</sub>	0,961	3	0,622
DQO (mg/L)	A <sub>1</sub>	0,952	3	0,579
	A <sub>2</sub>	0,840	3	0,214
	A <sub>3</sub>	0,914	3	0,431
Aceites y grasas (mg/L)	A <sub>1</sub>	0,923	3	0,463
	A <sub>2</sub>	0,792	3	0,094
	A <sub>3</sub>	0,750	3	0,000

*Fuente:* Elaboración propia.

En la tabla 16, se observa que, al 95% de intervalo de confianza, el p-valor de los parámetros fisicoquímicos evaluados son mayores al nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ; p-valor > 0,05). Se concluye que los datos para los parámetros SDT, DQO, pH, CE y aceites y grasas para las dosis A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> tienen una distribución normal, es decir son paramétricos; a diferencia de aceites y grasas en la dosis A<sub>3</sub> que no tienen una distribución normal y por tal es no paramétrica.

**Hipótesis específica 2:** El tiempo óptimo permite la mayor reducción de parámetros fisicoquímicos presentes en aguas mieles de café.

- **Prueba de normalidad**

A partir de los resultados obtenidos, se aplicó la prueba de normalidad para contrastar si los datos observados presentan una distribución normal.

**Hipótesis a evaluar:**

**Ho:** Los datos observados de los parámetros fisicoquímicos se aproximan a la distribución normal respecto a los tres tiempos establecidos para el tratamiento de aguas mieles de café.



**Ha:** Los datos observados de los parámetros fisicoquímicos no se aproximan a la distribución normal respecto a los tres tiempos establecidos para el tratamiento de aguas mieles de café.

**Nivel de significancia:**

$\alpha=0,05$

**Estadístico de prueba:**

Shapiro Wilk, por tratarse de una muestra menor a 50.

**TABLA 17.** Prueba de normalidad de los parámetros fisicoquímicos respecto a los tres tiempos aplicados al tratamiento de aguas mieles de café.

Parámetros fisicoquímicos	Tiempo del tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.
pH	60 minutos	0,750	3	0,000
	120 minutos	0,750	3	0,000
	180 minutos	0,993	3	0,843
SDT	60 minutos	0,881	3	0,328
	120 minutos	0,965	3	0,641
	180 minutos	0,833	3	0,195
CE	60 minutos	0,878	3	0,318
	120 minutos	0,964	3	0,636
	180 minutos	0,806	3	0,130
DQO	60 minutos	0,953	3	0,582
	120 minutos	1,000	3	0,998
	180 minutos	0,954	3	0,587
Aceites y grasas	60 minutos	1,000	3	1,000
	120 minutos	0,987	3	0,780
	180 minutos	0,797	3	0,107

Fuente: Elaboración propia.

Al 95% de confianza, todos los parámetros fisicoquímicos evaluados, a excepción del pH, presentaron un p-valor > 0,05, con esto se infiere que los datos siguen una distribución normal; por lo que, se tratan de datos paramétricos. Respecto al pH, el p-valor < 0,05, se infiere que los datos siguen un comportamiento no paramétrico.

**Hipótesis específica 3:** La capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS influye en la reducción de parámetros fisicoquímicos presentes en aguas mieles de café.

- **Prueba de normalidad**

**Hipótesis a evaluar:**

**Ho:** Los datos observados de la capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS se aproximan a la distribución normal.

**Ha:** Los datos observados de la capacidad de relación absorción del aerogel CNF/MPCS se aproximan a la distribución normal.

**Nivel de significancia:**

$\alpha=0,05$

**Estadístico de prueba:**

Shapiro Wilk, por tratarse de una muestra menor a 50.

**TABLA 18.** Prueba de normalidad para capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS.

Variable	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Capacidad de absorción (%)	0,947	9	0,652

Fuente: Elaboración propia.

Al 95% de confianza, el p-valor de la capacidad de absorción son mayores al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ), por lo que se concluye que la capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS poseen datos con distribución normal.

**Hipótesis general:** El aerogel CNF/MPCS es eficiente significativamente para el tratamiento de aguas mieles de café.

Para contrastar la hipótesis general se analizó los datos obtenidos con el programa estadístico SPSS 26, respecto a los resultados pre y post tratamiento de los parámetros fisicoquímicos. Se aplicó la prueba de normalidad a los parámetros fisicoquímicos, con anterioridad (ver tabla 16 y tabla 17). Se consideraron los parámetros fisicoquímicos SDT, DQO y CE poseen una distribución normal, a diferencia de aceites y grasas que no presentaron una distribución normal. El pH no se consideró como parte del análisis en vista que no presentó una variación favorable para la eficiencia de reducción del tratamiento.

**Hipótesis a evaluar:**

**Ho:** El aerogel CNF/MPCS no es eficiente para el tratamiento de aguas mieles de café.

**Ha:** El aerogel CNF/MPCS es eficiente para el tratamiento de aguas mieles de café.

Para los parámetros SDT, DQO y CE, se aplicó la prueba t-Student y para aceites y grasas se optó por la prueba de Wilcoxon, con esto se buscó evaluar los resultados pre y post tratamiento de los parámetros fisicoquímicos y determinar si el tratamiento es eficiente significativamente para las aguas mieles de café.

**TABLA 19.** Prueba t-Student para los resultados pre y post de los parámetros fisicoquímicos: SDT, CE, DQO y pH.

Parámetros evaluados	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral) P-valor
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
SDT Inicial – SDT Final	24,9	33,3	11,1	-0,6	50,5	2,246	8	0,055
CE Inicial – CE final	19,6	66,7	22,2	-31,6	71,0	,885	8	0,402

DQO Inicial – DQO Final	2598,8	2448,9	816,3	716,3	4481,2	3,184	8	0,013
-------------------------	--------	--------	-------	-------	--------	-------	---	-------

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 20.** Prueba de Wilcoxon para aceites y grasas pre y post tratamiento

	Prueba	p-valor
Aceites y grasas inicial – Aceites y grasas final	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0,008

Fuente: Elaboración propia.

El p-valor para SDT, CE y pH fueron mayores al nivel de significancia; por lo tanto, con 95% de intervalo de confianza, se rechaza la hipótesis nula. Respecto a DQO y aceites y grasa, el p-valor fue menor al nivel de significancia por lo que, con 95% de intervalo de confianza se acepta la hipótesis nula.

Por lo tanto, se concluye que el tratamiento con el aerogel CNF/MPCS para aguas mieles del café no es eficiente significativamente para la reducción de SDT, CE en aguas mieles. Sin embargo, es eficiente significativamente para la reducción de DQO, aceites y grasas en aguas mieles de café.

## V. DISCUSIÓN

La investigación se llevó a cabo en una finca cafetalera ubicada en el distrito de Villa Rica (Oxapampa-Pasco). Los datos obtenidos de la caracterización fisicoquímica de las aguas mieles de café de diversas variedades (*Caturra rojo y amarillo, Gran Colombis, Marsellesa, H1, Gaysha y Pacche*), fueron comparados con los LMP de la OMS y la Resolución 0631-2015- Colombia. El pH registró un valor de 3.96, lo cual indica que es menor a lo establecido por la OMS y la Resolución 0631-2015, siendo los valores mínimos para descarga del efluente de 6,8 y 5, respectivamente.

Asimismo, en la India los investigadores Ancy *et al.*, (2020) y Vasanthi *et al.*, (2021) obtuvieron un pH similar de 3.5 y 3.7, respectivamente. Can *et al.*, (2019) obtuvo un pH de 4.8 de una fábrica de producción de café instantáneo y productos de café en Turquía. De Barros *et al.*, (2019) obtuvo un pH de 4.3 en una finca productora de café en el estado de São Paulo, Pedregullo (Brasil). Por otra parte, Ashenafi *et al.*, (2021) obtuvo el pH más bajo de 1.33 en la ciudad de Dila, Etiopía, al igual que Neira (2021) en Ecuador (2.87), ambas aguas mieles de café de la especie *coffea arábica*. Ángulo (2019) obtuvo 5.14 de la misma especie que los autores anteriores. Mientras que, Rojas (2019) trabajó con 4 fincas cafetaleras de productores orgánicos en la sierra Cauca, Asprosi (Colombia) obteniendo un pH de 5.25, 5.45, 6.02 y 5.91. Por ende, estos valores tampoco cumplen con el límite establecido por la OMS para el agua destinada para el consumo humano. Sin embargo, este último autor si cumple con el valor establecido por la Resolución 0631-2015 Colombia.

