



**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**  
**Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental**  
**Escuela Profesional Ingeniería Ambiental**

**Dosis de carbón activo de cascara de cacao en la reducción de plomo y hierro del agua  
del Río Huaura**

**Tesis**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**Autores**

Gustavo Alexis Capcha Diaz  
Isaac Anderson Rodriguez Bendezu

**Asesor**

Dr. Fredesvindo Fernandez Herrera



FREDESVINDO FERNANDEZ HERRERA  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
Reg. CIP N° 100525

**Huacho – Perú**

**2026**



**Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Reconocimiento:** Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**  
**LICENCIADA**

*Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020*

**Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y  
Ambiental**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**INFORMACIÓN**

|                                                     |            |                                                                                           |
|-----------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DATOS DEL AUTOR:</b>                             |            |                                                                                           |
| <b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>                          | <b>DNI</b> | <b>FECHA DE SUSTENTACIÓN</b>                                                              |
| Gustavo Alexis Capcha Diaz                          | 73952968   | 18/06/2026                                                                                |
| Isaac Anderson Rodriguez Bendezu                    | 74564492   | 18/06/2026                                                                                |
| <b>DATOS DEL ASESOR:</b>                            |            |                                                                                           |
| <b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>                          | <b>DNI</b> | <b>CÓDIGO ORCID</b>                                                                       |
| Dr. Fredesvindo Fernandez Herrera                   | 40588728   | <a href="https://orcid.org/0000-0003-2973-7973">https://orcid.org/0000-0003-2973-7973</a> |
| <b>DATOS DE LOS MIEMBROS DEL JURADO – PREGRADO:</b> |            |                                                                                           |
| <b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>                          | <b>DNI</b> | <b>CÓDIGO ORCID</b>                                                                       |
| Dra. Elia Clorinda Andrade Giron                    | 15647991   | <a href="https://orcid.org/0000-0002-2126-7869">https://orcid.org/0000-0002-2126-7869</a> |
| Mg. Hellen Yahaira Huertas Pomasoncco               | 46741141   | <a href="https://orcid.org/0000-0002-4204-7320">https://orcid.org/0000-0002-4204-7320</a> |
| M(o) María del Rosario Grados Olivera               | 15736587   | <a href="https://orcid.org/0000-0002-3004-0252">https://orcid.org/0000-0002-3004-0252</a> |

# 2026-013138 CAPCHA DIAZ GUSTAVO ALEXIS 2026-...

## DOSIS DE CARBÓN ACTIVO DE CASCARA DE CACAO EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y HIERRO DEL AGUA DEL RÍO HUAU...

UI-FIAIAYA PREGRADO 2026

Unidad de Investigación FIAIAYA-2026

Facultad de Ingeniería Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3491048036

Fecha de entrega

25 feb 2026, 10:46 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

25 feb 2026, 10:51 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

BORRADOR\_DE\_TESIS\_CAPCHA\_DIAZ\_GUSTAVO\_ALEXIS\_y\_RODRIGUEZ\_BENDEZU\_ISAAC\_ANDERSON.pdf

Tamaño del archivo

3.5 MB

72 páginas

12.541 palabras

73.270 caracteres



Página 2 de 79 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3491048036

## 20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

### Fuentes principales

- 19% Fuentes de Internet
- 6% Publicaciones
- 9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por guiarnos en cada paso, otorgándonos sabiduría, fortaleza y la oportunidad de alcanzar esta significativa etapa de nuestra formación.*

*A nuestros padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y el apoyo constante que nos inspiró a seguir adelante, siendo ejemplo de esfuerzo y motivo de nuestra superación*

## **AGRADECIMIENTO**

*Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestros padres, por la enseñanza, el amor y los valores inculcados desde nuestros hogares, los cuales fueron la base fundamental de nuestra formación. Agradecemos también a todos los maestros que nos acompañaron a lo largo de nuestra formación profesional, por su dedicación, paciencia y compromiso en la transmisión del conocimiento.*

*De igual manera, extendemos nuestro agradecimiento a nuestros seres queridos por su constante apoyo, comprensión y aliento, que fueron esenciales para alcanzar esta importante etapa de nuestra vida profesional.*

## ÍNDICE GENERAL

|                                                        |             |
|--------------------------------------------------------|-------------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>                               | <b>V</b>    |
| <b>AGRADECIMIENTO.....</b>                             | <b>VI</b>   |
| <b>ÍNDICE GENERAL .....</b>                            | <b>VII</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>                          | <b>X</b>    |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                         | <b>XI</b>   |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>                          | <b>XIII</b> |
| <b>RESUMEN .....</b>                                   | <b>1</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                  | <b>2</b>    |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                               | <b>3</b>    |
| <b>1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b> | <b>5</b>    |
| 1.1. Descripción de la realidad problemática .....     | 5           |
| 1.2. Formulación del problema.....                     | 6           |
| 1.2.1 Problema general .....                           | 6           |
| 1.2.2 Problemas específicos.....                       | 6           |
| 1.3. Objetivos de la investigación.....                | 6           |
| 1.3.1 Objetivo general .....                           | 6           |
| 1.3.2 Objetivos específicos.....                       | 6           |
| 1.4. Justificación de la investigación .....           | 6           |
| 1.5. Delimitación del estudio.....                     | 7           |
| 1.5.1 Delimitación territorial .....                   | 7           |
| 1.5.2 Delimitación temporal y espacial .....           | 7           |
| 1.6. Viabilidad del estudio.....                       | 7           |
| 1.6.1 Recursos humanos .....                           | 7           |
| 1.6.2 Recursos económicos .....                        | 7           |
| 1.6.3 Recursos materiales .....                        | 8           |
| <b>2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>             | <b>9</b>    |
| 2.1. Antecedentes de la investigación.....             | 9           |
| 2.1.1 Antecedentes internacionales .....               | 9           |

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.2 Antecedentes nacionales.....                             | 10        |
| 2.1.3 Normas legales .....                                     | 11        |
| 2.2. Bases teóricas .....                                      | 12        |
| 2.3. Hipótesis de investigación.....                           | 14        |
| 2.3.1 Hipótesis general .....                                  | 14        |
| 2.3.2 Hipótesis específicas.....                               | 14        |
| 2.4. Operacionalización de variable .....                      | 15        |
| <b>3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>                       | <b>16</b> |
| 3.1. Gestión del experimento.....                              | 16        |
| 3.1.1 Ubicación.....                                           | 16        |
| 3.1.2 Características del área experimental .....              | 18        |
| 3.2. Tratamientos .....                                        | 18        |
| 3.2.1 Obtención del carbón activado de cascara de cacao.....   | 18        |
| 3.3. Diseño experimental.....                                  | 23        |
| 3.4. Variables a evaluar .....                                 | 23        |
| 3.4.1 Dosis de carbón activado.....                            | 23        |
| 3.4.2 Reducción de metales .....                               | 24        |
| 3.5. Conducción del experimento .....                          | 25        |
| 3.5.1 Toma de muestra .....                                    | 26        |
| 3.5.2 Ensayo de adsorción de metales por carbón activado ..... | 28        |
| 3.6. Técnicas para el procesamiento de la información.....     | 31        |
| 3.7. Técnicas de recolección de datos.....                     | 31        |
| <b>4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....</b>                        | <b>32</b> |
| <b>5. CAPÍTULO V. DISCUSIÓN .....</b>                          | <b>38</b> |
| <b>6. CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>     | <b>41</b> |
| 6.1. Conclusiones.....                                         | 41        |
| 6.2. Recomendaciones .....                                     | 42        |
| <b>7. CAPÍTULO VII. REFERENCIAS .....</b>                      | <b>43</b> |



|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>8. ANEXOS .....</b> | <b>47</b> |
|------------------------|-----------|

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Métodos de reducción de metales en agua</i> .....                                    | 13 |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Análisis de la cascara de cacao</i> .....                                            | 13 |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Operacionalización de variables</i> .....                                            | 15 |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Tratamientos a utilizar en el experimento</i> .....                                  | 23 |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Coordenadas geograficas (UTM) de las estaciones de muestreo</i> .....                | 26 |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Resultados de reducción y porcentaje de reducción de los niveles de plomo</i> .....  | 32 |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Resultados de reducción y porcentaje de reducción de los niveles de hierro</i> ..... | 34 |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Matriz de consistencia</i> .....                                                     | 47 |
| <b>Tabla 9.</b> <i>Formato de rotulo de muestra</i> .....                                               | 48 |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Estandar de calidad ambiental</i> .....                                             | 49 |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Reglamento de agua para consumo</i> .....                                           | 50 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Cáscara de Cacao. Fuente .....                                                                         | 13 |
| <b>Figura 2.</b> Ubicación del área de estudio .....                                                                    | 17 |
| <b>Figura 3.</b> Primer secado del tratamiento.....                                                                     | 18 |
| <b>Figura 4.</b> Primera molienda de cascara de cacao.....                                                              | 19 |
| <b>Figura 5.</b> Activación química con ácido fosfórico .....                                                           | 19 |
| <b>Figura 6.</b> Secado de mezcla de cascara de caco en polvo más activante químico .....                               | 20 |
| <b>Figura 7.</b> Activación física en mufla a 800 °C .....                                                              | 20 |
| <b>Figura 8.</b> Lavado y secado.....                                                                                   | 21 |
| <b>Figura 9.</b> Pulverizado final .....                                                                                | 21 |
| <b>Figura 10.</b> Dosificación .....                                                                                    | 22 |
| <b>Figura 11.</b> Esquema de la conducción sistemática del experimento .....                                            | 25 |
| <b>Figura 12.</b> Identificación, instalación y georreferenciación de estación de muestreo.....                         | 26 |
| <b>Figura 13.</b> Extracción de muestra con ayuda de balde muestreador .....                                            | 27 |
| <b>Figura 14.</b> Trasvase de la muestra a frasco de plástico rotulado .....                                            | 27 |
| <b>Figura 15.</b> Aplicación de preservante .....                                                                       | 28 |
| <b>Figura 16.</b> Instalación de mesa de trabajo según diseño experimental.....                                         | 29 |
| <b>Figura 17.</b> Aplicación de tratamiento .....                                                                       | 29 |
| <b>Figura 18.</b> Filtración del carbón activado para separación de la muestra .....                                    | 30 |
| <b>Figura 19.</b> Tendencia comparativa de los niveles de plomo antes y después de la aplicación del tratamiento. ....  | 33 |
| <b>Figura 20.</b> Dispersión de porcentajes de reducción de la concentración de plomo.....                              | 33 |
| <b>Figura 21.</b> Tendencia comparativa de los niveles de hierro antes y después de la aplicación del tratamiento. .... | 35 |
| <b>Figura 22.</b> Dispersión de porcentajes de reducción de la concentración de hierro .....                            | 35 |
| <b>Figura 23.</b> Analisis de normalidad de datos .....                                                                 | 36 |
| <b>Figura 24.</b> ANOVA de porcentaje de reducción de hierro .....                                                      | 36 |
| <b>Figura 25.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey para los porcentajes de reducción de hierro .....            | 36 |
| <b>Figura 26.</b> ANOVA de porcentaje de reducción de plomo .....                                                       | 37 |
| <b>Figura 27.</b> Prueba de comparación de medias de Tukey para los porcentajes de reducción de plomo.....              | 37 |
| <b>Figura 28.</b> Toma de muestra estación de muestreo EM-RSAY-01 .....                                                 | 50 |
| <b>Figura 29.</b> Toma de muestra estación de muestreo EM-RSAY-02 .....                                                 | 51 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 30.</b> Toma de muestra estación de muestreo EM-RSAY-03 .....                                      | 51 |
| <b>Figura 31.</b> Toma de muestra estación de muestreo EM-RSAY-04 .....                                      | 52 |
| <b>Figura 32.</b> Filtración de carbón activado de cascara de cacao a dosis 4 g .....                        | 52 |
| <b>Figura 33.</b> Filtración de carbón activado de cascara de cacao a dosis 6 g .....                        | 53 |
| <b>Figura 34.</b> Filtración de carbón activado de cascara de cacao a dosis 8 g .....                        | 53 |
| <b>Figura 35.</b> Filtración de carbón activado de cascara de cacao a dosis 10 g .....                       | 54 |
| <b>Figura 36.</b> Primer secado en estufa a 60 °C .....                                                      | 54 |
| <b>Figura 37.</b> Producto del primer secado .....                                                           | 55 |
| <b>Figura 38.</b> Muestra de cacao lista para trituración .....                                              | 55 |
| <b>Figura 39.</b> Pesaje de cascara de cacao en polvo para aplicación de activante químico .....             | 56 |
| <b>Figura 40.</b> Homogenización de cascara de cacao en polvo con ácido fosfórico .....                      | 56 |
| <b>Figura 41.</b> Homogenizado de cascara de cacao y activante químico en estufa a 110 °C ...                | 57 |
| <b>Figura 42.</b> Activación física en mufla a 800 °C .....                                                  | 57 |
| <b>Figura 43.</b> Certificado de analisis de hierro y plomo antes de la aplicación de tratamiento<br>.....   | 70 |
| <b>Figura 44.</b> Certificado de analisis de hierro y plomo despues de la aplicación de tratamiento<br>..... | 71 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Anexo 1.</b> Matriz de consistencia .....                                                                         | 47 |
| <b>Anexo 2.</b> Formato de rótulo de muestra.....                                                                    | 48 |
| <b>Anexo 3.</b> Estándar de calidad de agua.....                                                                     | 49 |
| <b>Anexo 4.</b> Límites Máximos Permisibles de agua para consumo.....                                                | 50 |
| <b>Anexo 5.</b> Evidencia de toma de muestra .....                                                                   | 50 |
| <b>Anexo 6.</b> Evidencia de realización de ensayo de filtración.....                                                | 52 |
| <b>Anexo 7.</b> Evidencia de proceso completo de obtención del tratamiento.....                                      | 54 |
| <b>Anexo 8.</b> Certificado de análisis de laboratorio emitido por la Universidad Nacional Agraria<br>La Molina..... | 58 |

## RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar la dosis óptima de carbón activado obtenido de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) para la reducción de los metales como plomo (Pb) y hierro (Fe) presentes en el agua del río Huaura, durante el periodo de agosto de 2025. Se buscó identificar la dosis más efectiva y económicamente viable que permita disminuir las concentraciones de dichos metales hasta valores dentro de los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua. **Metodología:** El estudio se desarrolló en el distrito de Sayán, provincia de Huaura, región Lima. Se preparó el carbón activado mediante activación química con ácido fosfórico al 60 % y activación física a 800 °C. Se consideró un diseño estadístico completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos de dosis (0, 4, 6, 8 y 10 g/L) y cuatro repeticiones. Las muestras de agua fueron recolectadas en cuatro estaciones a lo largo del cauce del río Huaura y analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los datos obtenidos fueron procesados estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95 %. **Resultados:** Los resultados mostraron que el carbón activado de cáscara de cacao presentó una alta capacidad de adsorción. La dosis de 6 g/L alcanzó la mayor reducción de plomo (60,56 %), mientras que la dosis de 4 g/L logró el porcentaje más alto de reducción de hierro (98,21 %). En ambos casos, las concentraciones finales se ubicaron por debajo de los límites permitidos por el ECA para agua. **Conclusiones:** Se concluye que el carbón activado de cáscara de cacao constituye un adsorbente eficaz, económico y sostenible para la reducción de metales pesados del agua del río Huaura. Su aplicación contribuye al aprovechamiento de residuos agrícolas y a la promoción de tecnologías limpias en el tratamiento de aguas contaminadas, fortaleciendo la gestión ambiental local.

Palabras clave: Carbón activado, cáscara de cacao, activación química, activación física, adsorción de metales.

## ABSTRACT

**Objective:** Evaluate the optimal dose of activated carbon derived from cocoa husk (*Theobroma cacao* L.) for the reduction of the heavy metals lead (Pb) and iron (Fe) in the Huaura River water during August 2025. The goal was to identify the most effective and economically viable dose that would reduce the concentrations of these metals to levels within the limits set by the Environmental Quality Standard (EQS) for water. **Metodology:** The research was conducted in the Sayán district, Huaura Province, Lima Region. The activated carbon was prepared by chemical activation with phosphoric acid ( $H_3PO_4$ ) at 60% and physical activation at 800 °C. A completely randomized design (CRD) with five dose treatments (0, 4, 6, 8, and 10 g/L) and four replicates was employed. Water samples were collected at four stations along the Huaura River and analyzed in the laboratory of the National Agrarian University La Molina. The obtained data were statistically processed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test, with a 95% confidence level. **Results:** The results showed that cocoa husk-derived activated carbon exhibited a high adsorption capacity. The 6 g/L dose achieved the greatest removal of lead (Pb) at 60.56%, while the 4 g/L dose achieved the highest iron (Fe) removal at 98.21%. In both cases, the final concentrations were below the EQS limits for water. **Conclusions:** It is concluded that cocoa husk-derived activated carbon constitutes an effective, economical, and sustainable adsorbent for removing heavy metals from Huaura River water. Its application contributes to the valorization of agricultural waste and to the promotion of clean technologies in polluted water treatment, thereby strengthening local environmental management.

Keywords: Activated carbon, cocoa husk, chemical activation, physical activation, metal adsorption.

## INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso indispensable para la existencia de los seres vivos y para el desarrollo de las civilizaciones, no obstante, su calidad se ha visto afectada por el aumento de las actividades industriales, agrícolas y mineras que generan efluentes con elevados niveles de contaminantes, entre ellos metales pesados. Estos elementos, al acumularse en cuerpos de agua superficiales y subterráneos, implican riesgos significativos para los ecosistemas y la salud pública (Correa, 2020). En el contexto del Perú, varias cuencas fluviales han mostrado concentraciones altas de plomo (Pb) y hierro (Fe), que exceden los límites del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua (Cuéllar y Navarro, 2016). Un ejemplo es el río Huaura, que abastece a comunidades rurales y urbanas de la región Lima, donde se han detectado niveles preocupantes de estos metales a raíz de descargas mineras y agrícolas.

Frente a esta situación, la búsqueda de alternativas sostenibles para tratar aguas contaminadas se ha vuelto ambiental. En la última década, el empleo de materiales adsorbentes de origen vegetal, como el carbón activado derivado de residuos agroindustriales, ha mostrado ser una opción eficaz, económica y ecológica para la reducción de metales pesados (Fiestas y Millones, 2019). Estos materiales presentan una estructura porosa y grupos funcionales que permiten retener iones metálicos a través de la adsorción, reduciendo notablemente las concentraciones contaminantes en el medio acuático (Guevara, 2023).

En este marco, la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) surge como una alternativa viable para la fabricación de carbón activado. Este residuo lignocelulósico, abundante en el territorio peruano, posee una composición rica en fibra, celulosa y lignina, lo que favorece la generación de una superficie porosa con alta capacidad de adsorción (Rodríguez, 2019). Su uso no solo ayuda a disminuir la contaminación hídrica, sino también a la valorización de residuos agrícolas y a promover prácticas de economía circular (Padilla y Velarde, 2022). Con este trasfondo, la presente investigación se propone determinar la dosis de carbón activado obtenido de cáscara de cacao más eficiente para reducir los contenidos de plomo y hierro en las aguas del río Huaura durante agosto de 2025. Para lograrlo, se fabricó el adsorbente mediante activación química con ácido fosfórico al 60 % y activación física a 800 °C, aplicando distintas dosis (0, 4, 6, 8 y 10 g/L) en un DCA de cinco tratamientos con cuatro repeticiones. Los análisis se realizaron en laboratorio, comparando las concentraciones iniciales y finales de Pb y Fe, y se procesaron los resultados mediante pruebas estadísticas de ANOVA y Tukey, con un nivel de confianza del 95 %.



La investigación busca aportar evidencia científica sobre la eficacia del carbón activado derivado de residuos agrícolas para la adsorción de metales pesados, promoviendo alternativas tecnológicamente accesibles y ambientalmente sostenibles. Asimismo, sus resultados podrían fortalecer estrategias locales de gestión ambiental orientadas a mejorar la calidad del agua en la cuenca del Huaura y a fomentar un uso responsable de los recursos naturales del país.

## **1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

Con el tiempo, hay menos agua dulce disponible en todo el mundo. Allá por el año 1900, aproximadamente el 5% del agua en el planeta era potable, lo cual era suficiente para todos en ese entonces. Ahora, solo cerca del 3% es agua dulce, y solo el 1% de eso está en la superficie. Esta agua es súper importante para la vida y para las comunidades que dependen de los ríos (Cárdenas, 2022).

Desde siempre, el agua dulce superficial ha ayudado a que crezcan civilizaciones importantes. A día de hoy, hay muchos pueblos pequeños que todavía dependen de estas fuentes de agua para sobrevivir y hacer sus cosas diarias (Correa, 2020).

Pero, como hay más gente, más fábricas y más tecnología, también existe más basura. Esto ha cambiado la calidad del agua. Así que, los ríos y lagos están cada vez peor por toda la basura y los químicos que se tiran en ellos. Esto es perjudicial para la gente que usa esa agua, ya que afecta su salud y bienestar (Correa, 2020).

En Perú, las cuencas de los ríos principales están siendo afectadas por la minería y otras actividades en las partes altas. Esto daña la calidad del agua y pone en riesgo la salud de las personas que viven río abajo, que usan el agua para la agricultura y la ganadería (Cuellar y Navarro, 2016).

El río Huaura es un buen ejemplo de esto. Existen minas cerca de donde nace el río, y eso afecta el agua. En lugares como Sayán, Huaura y Carquín, el agua está muy contaminada, lo que perjudica sus trabajos y negocios. Un estudio de Cuellar y Navarro (2016) encontró metales pesados como plomo, hierro, zinc y cobre en diferentes partes del río.

Para solucionar esto, varios países han puesto plantas de tratamiento de agua. Países como Estados Unidos, España y Bélgica usan sistemas con muchas etapas para limpiar el agua y asegurarse de que sea segura para beber (Fiestas y Millones, 2019). En estos sistemas, se colocan filtros especiales que pueden quitar contaminantes complicados, como los metales pesados (Guevara, 2023).

Usar carbón activado para quitar metales del agua es una buena opción. Pero, como viene de minerales, puede cambiar otros parámetros en el agua. Por eso, hay gente buscando opciones naturales que sean igual de buenas, pero sin riesgos para la salud o la calidad del agua (Padilla y Velarde, 2022).

Por todo esto, esta investigación quiere ver si el carbón activado hecho de cáscara de cacao puede reducir el plomo y el hierro del agua del río Huaura, en Sayán. Los resultados

se compararán con los estándares de calidad del agua para ver si esto ayuda a mejorar la calidad del agua.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Qué dosis de carbón activado de cascara de cacao obtiene un mejor porcentaje de reducción de plomo y hierro del agua del río Huaura, durante agosto de 2025?

### **1.2.2 Problemas específicos**

¿Cuál es el grado de reducción de plomo expresada en porcentaje en el agua del río Huaura, 2025?

¿Cuál es el grado de reducción de hierro expresada en porcentaje en el agua del río Huaura, 2025?