La acidez del agua miel se debe principalmente al contenido de ácidos orgánicos del café (Franco y Hurtado, 2021). En el proceso de fermentación del mucílago, los azúcares se fermentan en presencia de levaduras generando alcohol y CO<sub>2</sub>, por ello, el alcohol se convierte en ácido acético en el agua del mucílago del café (Genanaw *et al.*, 2021)

Respecto a la CE se obtuvo una concentración de 692  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo inferior a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valor estipulado por la OMS. Por el contrario, Rojas (2019) obtuvo valores 1428, 1320, 1294 y 1048  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no cumpliendo así con el límite de la OMS. El

contenido de CE puede aumentar por los altos niveles de fosfatos, nitritos y nitratos que se encuentran presentes en las aguas mieles.

Se determinó que la concentración de SDT fue de 361 mg/L, por lo que este parámetro es menor a lo establecido por la OMS. Ashenafi *et al.*, (2021) y Ancy *et al.*, (2020) registraron valores de 3 545 y 4 530 mg/L, respectivamente; sobrepasando los límites establecidos por la OMS. La concentración de aceites y grasas (7 400 mg/L) sobrepasaron los LMP establecidos por la OMS y la normativa colombiana. Mientras que la concentración de DQO fue de (7 291 mg/L). Ashenafi *et al.*, (2021) y Rojas (2019) registraron valores similares de 1261 y 1450, 1230, 1150, 1410 (mg/L) respectivamente. Ancy *et al.*, (2020) registró el valor más alto (29 130 mg/L). Estos resultados fueron superiores a lo establecido por la normativa colombiana y por la OMS.

Es importante determinar la dosis óptima para el aerogel CNF/MPCS para su desempeño en el proceso de coagulación-floculación, ya que una dosificación excesiva o insuficiente podría conducir a un desempeño deficiente del proceso. El aerogel CNF/MPCS de dosis A<sub>3</sub> (0.3 g/1.2 g), obtuvo la menor eficiencia de reducción de DQO y SDT con un valor de 0.1 y 5 %, respectivamente. Para la dosis A<sub>2</sub> (0.75 g/ 0.75 g) fue de 6 y 37 %, respectivamente. La dosis óptima fue para el aerogel A<sub>1</sub>(1.2 g/0.3 g), ya que se obtuvo valores de 10 y 70 % para DQO y SDT. Olajire *et al.*, (2021) elaboró nanocompuestos de quitosano (CS) y quitosano/hierro@plata (CS/Fe@Ag) a una concentración de dosificación de 40mg/L, obteniendo 72 y 84.5% para la reducción de turbidez, lo que pudo deberse al fenómeno de alta densidad de carga que ayudó en la rápida desestabilización de partículas a dosis moderadamente bajas de quitosano, ya que cuando aumentó la dosis a >40mg/L disminuyó el porcentaje de reducción de turbidez, siendo el CS puro el que mostró los valores más bajos.

Por lo cual, dichos investigadores mencionan que esto puede atribuirse al llenado de superficies coloidales de partículas suspendidas con adsorbentes durante el proceso de dispersivo y el exceso de quitosano tiene tendencia a destruir el puente de polímero entre las partículas suspendidas, que luego permanecieron flotando, lo que llevó al aumento en la turbidez de las aguas residuales y disminuye el

porcentaje de reducción. De forma similar, esto puede ser atribuible a la menor eficiencia en la reducción de DQO y SDT del aerogel A<sub>3</sub>, ya que este contenía la mayor dosis de MPCS.

Sin embargo, para neutralizar el pH inicial de 3.96, el aerogel A<sub>1</sub> no mostró una ventaja significativa frente a A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>. Resultado similar (3.4 final) obtenido por Ancy *et al.*, (2020), los cuales usaron 1mL de bacterias autóctonas, siendo el más eficiente por 1mL de *Enterobacteria cloacae*.

Se investigó el efecto del tiempo de contacto (60, 120 y 180 minutos) en las reducciones de los parámetros fisicoquímicos. El tiempo óptimo para las reducciones fue de 60 minutos, siendo el mismo valor observado por Daravitabar *et al.*, (2020), ellos mencionan que el aerogel CNF pudo permanecer en el agua durante más de 90 minutos. Sin embargo, en la presente investigación se evidenció que los aerogeles CNF/MPCS permanecieron en el agua durante más de 180 minutos. Si bien es cierto que el mayor tiempo no evidenció resultados óptimos para todos los parámetros, sí tuvo una eficiencia de reducción de 28.04 y 85.59 % para DQO, aceites y grasas, respectivamente. En 120 minutos se evidenció un valor similar de eficiencia a 60 minutos para aceites y grasas 95.05 y 95.95%, respectivamente. En 180 minutos se obtuvo el menor porcentaje de reducción para DQO 1.91 mg/L.

Del mismo modo, Olajire *et al.*, (2021) no observó ningún cambio en el porcentaje de eliminación del nivel de reducción de turbidez después de 30min y esto se debió a la formación de pequeños flóculos que no son lo suficientemente densos para asentarse en las aguas residuales, lo que indirectamente hace que la muestra permanezca turbia. Este dato podría relacionarse de forma indirecta con la mínima reducción de 1.91% en 180 minutos por el aerogel CNF/MPCS.

Asimismo, Ancy *et al.*, (2020) al aumentar más la duración del tratamiento a 72 y 96 horas tuvo un efecto reducido para la eliminación de color, TDS y DQO, también las muestras aparecieron turbias y crearon un olor desagradable; esto se debió al crecimiento bacteriano y la pérdida de nutrientes en las aguas mieles de café.

Por otro lado, en esta investigación se elaboró un aerogel hidrofílico con capacidad de absorción media de 0,26 g/g para la dosis óptima A<sub>1</sub> que contiene mayor cantidad de CNF. En aerogeles híbridos de quitosano y CNF, Rizal *et al.*, (2020) mencionan que las CNF aportan mayor porosidad. Lo cual ve reflejado en el aerogel CNF/MPCS con una porosidad de 61% en condiciones óptimas y alta capacidad de absorción, a diferencia de las otras dosis (A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>) que contenían una mayor concentración de MPCS, lo cual redujo el tamaño de los poros y por ende los resultados de absorción fueron menores e incluso nulos. Cabe resaltar que, los autores mencionados, trabajaron con quitosano y CNF, obteniendo mejores resultados en relación de 60/40% de quitosano/CNF, ya que el quitosano aportó una mayor dureza y menor absorción de agua, disminuyendo el comportamiento hidrofílico de la CNF. Estos resultados difieren con los datos obtenidos en la investigación ya que se obtuvieron resultados opuestos, los mejores resultados se logró con la relación de 20/80% de MPCS/CNF, el MPCS no tuvo aportes significativos en la dureza y reducción de la absorción del agua por lo que, en el tiempo en 180 minutos, los aerogeles CNF/MPCS comenzaron a desintegrarse debido a la débil adhesión de las moléculas CNF.

Actualmente no existen investigaciones sobre aerogeles aplicados al tratamiento de aguas mieles, por ello, la capacidad de absorción se comparó con estudios realizados para la absorción de metales pesados y contaminantes orgánicos, dentro de las investigaciones realizadas para contaminantes orgánicos destaca la absorción de aceites. Respecto a la capacidad de absorción (0,26 g/g) obtenida en esta investigación guarda relación con Mo *et al.*, (2021) quienes fabricaron aerogeles de CNF logrando una absorción de 0,11 y 0,92 g/g para Pb (II) y Cu (II). En contraste, Sanguanwong *et al.*, (2020) elaboraron aerogeles CNF, aplicaron el mismo método para coagular el gel mediante etanol y posterior congelación lenta por 2 días a -25°C, obtuvieron una capacidad de absorción 28,56 g/g para aceites y 39,59 g/g para cloroformo.