¿Cuál es la dosis de carbón activado de cascara de cacao con mayor porcentaje de reducción de plomo y hierro, 2025?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la dosis de carbón activado de cascara de cacao con el mejor porcentaje de reducción de plomo y hierro del agua del río Huara, durante agosto de 2025.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Analizar el porcentaje de reducción de plomo después de aplicarse las dosis de carbón activado de cascara de cacao en el agua del río Huaura, durante agosto de 2025.

Evidenciar el porcentaje de reducción de hierro después de aplicarse las dosis de carbón activado cascara de cacao en el agua del río Huaura, durante agosto de 2025.

Analizar la dosis de carbón activado de cascara de cacao de mayor porcentaje de reducción de plomo y hierro en el agua del río Huaura, durante agosto de 2025.

## **1.4. Justificación de la investigación**

El líquido elemento responsable de la vida en la Tierra, ha sido receptor directo de efluentes de todo tipo e indirectamente de las emisiones y filtraciones de contaminantes producto de las actividades humanas, lo que genera cambios negativos en la calidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. (Padilla y Velarde, 2022).

El río Huaura satisface la necesidad rural y urbana mediante sistemas de captación del agua superficial, es debido a esto que, los poblados asentados a lo largo de su cauce son quienes directamente se ven beneficiados por investigaciones como está que proponen tratamientos de origen vegetal para mejorar la calidad del agua del cual se abastecen.

En el Perú autores como Murrieta (2019), Paredes y Segura (2021) y Rodríguez (2019) proponen e investigan tratamientos de orígenes alternos a los convencionales con la intención de mejorar la calidad de las aguas del territorio peruano sin que esto presente efectos secundarios perjudiciales de los consumidores a un largo plazo.

El cacao es una especie vegetal alta producción en nuestro país. La elevada producción de cacao la hace una excelente propuesta para el aprovechamiento de sus residuos lignocelulósicos en el tratamiento de aguas con niveles de metales, cabe mencionar que la presente investigación no ha representado un riesgo u amenaza para este cultivo.

Asimismo, la presente investigación beneficia a la investigación experimental de la rama de la ingeniería ambiental, lo que, a su vez, permite establecer bases para el desarrollo de los métodos para la obtención y preparación de carbón activado.

## **1.5. Delimitación del estudio**

### **1.5.1 Delimitación territorial**

- País : Perú
- Distrito : Sayán
- Provincia : Huaura
- Región : Lima

### **1.5.2 Delimitación temporal y espacial**

El periodo temporal en el que se desarrolló el presente estudio está constituido por los meses de mayo hasta octubre del 2025, la parte experimental se realizó los meses de julio y agosto, las muestras de agua se extrajeron del río Huaura. Mientras que los meses de setiembre y octubre sirvieron de espacio para la interpretación y tratamiento estadístico de los datos.

## **1.6. Viabilidad del estudio**

### **1.6.1 Recursos humanos**

El equipo de trabajo conformado por los investigadores principales ha representado el total del recurso humano. De igual manera, se consideraron las coordinaciones con los responsables de laboratorio y equipos que fueron de utilidad para la realización de este trabajo. Del mismo modo, se contó también, con el apoyo de docentes y especialistas de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

### **1.6.2 Recursos económicos**

Los autores principales contaron con el recurso monetario suficiente para cubrir la necesidad económica propia de la investigación, así como en insumos, transporte, recolección de muestra, análisis de muestras, elaboración de carbón activado, etc.

### **1.6.3 Recursos materiales**

Los recursos materiales proyectados y considerados para la realización de la presente investigación fueron abastecidos por los autores principales, excepto aquellos equipos y materiales especializados con los que cuenta la presente casa superior de estudios y laboratorios privados responsables de los análisis de los metales a evaluar.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

#### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

Torres (2024) investigó cómo mejorar la capacidad de un carbón activado hecho de residuos para limpiar agua contaminada con metales pesados en el norte de Chile, usando ácido nítrico. Analizó cómo este ácido afecta la forma en que el carbón atrapa cobre, cadmio y plomo. Para activar el carbón, usaron tres métodos distintos: una placa caliente, un baño maría y un rotavapor. El rotavapor fue el que mejor funcionó dándole al material el mejor tratamiento. Las pruebas mostraron que el carbón quitó bastante cantidad de los metales, sobre todo plomo y cobre. Al analizar los datos, se dieron cuenta de que el carbón se une químicamente a los metales y que prefiere el cobre. En resumen, usar ácido nítrico hizo que el carbón atrapara más metales, y sugieren que jugar con cosas como el pH podría ayudar a que funcione mejor en el mundo real.

Landy (2022) realizó un estudio en Riobamba, Ecuador, para ver si el carbón activado hecho de semillas de guayaba podía limpiar el cromo y el plomo del agua. El carbón se hizo con los residuos de estas semillas, activándolos para que atrapen metales pesados. La investigación miró cómo cambiaban las cosas al modificar la cantidad de carbón, el tiempo de contacto, la temperatura, el pH, la rapidez con la que atrapaba los metales y cómo se unían el metal y el carbón, para encontrar la mejor manera de usarlo. Los resultados mostraron que la cantidad ideal de carbón activado era 0,25 g para el plomo y 0,75 g para el cromo. También encontraron que la temperatura ideal era alrededor de 23 °C, con un tiempo de contacto de 120 minutos y un pH de 9, esto hizo que la absorción fuera favorable. El plomo reaccionó de una manera determinada, mientras que el cromo lo hizo de otra, lo que demuestra que los metales y el carbón se unieron de diferentes maneras. Al final, el carbón quitó bastante cantidad de los metales, con un 89,87 % de eficiencia para el plomo y un 81,89 % para el cromo. En definitiva, el carbón activado de semillas de guayaba es una buena opción para quitar metales pesados, y recomiendan estudiar si funciona igual de bien con otros contaminantes metálicos.