Por su parte, Oliveira *et al* (2018), elaboró un aerogel a base del pino *Elliottii*, consiguiendo una absorción de 9,55 g/g y de 19,21 g/g para petróleo y aceite vegetal, respectivamente. Así mismo, Whang *et al.* (2021), prepararon un aerogel de CNF con capacidad de absorción de uranio (VI). Rafieian *et al.*, (2018) fabricaron



un aerogel de CNF a partir de la paja de canola, obtuvo una absorción de 78,8 y 162,4 g/g para aceites de motor y cocina, respectivamente. Finalmente, Ji *et al.*, (2020) elaboraron aerogeles de CNF liofilizadas obteniendo una capacidad de absorción de 36,7 g/g para Cu (II).

Para la elaboración del aerogel CNF/MPCS se ha optado por el método de coagulación con etanol y por congelación lenta a  $-25^{\circ}\text{C}$ . Por tal, se asume que la baja capacidad reportada en la investigación está relacionada a 3 factores: pH del medio, método de elaboración del aerogel (secado) y tipo de contaminantes. Gran parte de los autores citados trabajaron en aguas contaminadas con aceites y metales pesados, entonces podría inferirse que los aerogeles de CNF tienen mayor fijación hacia metales pesados, nitratos, fosfatos y aceites. En cuanto al método de elaboración del aerogel, Oliveira *et al* (2018) refieren que la liofilización mejora la capacidad de absorción mediante la formación de macroporos, a diferencia del método por congelación lenta, el hielo tiende a crear capas de cristales separados por capas de nanopartícula y al no eliminarse por liofilización estas capas sólidas no desaparecen creando micro y mesoporos en forma de láminas.

El pH del medio influye en la absorción de contaminantes, por lo que Ji *et al.*, (2020) estimó que para la absorción de Cu (II) el pH óptimo es 5, debido a que, en valores bajos de pH, la eliminación de Cu (II) fue insignificante. De igual manera, Whang *et al.*, (2021) enfatizaron que con un pH 7 lograron mejores resultados de absorción de uranio (VI). El agua miel tratado tenía un valor inicial de 3,96 por lo que se deduce que influyó en la capacidad de absorción de los parámetros fisicoquímicos por el aerogel CNF/MPCS.

La eficiencia del tratamiento con el aerogel CNF/MPCS fue de 12% CE, 16% SDT, 89% DQO y 97% para aceites y grasas en 60 minutos. La mayoría de los investigadores evaluaron la reducción de DQO y SDT mediante diferentes para tratamiento de aguas mieles de café. Ashenafi *et al*, (2021) optaron por la biorremediación, obteniendo una eficiencia de 87.4% para DQO y 33,79% SDT en 6 días. Rojas (2019) obtuvo un 51.58% de DQO en 30 días con microorganismos eficientes. Ancy *et al* (2020), con microorganismo autóctonos del agua miel obtuvo una reducción de 40,9% para SDT y 48,7% para DQO en 48 horas.

Por su parte, De Barros *et al*, (2019) mediante oxidación y coagulación/floculación de Fenton, obtuvieron valores de 76.5% DQO en 3 horas. Asimismo, Can *et al*, (2019) obtuvo el mayor valor de 97% para DQO en 6 horas aplicando la electrooxidación asistida por coagulación química (diamante dopado con boro).

Neira (2021), por fitorremediación logró la eficiencia de 66% en DQO durante 19 días. Vashanty *et al*, (2020) a través de la proteína lectina aislada de la semilla de *Ricinus communis L.* obtuvo una reducción de 80% DQO y 75% SDT en 1 hora. También Barreto *et al*, (2020) utilizó la *Moringa olifeira* como bioadsorbente para reducir DQO, aceites y grasas de 70% y 51%, 92% y 85%, respectivamente.

## VI. CONCLUSIONES

Se evaluó que el aerogel CNF/MPCS fue eficiente para reducir la concentración de CE en 12%, 16% SDT, 89% DQO y 97% para aceites y grasas en aguas mieles de café. Puesto que, su eficiencia está directamente relacionada con el método de elaboración del aerogel (secado) y tipo de contaminantes en el medio.

Se determinó que la dosis optima del aerogel CNF/MPCS para la reducción de SDT, CE, DQO, aceites y grasas fue la dosis A<sub>1</sub> con concentraciones de 1,2 g/ 0,3 g de CNF/MPCS. Referente al pH, la dosis A<sub>1</sub> presentó la menor disminución en comparación con las otras dosis. Esta dosis presenta mayor concentración de CNF lo que potencia la alta porosidad y baja densidad del aerogel.

Se determinó que el tiempo optimo fue de 60 minutos para reducir CE, SDT, DQO, aceites y grasas de aguas mieles del café. Puesto que en este tiempo se dio la menor reducción de los parámetros fisicoquímicos en comparación a 120 y 180 minutos. Es importante resaltar que, a mayor tiempo de contacto, el aerogel CNF/MPCS corre el riesgo de desintegrarse aumentando el contenido de las concentraciones superiores a la muestra inicial.

Se determinó que la capacidad de absorción fue de 0,26 g/g para la dosis A<sub>1</sub> del aerogel CNF/MPCS, el cual favoreció la reducción de SDT, CE, DQO, aceites y grasas presentes en las aguas mieles. La acidez de las aguas mieles disminuyó la capacidad de absorción del aerogel CNF/MPCS.

## VII. RECOMENDACIONES

Para optimizar la eficiencia del aerogel CNF/MPCS, se recomienda realizar la liofilización para obtener una menor densidad y con ello una mayor porosidad (macroporos) de manera que, facilite la absorción de contaminantes. Asimismo, optar por aerogeles hidrofóbicos para repeler el agua y lograr mejores resultados.

Se recomienda optar por mayores dosis de CNF con la finalidad de obtener un aerogel con un área de superficie específicamente alta, mayor porosidad y baja densidad, pudiendo actuar como un nanoadsorbente adecuado para la reducción de diversos contaminantes.

Asimismo, elaborar aerogeles con un pH 6 para potenciar la capacidad de absorción y adsorción. Para el tratamiento del agua miel se recomienda realizar un filtrado previo ya que, este contiene sedimentos, partículas de materia orgánica como las cáscaras, pulpa y otros residuos que pueden obstaculizar y disminuir la capacidad de sorción del aerogel.

Se debe evaluar menores tiempos de reducción (inferiores a 60 minutos) para identificar el máximo porcentaje de reducción de SDT, DQO, aceites y grasas presentes en aguas mieles del café.

Se recomienda realizar mayor investigación sobre el uso de aerogeles multifuncionales sin compuestos químicos nocivos, a base de residuos agrícolas e hidrobiológicos relacionados a su reutilización para el tratamiento de aguas mieles, ya que, es una problemática con alto impacto ambiental.

## REFERENCIAS

AGUILAR, Noé, HOUBRON, Eric, RUSTRIAN, Elena y REYES, Luis. Papel amate de pulpa de café (*Coffea arabica*) (Residuo de beneficio húmedo). *Ra Ximhai*, 2014, vol. 10, no 3, p. 103-117.

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111008>

ALLE, Madhusudhan, BANDI, Rajkumar, LEE, Seung-Hwan y KIM, Jin-Chul. Recent trends in isolation of cellulose nanocrystals and nanofibrils from various forest wood and nonwood products and their application. En *Nanomaterials for agriculture and forestry applications*. Elsevier, 2020. p. 41-80. Fecha de consulta: [09 de octubre del 2021].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817852-2.00003-2>

ANCY, Jenifer, CHANDRAN, Thamaraiselvi, VASANTHY, Muthunarayanan, BALASUBRAMANI, Ravindran, KHANH, Nguyen, CUONG, Nguyen, XUAN, Bui, HAO, Ngo, HOAN, Nguyen, CHANG, Woong y Duc, Nguyen. Evaluation of efficacy of indigenous acidophile- bacterial consortia for removal of pollutants from coffee cherry pulping wastewater. *Journal Bioresource Technology Reports* [en línea]. 2020, vol.11. [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100533>

ANCY J, A., VASANTHY, M., THAMARAI, S.C., RAVINDRAN, B., WOO, J.C. y SOON, W.C. Treatment of coffee cherry pulping wastewater by using lectin protein isolated from *Ricinus communis* L. seed. *Journal Journal of Water Process Engineering* [en línea]. Vol. 31, 2021. [Fecha de consulta: 26 de noviembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101742>

ÁNGULO, Juniors. Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM™) sobre la calidad de aguas mieles del beneficio húmedo del café. Tesis (Licenciado en Ingeniero Ambiental). Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2019, 71 pp.

ASHENAFI, Fitsum, VELMURUGAN, Paramasivam y KUMARAN, Senthil. Treatment of wastewater from coffee (*coffea arabica*) industries using mixed culture *Pseudomonas fluorescens* and *Escherichia coli* bacteria. *Journal Materials Today: Proceedings* [en línea]. Vol. 46, 2020. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1124>

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, 2016, 92 pp.

BAKSHIA, P. S., Selvakumar, D., Kadirvelu, K., y Kumar, N. S. (2020). Chitosan as an environment friendly biomaterial—a review on recent modifications and applications. *International journal of biological macromolecules*, 150, 1072-1083. Fecha de consulta: [21 de setiembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.113>

BALAJI, Anand, PAKALAPATI, Harshini, KHALID, Mohammad, WALVEKAR, Rashmi y SIDDIQUI, Humaira. Natural and synthetic biocompatible and biodegradable polymers. *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites. Duxford: Woodhead Publishing*, 2018, p. 3-32. Fecha de consulta: [04 de enero del 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100970-3.00001-8>

BAQUERO, César y CARRERA, Christian. Evaluación de parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de cacao en humedales artificiales con especies macrófitas, Tarapoto, 2019. Tarapoto: Universidad César Vallejo, 2019, 116 pp.

BARRETO, Juan, TOVAR, Pavel y OLAYA, Alfredo. Sistema de tratamiento para aguas mieles producto del beneficio húmedo del café con moringa oleifera lam como bioadsorbente para el pequeño caficultor colombiano. *Revista Ingeniería y Región* [en línea]. Julio-diciembre 2020, vol. 24. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2022].

BISEKWA, Emilie; NJOGU, Paul M.; KUFA-OBSO, Taye. Calidad de efluentes de plantas procesadoras de café por vía húmeda en zonas ecológicas cafetaleras en Burundi. *Revista Internacional de Tratamiento de Agua y Aguas Residuales*, 2020. Disponible en: [10.16966/2381-5299.176](https://doi.org/10.16966/2381-5299.176)

BRAS, Julien, VIET, David, BRUZZESE, Cécile y DUFRESNE, Alain. Correlation between stiffness of sheets prepared from cellulose whiskers and nanoparticles dimensions. *Carbohydrate Polymers*, 2011, vol. 84, no 1, p. 211-215. Fecha de consulta: [11 de noviembre del 2021].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.11.022>

BLASCO, Mario. Microbiología del suelo. Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1970, 250 pp.

CÁMARA peruana de café y cacao. Estudio de mercado del café peruano. Lima: Biblioteca Nacional del Perú, 2017.

CAN, Orhan, GENGEÇ, Erhan y KOBAYASHI, Mehmet. TOC and COD removal from instant coffee and coffee products production wastewater by chemical coagulation assisted electrooxidation. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. 2019, vol. 28. [Fecha de consulta: 06 de enero del 2022].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.01.002>

CRUZ, Abumalé, RÍOS, Edna, POLA, Francisco, LAGUNAS, Selene, MEZA, Rocío y RUÍZ, Víctor. Evaluation of hydraulic retention time on treatment of coffee processing wastewater (CPWW) in EGSB bioreactor. *Sustainability*, 2017, vol. 10, no 1, p. 83. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su10010083>

DARABITABAR, Fatemeh, YAVARI, Vahid, HEDAYATI, Aliakbar, ZAKERI, Mohammad y YOUSEFI, Hossein. Novel cellulose nanofiber aerogel for aquaculture wastewater treatment. *Journal Environmental Technology & Innovation* [en línea]. Vol. 18, 2020. [Fecha de consulta: 18 de octubre del 2021].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100786>

DECRETO Supremo N° 004 [Ministerial del Ambiente]. Por medio del cual se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. 7 de junio del 2017.

DURAND, Brenda. Valorización de los residuos orgánicos blandos de productos hidrobiológicos del mercado pesquero Palomar - Arequipa- 2019. Tesis (Licenciado en Ingeniero Ambiental). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, Ingeniería Ambiental, 2019. 116 pp.

ECORFAN, 2015 [fecha de consulta: 11 de febrero del 2022]. Disponible en: <https://www.ecorfan.org/spain/software-y-libros.php>

ESWARI, A. Parvathy, MEENA, Anu, KANNAH, Yukesh, SAKTHINATHAN, G., KARTHIKEYAN, O. y BANU, Rajesh. Bioconversión de biomasa de residuos marinos para la valorización de biocombustibles y productos de valor añadido. En Refinación de Residuos de Biomasa para Energía Sostenible y Bioproductos. Prensa Académica, 2020. p. 481-507.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818996-2.00022-3>

FRANCO, Laura y HURATADO, Cindy. Desarrollo de un prototipo de filtro utilizando cáscaras de plátano y de yuca para el tratamiento de aguas mieles del café en la finca grano de oro en el municipio de San Luis Tolima. Tesis (Licenciado de Bioingeniería). Bogota: Universidad El Bosque, facultad de Ingeniería, 2021, 110 pp.

FIGUEROA, Esther, PREZ, Francisco y GODÍNEZ, Lucila. La producción y el consumo de café [en línea]. México: ECORFAN, 2015 [fecha de consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en: <https://www.ecorfan.org/spain/software-y-libros.php>

GARCÍA, Yamile. Establecimiento de un sistema filtro para tratamiento de aguas mieles en una finca del municipio de Ibagué, promoviendo los tres pilares de producción y sostenibilidad, (económico, social y ambiental). Tesis (Licenciado en



Agronomía). Ibagué Tolima: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2017, 76 pp.

GARDE, William, BUCHBERGER, Steven, WENDELL, David y KUPFERLE, Margaret. Application of Moringa Oleifera seed extract to treat coffee fermentation wastewater. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 201, vol. 329. [Fecha de consulta: 06 de enero del 2022].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.01.006>

GENANAW, Wubalem, KANNO, Girum y DRESE, Dawit. Effect of wastewater discharge from coffee processing plant on river water quality, Sidama Region, South Ethiopia. *Environmental Health Insights*, vol. 15, 2021, 12 pp.

Disponible en: <https://doi.org/10.1177/11786302211061047>

GIZLI, Nilay; ÇOK, Selay Sert; KOÇ, Fatoş. Aerogel, xerogel, and cryogel: Synthesis, surface chemistry, and properties—Practical environmental applications and the future developments. En *Advanced Materials for Sustainable Environmental Remediation*. Elsevier, 2022. p. 195-229. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90485-8.00021-7>

GOMES DE BARROS, Valciney, RODRIGUES, Carmen, BOTELLO, Wilmar, DUDA, Rose, ALVES, Roberto, da SILVA, Eliana, FARIA, Joaquim, BOAVENTURA, Rui y MADEIRA, Luis. Treatment of biodigested coffee processing wastewater using Fenton's oxidation and coagulation/flocculation. *Journal Environmental Pollution* [en línea], 2020 [Fecha de consulta: 26 de enero del 2022].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113796>

GOMES, Gabriel. Cultivo y beneficio del café. *Revista de Geografía Agrícola*, 2010. [Fecha de consulta: 01 de abril del 2022]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75726134008>

GOSWAMI, R., MISHRA, Abhilasha, BHATT, Neha, MISHRA, Anup y NAITHANI, Pratibha. Potential of chitosan/nanocellulose based composite membrane for the

removal of heavy metal (chromium ion). *Journal Materials Today: Proceedings*, 46(20), 2021, 10954-10959p. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.036>

GOYCOCHEA, Alexander. Eficiencia de microorganismos de montaña en la remoción de contaminantes de las aguas mieles del café en la organización CECANOR, Nueva Alianza, Moyobamba. Tesis (Licenciado en Ingeniero Ambiental). Tarapoto: Universidad Peruana Unión, 2021, 120 pp.