Bedoya-Betancur et al. (2023) investigaron la limpieza de aguas residuales de la industria de galvanoplastia en Medellín, Colombia, que contenían zinc, níquel, hierro, cobre y cromo. El tratamiento se realizó por lotes, utilizando materiales biológicos obtenidos a partir de residuos de banano, como la cáscara y el pseudotallo, preparados mediante métodos físicos baratos, y compararon los resultados con los obtenidos al carbón activado comercial. Antes de la limpieza, analizaron el agua y encontraron altas concentraciones iniciales de los

metales, que superaban los límites establecidos por las normas ambientales colombianas. Estas concentraciones se midieron mediante espectrofotometría de absorción atómica, mostrando la necesidad de un tratamiento antes de su descarga. Los experimentos se realizaron en condiciones controladas, a temperatura ambiente, con un pH ácido cercano a 3,65 y agitación a 200 rpm, evaluando diferentes cantidades de absorbente entre 1 y 5 g, durante 120 minutos. Como resultado, se retiraron grandes cantidades de metales, mostrando una eficiencia superior al 80 % para níquel, cobre, zinc y cromo, y valores estándar para el hierro. Los resultados comparativos mostraron que los bioadsorbentes de banano funcionaron de forma similar al carbón activado comercial, lo que demuestra que pueden ser una alternativa sostenible, eficiente y barata para el tratamiento de aguas residuales industriales procedentes del sector de la galvanoplastia.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Ortiz y Díaz (2025) hicieron un experimento cerca de Barranca para ver qué era lo mejor para limpiar el agua del río Pativilca. Querían bajar la suciedad, quitar el hierro y el plomo. Para eso, usaron partes de la tuna (*Opuntia ficus-indica*): mucilago y la cáscara. Hicieron pruebas con 28 muestras, probando siete opciones distintas cuatro veces cada una. Tenían un grupo de control (sin nada), carbón de tuna, mucilago de tuna en polvo, carbón normal, sulfato de aluminio y mezclas de todo eso. Mientras hacían el experimento, chequearon el agua para ver si cambiaba y midieron cuánto hierro y plomo había antes y después de cada tratamiento. Usaron máquinas para mezclar el agua y después la filtraron. Para estar seguros de que los resultados eran buenos, hicieron unas pruebas especiales de estadística. Al final, vieron que los tratamientos T2 y T7 eran los mejores para quitar la suciedad, ¡casi un 99%! También bajaron el hierro un 74% y el plomo un 95%. Pero solo los tratamientos T6 y T7 cumplían con todas las reglas para que el agua fuera potable, revisando cosas como el pH y qué tanta sal tenía. Si hablamos de dinero, el tratamiento T6 fue el más barato (unos 40 céntimos por litro de agua) y quitaba bastante suciedad (99%), hierro (63%) y plomo (94%). En resumen, descubrieron que usar carbón de restos de plantas es una buena idea para limpiar el agua del río Pativilca, porque baja la suciedad y quita los metales pesados.

Cárdenas y Flores (2022) hicieron un estudio para saber si el carbón de cáscara de plátano servía para quitar el hierro del agua del subsuelo en la Universidad Nacional de Ucayali. Agarraron 28 botellas de agua directo del pozo y las revisaron. Vieron que tenían mucho hierro, más de lo permitido por las reglas (como 1,1 mg/L). Después, probaron echarle distintas cantidades de carbón de plátano (1, 2 y 3 gramos por litro) para ver cuánto bajaba el hierro. Resultó que la mejor cantidad era 3 gramos por litro, porque así quitaban casi el

72% del hierro. Así que dijeron que el carbón de cáscara de plátano puede servir para limpiar el agua de pozo cuando tiene mucho hierro.

Paredes y Segura (2021) revisaron muchos estudios para comparar cómo se hace el carbón de plantas para limpiar el agua de los ríos de metales. Juntaron información de muchos lados y vieron que los carbones hechos de cáscara de coco, cacao, eucalipto, naranja y maíz funcionan muy bien. Pueden quitar hasta el 95% de metales pesados como el cadmio, cromo, molibdeno, plomo, zinc y hierro. También notaron que es importante controlar bien cómo se hace el carbón, sobre todo el pH del agua y la temperatura al quemar las plantas. Al final, dijeron que calentar las plantas entre por encima de los 500 grados es lo mejor para que el carbón limpie bien el agua. Así que usar restos de plantas es una buena idea para limpiar el agua sucia.

### **2.1.3 Normas legales**

#### **Constitución política del Perú**

La Constitución Política del Perú (1993) establece los fundamentos que regulan el sistema de justicia y el ejercicio de los derechos fundamentales en el país, incorporando la protección del ambiente como un componente esencial del patrimonio natural. En su artículo 2, inciso 22, reconoce el derecho de toda persona a gozar de un ambiente saludable y equilibrado, y asigna al Estado la función de formular, promover y ejecutar la Política Nacional del Ambiente, así como de asegurar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales

#### **Ley general del ambiente N° 28611**

En el artículo 9, la norma contempla la responsabilidad directa por daño ambiental, siempre que exista una relación de causalidad debidamente comprobada. En este sentido, las personas naturales o jurídicas responsables del deterioro ambiental se encuentran obligadas a asumir medidas de compensación, rehabilitación o restauración del entorno afectado, en función de la magnitud del impacto generado.

#### **Estándares nacionales de calidad ambiental para agua**

El Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (2017) establece la clasificación de los cuerpos de agua, definiendo parámetros cuantificables y estándares de calidad ambiental que permiten evaluar su estado y orientar su gestión, conforme a lo señalado en el Anexo 2.

#### **Decreto supremo N.° 031-2010-SA “Reglamento de la calidad del agua para consumo”**

El Decreto Supremo N.° 031-2010-SA dispone los lineamientos técnicos para la gestión de la calidad del agua destinada al consumo humano, con la finalidad de prevenir riesgos



sanitarios y contribuir a la protección de la salud pública y el bienestar de la población (ver Anexo 3).