HADDIS, Alemayehu; DEVI, Rani. Effect of effluent generated from coffee processing plant on the water bodies and human health in its vicinity. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, vol. 152, no 1, p. 259-262. Fecha de consulta: [21 de mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.094>

HEDRICK, Terry, BICKMAN, Leonard y ROG, Debra. *Applied research design: a practical guide*. SAGE Publications, Incorporated, 1993. ISBN: 9780803932340

HERNANDEZ, Manuel y SASTRE, Ana. *Tratado de nutrición*. Madrid: Díaz de Santos, S.A., 1999, 1465 pp. ISBN: 84-7978-387-7

HERNANDEZ, Roberto, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la investigación*. Mexico: Interamericana Editores, S.A. 6ta Ed., 2014, 634 PP.

HERRICK, Franklin W., [et al]. Microfibrillated cellulose: morphology and accessibility. En *J. Appl. Polym. Sci.: Appl. Polym. Symp. ;(United States)*. ITT Rayonier Inc., Shelton, WA, 1983.

JI, Yong, WEN, Yingying, WANG, Zhong, ZHANG, Shifeng y GUO, Minjie. Eco-friendly fabrication of a cost-effective cellulose nanofiber-4based aerogel for multifunctional applications in Cu (II) and organic pollutants removal. *Journal of Cleaner Production*, 255, 2020, 120276 p. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120276>

JUNTA NACIONAL DEL CAFÉ. Producción y exportaciones de café apuntan a ser mejores durante el 2021.

KLEMM, Dieter, HEUBLEIN, Brigitte, FINK, Hans y HOHN, Andreas. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte chemie international edition*, 2005, vol. 44, no 22, p. 3358-3393. Fecha de consulta: [15 de enero del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/anie.200460587>

KOLB, D. The pH concept. *Journal of Chemical Education*, 56(1), 49, (1979). Fecha de consulta: [13 de octubre del 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.1021/ed056p49>

LIANG, Fengyan, HOU, Tingting, LI, Sidong, LIAO, Lusheng, LI, Puwang y LI, Chengpeng. Elastic, super-hydrophobic and biodegradable chitosan sponges fabricated for oil/water separation. *Journal Environmental Chemical Engineering*. Vol. 9, nº5, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106027>

LOMBARDI, Vanina. Pesca reciclada. Universidad Nacional de San Martín, 2017. [Fecha de consulta: 7 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.unsam.edu.ar/tss/la-pesca-reciclada/>

LOPEZ, Dunia. Composición química y nutracéutica del residuo sólido del café (*Coffea arabica* L) utilizado y la actividad de los productos de su fermentación colónica in vitro en un modelo de inflamación. Tesis (Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos). Mexico: Universidad Autónoma de Querétaro, 2014, 123 pp.

MIN, Lee Jia, SHENG, Tan Yong, ZICHENG, Zhu y WAI, Yeong. Biomateriales para Bioimpresión. *Bioimpresión 3D y nanotecnología en ingeniería de tejidos y medicina regenerativa*, 129–148, 2015.

Disponible en: [10.1016/b978-0-12-800547-7.00006-0](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800547-7.00006-0)

MO, Liuting, PANG, Huiwen, LU, Yutong, LI, Zhi, KANG, Haijiao, WANG, Maogong, ZHANG, Shifeng y LI, Jianzhang. Wood-inspired nanocellulose aerogel adsorbents with excellent selective pollutants capture, superfast adsorption, and easy regeneration. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 2021, vol. 415. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2022].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125612>

MOLINA, Luz. Gastos defensivos por beneficiado de café en zona Pacífica central de Nicaragua. Tesis (Magister Scientiae). Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1999, 112 pp.

MORALES, Eli, HURTADO, Roxana, CHAVEZ, Segundo, MARTOS, Erik y SANCHEZ, Tito. Sistemas de tratamiento y reutilización de aguas mieles de café: Un enfoque de desarrollo sustentable para los caficultores de países en desarrollo. *Revista Pakamuros* [en línea]. Abril- junio, 2021, vol. 32, n°2. [Fecha de consulta: 26 de enero del 2022].

NEIRA, Igor. Fitorremediación de aguas mieles de Coffea arábica utilizando macrófitas acuáticas. Tesis (Licenciado en Ingeniería Ambiental). Cuenca: Universidad Católica de Cuenca, 2021, 121 pp.

NICKERSON, R. F.; HABRLE, J. A. Cellulose intercrystalline structure. *Industrial & Engineering Chemistry*, 1947, vol. 39, no 11, p. 1507-1512. Fecha de consulta: [12 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/ie50455a024>

OLAJIRE, A. y BAMIGBADE. Green synthesis of chitosan-based iron@silver nanocomposite as adsorbent for wastewater treatment. Vol. 26,2021, 100158 p. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.100158>

OLIVEIRA, Pablo, GODINHO, Marcelo y ZATTERA, Ademir. Oils sorption on hydrophobic nanocellulose aerogel obtained from the wood furniture industry waste. *Journal Cellulose*. Vol. 25, 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1781-8>

PIERRE, Francis, ROSELL, María. QUIROZ, Ana y GRANDA, Yasmil. Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en caspito municipio Andrés Eloy Blanco, estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 2009, vol. 21, no 2, p. 105-110. ISSN: 1316-3361

PINEDA, Carlos, REYES, Celso y OSEGUERA, Francisco. Beneficio y calidad del café. Honduras: CENIFACÉ, 2001, 30 pp. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2022].

PHANTHONG, Patchiya, REUBROYCHAROEN, Prasert, KONGPARAKUL, Suwadee, SMART, Chanatip, WANG, Zhongde, HAO, Xiaogang, ABUDULA, Abuliti y GUAN, Guoqing. Fabrication and evaluation of nanocellulose sponge for oil/water separation. *Journal Carbohydrate Polymers*, 190, 2018, 184–189p. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.02.066>

RAFFO, E. Y RUIZ, E. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 2014, 17 (1), p. 7180. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/idata.v17i1.12035>

RESOLUCIÓN N° 631/2015. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Colombia, 17 de marzo de 2015.

RICCIO, Luis. Remoción de aceites y grasas de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por electrocoagulación, a nivel de laboratorio. Tesis (Grado de Maestro en Ingeniería Química Ambiental). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2010, 66pp. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7727>

RIGOLA, Miguel. Tratamiento de aguas residuales: Aguas de proceso y residuales. España: MARCOMBO, S.A. 1990, 152 pp. ISBN: 84-267-0740-8

ROA, G., OLIVEROS, C., ALVAREZ, J., SANZ, J., DAVILA, M., ALVAREZ, J., ZAMBRANO, D., PUERTA, G. y RODRIGUEZ, N. Beneficio Ecológico del café. *CENICAFÉ*. 1999,300 pp. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2022].

Disponible en: <http://hdl.handle.net/10778/882>

ISBN: 958-96554-3-2

RODRIGUEZ, Nelson, SANZ, J., OLIVEROS, C. y RAMIREZ, C. Beneficio del café en Colombia. Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio húmedo del café. *Cenicafé*, 2015, 37 pp. Disponible en:

Disponible en: <http://hdl.handle.net/10778/659>

ISBN: 978-958-8490-17-5

ROJAS, Jhonar. Implementación de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas mieles provenientes del proceso de lavado del café, en fincas priorizadas en la Asociación de Productores Orgánicos en la Sierra Cauca-Asprosi. Tesis (Licenciado en Ingeniero Ambiental Sanitario). Popayán: Uniautónoma del Cauca, 2019, 123 pp.

RONG, Nannan, CHEN, Chuchu, OUYANG, Kangwen, ZHANG, Kunjie, WANG, Xuerong y XU, Zhaoyang. Adsorption characteristics of directional cellulose nanofiber/chitosan/montmorillonite aerogel as adsorbent for wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 2021, vol. 274, p. 119120.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119120>

SAHANA, M., SRIKANTHA, H., MAHESH, M. y SWAMY, Mahadeva. Coffee processing industrial wastewater treatment using batch electrochemical coagulation with stainless steel and Fe electrodes and their combinations, and recovery and reuse of sludge. *Water Science and Technology* [en línea]. 2018, vol. 78, n° 2, p. 279-289. [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wst.2018.297>

SANGUANWONG, Amaret, PAVASANT, Prasert, JARUNGLUMLERT, Teeraya, NAKAWA, Kyuya, FLOOD, Adrian y PROMMUAK, Chattip. Hydrophobic cellulose aerogel from waste napkin paper for oil sorption applications. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 2020, vol. 35, no 1, p. 137-147.

Disponible en: <https://doi.org/10.1515/npprj-2018-0075>

SARODE, Shruti, et al. Overview of wastewater treatment methods with special focus on biopolymer chitin-chitosan. *International journal of biological macromolecules*, 2019, vol. 121, p. 1086-1100.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.089>

SEPTEVANI, Athanasia Amanda, RIFATHIN, Annisa, SARI, Ajeng, SAMPORA, Yulianti, ARIANI, Gita, SUDIYARMANTO y SONDARI, Dewi.. Oil palm empty fruit bunch-based nanocellulose as a super-adsorbent for water remediation. *Carbohydrate polymers*, 2020, vol. 229, p. 115433. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115433>

SIERRA Y SELVA EXPORTADORA. Boletín Café. (febrero del 2021). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

SIRVAS, Susana y PEROCHENA, Eduardo. Recuperación biotecnológica de quitina de residuos de crustáceos. *Revista Peruana de Biología* [en línea]. Vol.27, n°1. [Fecha de consulta: 26 de enero del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i1.17586>

SOTO, Gabriela y MUÑOZ, Claudia. Consideraciones teóricas y prácticas sobre compost, y su empleo en la agricultura orgánica. *Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, n°65, 2002, 7 pp. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5955>

SUOPAJÄRVI, Terhi, SIRVIO, Juho y LIIMATAINEN, Henrikki. Cationic nanocelluloses in dewatering of municipal activated sludge. *Journal of environmental chemical engineering* [en línea]. 2017, vol. 5, no 1, p. 86-92. [Fecha

de consulta: 26 de enero del 2022]. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.11.021>

TAIZ, Lincoln y ZEIGER, Eduardo. Plant physiology. Los Angeles: Sinauer Associates, Inc. vol. 3, 2006, 930 pp. ISBN: 978-84-8021-601-2

TAKASHINA, Thiago, LEIFELD, Vanessa, ZELINSKI, Danielle , MAFRA, Marcos y IGARASHI, Luciana. Application of response surface methodology for coffee effluent treatment by ozone and combined ozone/UV. Ozone: Science & Engineering [en línea]. Vol. 40, n°4, 2017. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01919512.2017.1417112>

TORRES, Laura, SANÍN, Alejandra, ARANGO, Andrea y SERNA, Johanna. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. Revista ION [en línea]. Vol. 32, n°2. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006> ISSN: 2145-8480

TUPANTA, Jorge, DUQUE, Miguel y MENA, Angel. Alfa de Cronbach para validar un cuestionario de uso de tic en docentes universitarios. Revista mktDescubre, n° 10, 2017, 37 – 48 p.  
ISSN: 1390 – 7352

TURBAK, Albin , SNYDER, Fred y SANDBERG, Karen. Microfibrillated cellulose, a new cellulose product: properties, uses, and commercial potential. En J Appl Polym Sci Appl Polym Symp. 1983. p. 815-827.

VEYMAR, G., PASCACIO, T., CRUZ, A., CASTAÑÓN, J. y TORRESTIANA, B. Wastewater treatment of wet coffee processing in an anaerobic baffled bioreactor coupled to microfiltration system, Curr. Environ. Eng, 2019, vol. 75 6, no. 1, p. 45-54. Disponible en: <https://doi.org/10.2174/2212717806666181213161302>

ZHANG, M., JIANG, S., HAN, F., LI, M., WANG, L. y LIU, L. Anisotropic cellulose nanofiber/chitosan aerogel with thermal management and oil absorption properties.



Carbohydrate Polymers, vol. 264, 2021. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118033>

ZHANG, Y., YING, M., LI, L., FAN, B., LIU, Y., LI, R., REN, X., HUANG, T. y KIM, I.  
Construction of aerogels based on nanocrystalline cellulose and chitosan for high  
efficient oil/water separation and water disinfection. Carbohydrate Polymers, 243,  
2020, 116461 p.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116461>

## IX. ANEXOS

### Anexo A: Matriz de operacionalización de las variables

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES		UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE	Aerogel de nanofibrillas de celulosa (CNF) y micropartículas de quitosano (MPCS)	La nanocelulosa involucra un gran número de nano materiales celulósicos, las cuales pueden ser obtenidas desde diversas fuentes de materiales lignocelulósicos, principalmente fibras vegetales; como fibras de madera y residuos agrícolas (Vallejos y Area, 2019, p. 12). El quitosano tiene propiedades incomparables y notables, como su biocompatibilidad y biodegradabilidad, bioactividad. Por ello, se han realizado aplicaciones que van desde el tratamiento de aguas residuales,	El aerogel de nanofibrillas de celulosa y micropartículas de quitosano fue medido en función de las dosis, características físicas y su capacidad de absorción.	Dosis de la nanofibrillas de celulosa (CNF) y micropartículas de quitosano (MPCS) presentes en cada aerogel	Relación CN: CS		g	Razón
					A <sub>1</sub>	1:2		
					A <sub>2</sub>	1:1		
				A <sub>3</sub>	2:1	Peso	mg	
				Características físicas del aerogel de nanofibrillas de celulosa (CNF) y micropartículas de quitosano (MPCS)		Densidad	mg/cm <sup>3</sup>	
				Absorción	Capacidad de absorción	g/g	Razón	

		agroquímicos y alimentos (Sarode et al., 2019, p. 1089). El aerogel presenta una estructura porosa y propiedad de comprensión; los cuales incrementan su capacidad de absorción (Zhang et al.,2021).					
VARIABLE DEPENDIENTE	Tratamiento de aguas mieles de café	El tratamiento de aguas mieles es la reducción de la materia orgánica nociva y neutralización del pH ya que, si no se cuenta con tratamiento adecuado antes de descargarlos en cuerpos de agua o se retienen en lagunas o fosas, se corre el riesgo de contaminar tanto el agua superficial y subterránea. Así como también, provocar daños en los ecosistemas. (Molina, 1999)	El tratamiento de aguas mieles se medirá en función de la reducción de parámetros fisicoquímicos y el tiempo de reducción.	Tiempo de reducción	60	minutos	Intervalo
					120		
					180		
				Reducción de parámetros fisicoquímicos	pH (0-14)	-	Razón
					Grasas y aceites	mg/L	
					DQO	mg/L	
					C.E	( $\mu$ S/cm)	
	SDT	mg/L					

Fuente: Elaboración propia

**Anexo B:** Técnicas e instrumentos de recolección de datos aplicados en cada etapa.

ETAPAS		FUENTE	TÉCNICA	INSTRUMENTOS	RESULTADOS	
1	Recolección de la materia prima.	Pulpa de café.	Observación	Ficha de recolección de residuos ( <b>Anexo D.1.</b> )	Se determinó el peso de la pulpa de café a utilizar.	
		Exoesqueleto de cangrejo.			Mercado Mayorista Pesquero - V.M.T., Lima.	Se determinó el peso del exoesqueleto de cangrejo.
2	Elaboración del aerogel de nanofibras de celulosa y micropartículas de quitosano (CNF/MPCS).	Extracción de (CNF).	Observación	Ficha de caracterización del aerogel (CNF/MPCS) ( <b>Anexo D.2.</b> )	Se extrajo la celulosa de pulpa de café para obtener CNF.	
		Extracción de (MPCS).			Laboratorio	Se extrajo la quitina del exoesqueleto del cangrejo para obtener MPCS.
		Fabricación del aerogel (CNF/MPCS).				Se aplicó las dosis de CNF y MPCS para elaborar el aerogel.
3	Recolección de muestra de agua miel de café.	Aguas mieles de la Finca cafetalera.	Observación	Ficha de recolección de agua miel de café. ( <b>Anexo D.3.</b> )	Se determinó el volumen de agua a utilizar.	
4	Análisis inicial de la muestra de agua miel de café.	Laboratorio.		Ficha de características físicas y químicas de la	Se determinaron los parámetros pH, DQO, aceites y grasas, SDT y C.E.	