### **Resolución jefatural N.º 010-2016-ANA “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales”**

Aprueba los procedimientos técnicos estandarizados para el monitoreo de la calidad del recurso hídrico, tanto en cuerpos de agua marino-costeros como continentales, estableciendo criterios uniformes para su evaluación a nivel nacional. (R. J. N.º 010-2016-ANA)

## **2.2. Bases teóricas**

### **Definiciones conceptuales**

- **Adsorción:** Fenómeno de naturaleza fisicoquímica en que los iones de existentes en una sustancia líquida son transportados hacia una superficie sólido debido a fuerzas físicas o químicas y que debido a las múltiples aplicaciones que posee, es de gran relevancia. Dicho proceso consta de una sustancia que es adsorbida denominado adsorbato y otra que es la sustancia sobre la que se adsorbe llamada adsorbente. (Cárdenas y Flores, 2022)
- **Metales pesados:** Corresponde a todos los elementos químicos cuya densidad es igual o supera a  $5\text{g/cm}^3$  siempre y cuando estén en forma libre. También se puede considerar metal pesado si su número atómico es mayor a 20 (de los cuales se exceptúan los metales alcalinotérreos o alcalinos). (Cárdenas y Flores, 2022)
- **Presencia de metales en aguas superficiales y subterráneas:** es de preocupación mundial debido a que estos elementos suelen entrar en contacto con los acuíferos por factores biogeoquímicos, vías geotérmicas y geohidrológicas. (Fiestas y Millones, 2019)
- **Métodos de reducción de metales en agua:** Desde que se conoce y es sabido de las altas concentraciones de los metales en las aguas a nivel mundial, han aparecido un sin número de investigadores con la finalidad de proponer diferentes técnicas para su reducción del agua. (Fiestas y Millones, 2019)

**Tabla 1**

*Métodos de reducción de metales en el agua*

| <b>Tecnologías de tratamiento para la reducción de metales en agua</b> |
|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ablandamiento con cal mejorado</b>                                  |
| <b>Alúmina Activada</b>                                                |
| <b>Osmosis Inversa</b>                                                 |
| <b>Adsorción</b>                                                       |
| <b>Intercambio Iónico</b>                                              |

**Fuente:** (Fiestas y Millones, 2019)

- **Historia del cacao:** Este fruto tiene sus orígenes en Sudamérica, principalmente el Orinoco y el alto Amazonas, por la zona este de la cordillera de los Andes donde actualmente se asientan los países de Perú, Venezuela, Ecuador, Brasil, Colombia y Guayanas. (Rodríguez, 2019)
- **Producción de Cacao en el Perú:** Según el Convenio Internacional de Cacao 2010 de la Organización Internacional del Cacao (ICCO), se considera a Perú como el segundo país productor y explotador de cacao después de Ecuador. (Rodríguez, 2019)
- **Cáscara de Cacao:** Residuo orgánico proveniente del cacao luego de haber sufrido un quebrantamiento de su envoltura natural lignocelulósica, mismas que representan el 12 % de la semilla, por lo general se obtiene luego del tostado del cacao. (Rodríguez, 2019)

**Figura 1.** Cáscara de Cacao. Fuente



**Nota:** Rodríguez (2019)

**Tabla 2.** *Análisis de la cascara de cacao*

| <b>Composición</b>              | <b>Valores %</b> |
|---------------------------------|------------------|
| Humedad                         | 5.4 – 15.3       |
| Proteína cruda                  | 6.3 – 10.4       |
| Fibra cruda                     | 23.4 – 36.2      |
| Componentes del extracto etéreo |                  |

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| Extracto de nitrógeno libre | 0.5 – 2.4   |
| Cenizas                     | 31.8 – 61.4 |
|                             | 6.0 – 10.8  |

Fuente: (Rodríguez, 2019)

- **Carbón Activado:** Producto o sustancia, por lo general de origen mineral con alto contenido de poros en su superficie donde se encuentran los átomos de carbón los cuales son capaces de captar las moléculas de compuestos causantes de una mala calidad de las aguas. (Farías, 2019)

## 2.3. Hipótesis de investigación

### 2.3.1 Hipótesis general

H0: La dosis de carbón activado de cascara de cacao no reduce significativamente los niveles de plomo y hierro presentes en el agua del río Huaura.

Ha: La dosis de carbón activado de cascara de cacao reduce significativamente los niveles de plomo y hierro presentes en el agua del río Huaura.

### 2.3.2 Hipótesis específicas

La dosis de carbón activado de cascara de cacao reduce considerablemente el nivel de plomo presente en el agua del río Huaura.

La dosis de carbón activado de la cascara de cacao reduce significativamente el nivel de hierro presente en el agua del río Huaura.

La dosis óptima de carbón activado de cascara de cacao en la reducción de plomo y hierro del agua del río Huaura es de 10 g/L.

Tabla 3

2.4. Operacionalización de variable

Título: Dosis de carbón activo de cascara de cacao en la reducción de plomo y hierro del agua del río Huaura, 2025.

| VARIABLE                            | DEFINICIÓN                                                                                                             | DIMENSIÓN         | INDICADOR                         | UNIDAD/ ÍTEM |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------|
| Dosis carbón activado (X)           | Porción gravimétrica del total de carbón activado obtenido, el cual se aplicará para remover contaminantes en el agua. | Testigo (0)       | 0                                 | g/L          |
|                                     |                                                                                                                        |                   | 4                                 | g/L          |
|                                     |                                                                                                                        |                   | 6                                 | g/L          |
|                                     |                                                                                                                        |                   | 8                                 | g/L          |
|                                     |                                                                                                                        |                   | 10                                | g/L          |
| Concentración de plomo y hierro (Y) | Niveles de metal hierro y plomo encontrados en el agua antes y después aplicarse los tratamientos.                     | Niveles de plomo  | Porcentaje de reducción de plomo  | %            |
|                                     |                                                                                                                        | Niveles de hierro | Porcentaje de reducción de hierro | %            |