				muestra de agua miel de café. ( <b>Anexo D.4.</b> )	
5	Aplicación del tratamiento del aerogel (CNF/MPCS).	Laboratorio	Observación	Ficha de capacidad de absorción ( <b>Anexo D.5.</b> )	Se determinó la capacidad de absorción.
6	Análisis de las muestras de aguas mieles de café después de la aplicación del aerogel (CNF/MPCS).	Laboratorio	Observación	Ficha de características físicas y químicas de la muestra de agua miel de café. ( <b>Anexo D.4.</b> )	Se determinaron los parámetros pH, DBO5, DQO, aceites y grasas, SDT y turbidez posterior al tratamiento, también se determinó el tiempo óptimo de reducción.
7	Análisis y comparación de resultados de eficiencia.	Gabinete	Observación	Ficha de resultados de eficiencia ( <b>Anexo D.6.</b> )	Determinación de la concentración de aerogel más eficiente

*Fuente:* Elaboración propia.

## Anexo C: Validación de instrumentos

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad Cesar Vallejo  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ingeniero Ambiental  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de recolección de datos  
 1.5. Autoras de Instrumento: - Peña Pineda, Kristhely Jasmín  
 - Huaman Meza, Bezi Lili

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%
-----

Lima, 25 de junio del 2022

  
 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
 CIP N° 25450

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

- |  |  |
|--|--|
| <b>1. DATOS GENERALES</b>                              |  |
| <b>2. Apellidos y Nombres:</b>                         | Valverde Flores, Jhonny Wilfredo                             |
| <b>3. Cargo e institución donde labora:</b>            | Docente de la Universidad César Vallejo                      |
| <b>4. Especialidad o línea de investigación:</b>       | Dr. En Ciencias e Ingeniería                                 |
| <b>5. Nombre del instrumento motivo de evaluación:</b> | Fichas de recolección de datos                               |
| <b>6. Autor(A) de Instrumento:</b>                     | - Huaman Meza, Betzi Lili<br>- Peña Pineda, Kristhely Jasmín |

### I. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con
- los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con
- Los requisitos para su aplicación

X

### III. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%
-----

Lima, 28 de noviembre del 202



Dr. Jhonny W. Valverde Flores  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-112X>  
 Scopus ID Author: 57196412905  
 CIP: 79862

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 4.1. **Apellidos y Nombres:** Vasquez Aranda, Ahuber Omar  
 4.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente Universidad Cesar Vallejo  
 4.3. **Especialidad o línea de investigación:** Gestión Ambiental  
 4.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Instrumento de recolección de información  
 4.5. **Autor(A) de Instrumento:** - Peña Pineda, Kristhely Jasmín  
 - Huaman Meza, Betzi Lili

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%

Lima, 04 de julio del 2022


*(Firma manuscrita)*



## Anexo C.1: Ficha de recolección de residuos

		<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS</b>			
<b>Código: R-C</b>		Cáscara de café			
<b>Lugar</b>		<b>Distrito</b>			
<b>Empresa</b>		<b>Coordenadas UTM</b>			
<b>Fecha</b>		<b>Hora</b>			
<b>Código: Q-R</b>		Exoesqueleto de cangrejo			
<b>Lugar</b>		<b>Distrito</b>			
<b>Empresa</b>		<b>Coordenadas UTM</b>			
<b>Fecha</b>		<b>Hora</b>			
Item	Código	Residuo	Cantidad de residuo (g)	Medidas de conservación	Observación
1	R-C	Cáscara de café			
2	R-Q	Exoesqueleto de cangrejo			

  
**Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**  
 CIP N° 25450

  
**Dr. Jhonny W. Valverde Flores**  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-112X>  
 Scopus ID Author: 57196412905  
 CIP: 79862


  
 CIP: 92507  
 DNI No 07748967 Telf.:07748967

**Anexo C.2:** Ficha de caracterización del aerogel CNF/MPCS.

		<b>FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL AEROGEL CNF/MPCS</b>	
<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>Título</b>		"Aerogel compuesto de nanofibrillas de celulosa y micropartículas de quitosano para el tratamiento de aguas mieles del café"	
<b>Línea de investigación</b>		Tratamiento y Gestión de residuos	
<b>Escuela</b>		Ingeniería Ambiental	
<b>Integrantes</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huaman Meza, Betzi Lili</li> <li>• Peña Pineda, Kristhely Jasmín</li> </ul>	
<b>Asesor</b>		Dr. Jhonny Wilfredo Valverde Flores	
Ítem	Características	Unidad	Aerogel CNF/MPCS
1	Altura	cm	
3	Peso	mg	
4	Densidad	mg/cm <sup>3</sup>	
5	pH (0-14)	-	


  
 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
 CIP N° 25450

CIP: 92507


  
 Dr. Jhonny W. Valverde Flores  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-112X>  
 Scopus ID Author: 57196412905  
 CIP: 79862

  
 DNI No 07748967 Telf.:07748967

**Anexo C.3.** Ficha de recolección de muestras de agua miel de café.


		<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA MIEL DE CAFÉ</b>	
<b>Procedencia:</b>			
<b>Distrito:</b>	<b>Provincia:</b>	<b>Departamento:</b>	
<b>Componente Ambiental</b>	Agua		
<b>Tipo de Muestreo</b>	Compuesto		
<b>Código de la Estación de Muestreo</b>			
<b>Descripción de la Estación de Muestreo</b>			
<b>Coordenadas UTM (WGS 84)</b>	<b>Norte:</b>	<b>Este:</b>	
	<b>Altitud:</b>	<b>Zona</b>	
<b>Fecha de Muestreo</b>			
<b>Hora de Muestreo</b>			
<b>Instrumentos usados</b>	<b>Equipo de medición</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
	Multiparametro digital	Hanna	HI 9811-5
<b>Observación:</b>			

  
 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
 CIP N° 25450


  
 Dr. Jhonny W. Valverde Flores  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-112X>  
 Scopus ID Author: 57196412905  
 CIP: 79862

  
 CIP: 92507  
 DNI No 07748967 Telf.:07748967

**Anexo C.4.** Ficha de características físicas y químicas de la muestra de agua miel de café.


		<b>FICHA DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA MIEL DE CAFÉ</b>											
<b>DATOS GENERALES</b>													
<b>Título</b>		“Aerogel compuesto de nanofibrillas de celulosa y micropartículas de quitosano para el tratamiento de aguas mieles de café”											
<b>Línea de investigación</b>		Tratamiento y Gestión de residuos											
<b>Escuela</b>		Ingeniería Ambiental											
<b>Integrantes</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huaman Meza, Betzi Lili</li> <li>• Peña Pineda, Kristhely Jasmín</li> </ul>											
<b>Asesor</b>		Dr. Jhonny Wilfredo Valverde Flores											
<b>Fecha</b>						<b>Hora</b>							
<b>Volumen</b>													
ítem	Parámetro de control	Unidad	Agua miel inicial	Agua miel después de cada tratamiento con aerogel CNF/MPCS									
				A1 (1:2)			A2 (1:1)			A3 (2:1)			
				Tiempo de reducción (minutos)									
				60'	120'	180'	60'	120'	180'	60'	120'	180'	
1	PH	Unidad de PH											
2	Temperatura	°C											
3	Grasas y aceites	mg/L											
4	DQO	mg/L											
6	SDT	mg/L											
7	C.E.	µS/cm											

  
 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
 CIP N° 25450


  
 Dr. Jhonny W. Valverde Flores  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-112X>  
 Scopus ID Author: 57196412905  
 CIP: 79862

  
 CIP: 92507  
 DNI No 07748967 Telf.:07748967

## Anexo C.5. Ficha de capacidad de absorción


		<b>FICHA DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>	
<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>Título</b>	"Aerogel compuesto de nanofibrillas de celulosa y micropartículas de quitosano para el tratamiento de aguas mieles de café"		
<b>Línea de investigación</b>	Tratamiento y Gestión de residuos		
<b>Escuela</b>	Ingeniería Ambiental		
<b>Integrantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huaman Meza, Betzi Lili</li> <li>• Peña Pineda, Kristhely Jasmín</li> </ul>		
<b>Asesor</b>	Dr. Jhonny Wilfredo Valverde Flores		
<b>Fecha</b>		<b>Hora</b>	
<b>Item</b>	<b>Aerogel de NC/CS</b>	<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Capacidad de absorción (%)</b>
1	Aerogel 1 (1:2)	60'	
		120'	
		180'	
2	Aerogel 2 (1:1)	60'	
		120'	
		180'	
3	Aerogel 3 (2:1)	60'	
		120'	
		180'	

  
 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
 CIP N° 25450

  
 Dr. Jhonny W. Valverde Flores  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-112X>  
 Scopus ID Author: 57196412905  
 CIP: 79862

  
 CIP: 92507  
 DNI No 07748967 Telf.:07748967

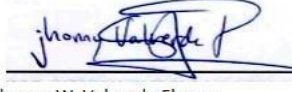
## Anexo C.6. Ficha de eficiencia del aerogel CNF/MPCS

		FICHA DE EFICIENCIA DEL AEROGEL CNF/MPCS				
DATOS GENERALES						
Título		"Aerogel compuesto de nanofibrillas de celulosa y micropartículas de quitosano para el tratamiento de aguas mieles de café".				
Línea de investigación		Tratamiento y Gestión de residuos				
Escuela		Ingeniería Ambiental				
Integrantes		-Huaman Meza, Betzi Lili -Peña Pineda, Kristhely Jasmin				
Asesor		Dr. Jhonny Wilfredo Valverde Flores				
Fecha						
Ítem	Código	Aerogel CNF/MPCS	Concentración inicial	Eficiencia (%)		
				60'	120'	180'
DQO (mg/L)						
1	Ao	Sin aerogel				
2	A1	Aerogel (1:2)				
3	A2	Aerogel (1:1)				
4	A3	Aerogel (2:1)				
Ph						
1	Ao	Sin aerogel				
2	A1	Aerogel (1:2)				
3	A2	Aerogel (1:1)				
4	A3	Aerogel (2:1)				
C.E. $\mu\text{S/cm}$						
1	Ao	Sin aerogel				
2	A1	Aerogel (1:2)				
3	A2	Aerogel (1:1)				
4	A3	Aerogel (2:1)				

Aceites y grasas (mg/L)						
1	Ao	Sin aerogel				
2	A1	Aerogel (1:2)				
3	A2	Aerogel (1:1)				
4	A3	Aerogel (2:1)				
SDT (mg/L)						
1	Ao	Sin aerogel				
2	A1	Aerogel (1:2)				
3	A2	Aerogel (1:1)				
4	A3	Aerogel (2:1)				



Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
CIP N° 25450



Dr. Jhonny W. Valverde Flores  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-112X>  
Scopus ID Author: 57196412905  
CIP: 79862



CIP: 92507  
DNI No 07748967 Telf.:07748967

**ANEXO D: Fotografías de la toma de aguas mieles de café**



Fundo Los Naranjos



Pozo del lavado del café



Pozo del punto de toma de muestra



Toma de muestra de agua miel de café



Almacenamiento de la muestra en refrigeración



## ANEXO F: Recolección de la materia prima



Terminal pesquero de Villa María del Triunfo



Exoesqueletos de cangrejos



Recolección de pulpa húmeda de café en el "Fundo Los Naranjos"



Secado de pulpa de café

## ANEXO E: Informe del ensayo



### INFORME DE ENSAYO N°: IE-100.06.07.2022-005

#### I. DATOS DEL SERVIDIO

Nombres y Apellidos : KRISTHELY JASMÍN PEÑA PINEDA  
RUC/DNI : 73736859  
Dirección : LIMA, PERU  
Proyecto : Aerogel compuesto de nanofibrillas de celulosa y micropartículas de quitosano para el tratamiento de aguas mieles del café.  
Procedencia : Lima  
Muestreado por : BETZI LILI HUAMAN MEZA y KRISTHELY JASMÍN PEÑA PINEDA  
Fecha de emisión del informe: 06-07-2022

#### II. DATOS DE ITEMS DEL ENSAYO

Producto : Aguas mieles de café  
Número de muestras : 28  
Fecha de recep. de muestra: 21-06-2022  
Periodo de ensayo : Del 22-06-2022 al 04-07-2022

#### III. TODOS Y REFERENCIAS

Tipo de Análisis	Norma de referencia
pH	Multiparámetro Hanna Instruments (HI7629829)
Temperatura	Multiparámetro Hanna Instruments (HI7629829)
Sólidos Totales Disueltos	Multiparámetro Hanna Instruments (HI7629829)
Conductividad eléctrica	Multiparámetro Hanna Instruments (HI7629829)
DQD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017
Aceites y grasas	Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water.

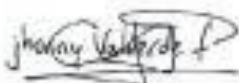
"SMEWW": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

**IV. RESULTADOS**

Código	pH	T (°C)	TDS (ppm)	C.E (uS/cm)	DQO (mg/L)	Aceites y grasas (mg/L)
M.Inicial	3.96	18.80	361	692	7291	7400
A1R1-60	3.89	19.24	353	705	835	200
A1R2-60	3.85	20.29	272	544	820	
A1R3-60	3.78	19.57	289	579	725	
A1R1-120	3.73	19.46	332	666	1043	100
A1R2-120	3.77	19.40	297	594	1054	
A1R3-120	3.88	19.22	270	540	6044	
A1R1-180	3.78	19.40	453	905	7147	500
A1R2-180	3.70	19.60	373	741	7239	
A1R3-180	3.87	19.38	293	584	6745	
A2R1-60	3.82	20.20	275	551	2549	300
A2R2-60	3.81	19.32	286	572	4183	
A2R3-60	3.84	19.31	307	615	931	
A2R1-120	3.76	19.22	365	731	5941	400
A2R2-120	3.88	19.20	343	685	2560	
A2R3-120	3.85	19.24	364	729	7448	
A2R1-180	3.70	19.57	362	725	7935	2100
A2R2-180	3.77	19.52	380	762	7631	
A2R3-180	3.74	19.48	360	721	8637	
A3R1-60	3.90	19.44	401	805	5317	400
A3R2-60	3.84	20.06	334	671	3300	
A3R3-60	3.79	19.26	385	771	1377	
A3R1-120	3.79	19.22	349	699	5574	600
A3R2-120	3.80	19.70	368	736	4917	
A3R3-120	3.80	19.20	297	595	6544	
A3R1-180	3.80	19.54	312	624	6464	600
A3R2-180	3.70	19.53	290	581	6395	
A3R3-180	3.63	19.44	364	720	7334	

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.



**JOHNNY W. VALVERDE FLORES**  
ING. QUIMICO  
N. CIP. 79862

--- FIN DEL DOCUMENTO ---

"El uso indebido de este informe de ensayo constituye un delito sancionado conforme a la Ley, por la autoridad competente".



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, VALVERDE FLORES JHONNY WILFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "AEROGEL COMPUESTO DE NANOFIBRILLAS DE CELULOSA Y MICROPARTÍCULAS DE QUITOSANO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DE CAFÉ", cuyos autores son HUAMAN MEZA BETZI LILI, PEÑA PINEDA KRISTHELY JASMIN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 20 de Julio del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
VALVERDE FLORES JHONNY WILFREDO <b>DNI:</b> 18120253 <b>ORCID:</b> 0000-0003-2526-112X	Firmado electrónicamente por: VALVERDE el 22-07- 2022 16:41:38

Código documento Trilce: TRI - 0354293