### **3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

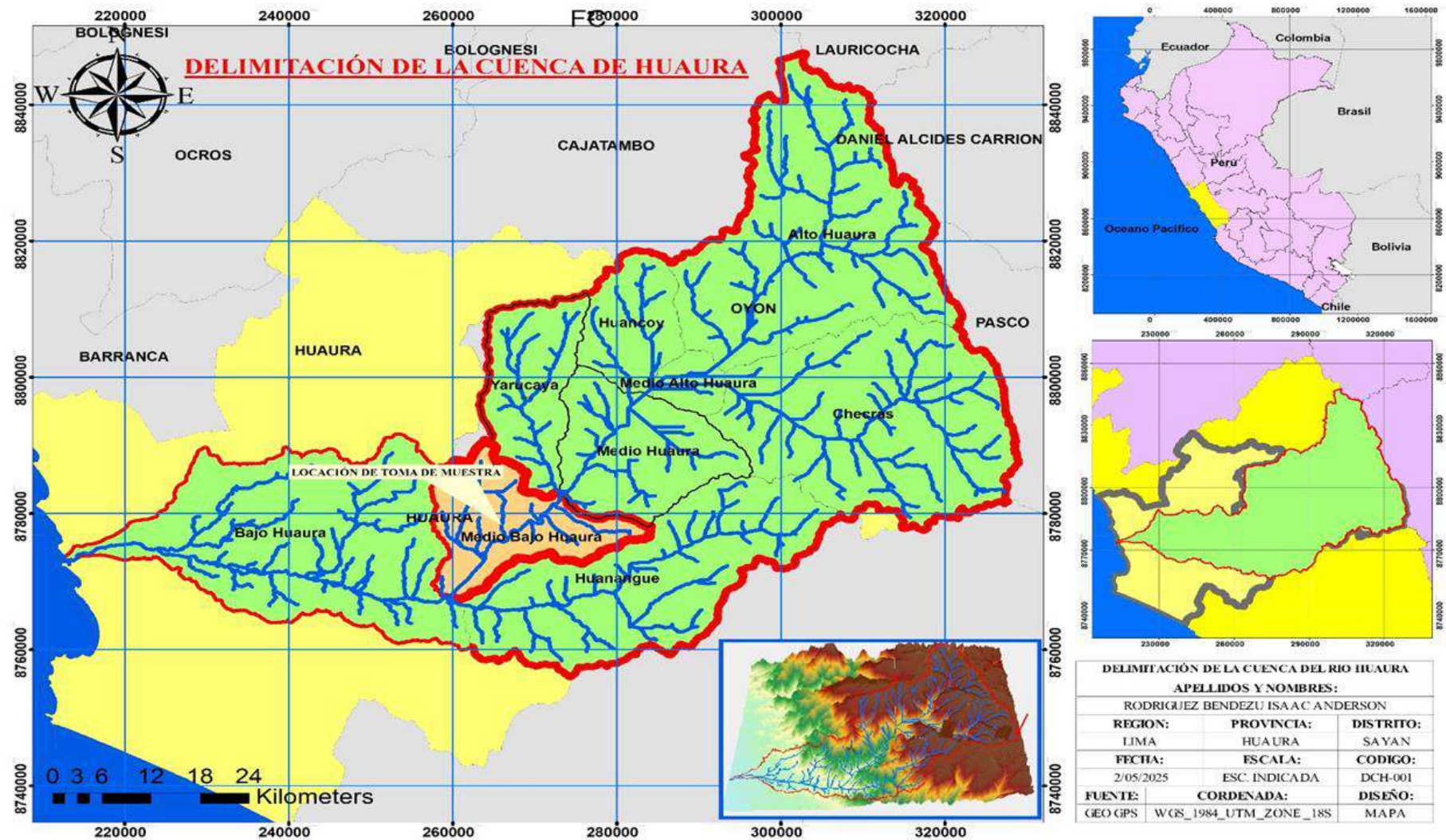
#### **3.1. Gestión del experimento**

##### **3.1.1 Ubicación**

La investigación se desarrolló en el distrito de Sayán, específicamente en la zona del río Huaura. La fase experimental se llevó a cabo en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, ubicada en el distrito de Huacho, ambas localizaciones pertenecientes a la provincia de Huaura, región Lima.

**Figura 2**

Ubicación del área de estudio



### 3.1.2 Características del área experimental

#### *Sayán*

El distrito conocido como la “Tierra del eterno sol” es parte de los doce que conforman la provincia de Huaura, la cual pertenece a la región Lima, y que por cuyos territorios atraviesa la cuenca del río Huara, el cual es objeto de estudio.

#### *Rio Huaura*

El río Huaura presenta su nacimiento en los andes del Perú, de las cuales se confluyen una serie de pequeñas lagunas y dan paso al cuerpo de agua que se escurre por diferentes provincias como Oyón, Huaura y políticamente forma parte de la cuenca Chancay – Huaral.

### 3.2. Tratamientos

#### 3.2.1 Obtención del carbón activado de cascara de cacao

Para lograr obtener las dosis de carbón activado de la cascara de cacao se ejecutaron una serie de pasos fundamentados en las experiencias obtenidas adaptación de Esteves (2019) y Farias (2019):

- **Selección:** La cascara de cacao utilizada como biomasa para la elaboración de carbón activado fue obtenido de comerciantes locales encontrados en el mercado “La Parada” del distrito de Huacho. La cantidad obtenida fue de 1 kg.
- **Secado:** La biomasa recolectada fue colocado en una fuente metálica y asimismo esta se colocó en una estufa para desarrollar el primer secado a 60 °C por un plazo de 24 horas.

#### *Figura 3*

Primer secado del tratamiento





- **Molienda:** Después del primer secado, se trituro la cascara con ayuda de un triturador industrial hasta obtener un polvo fino.

**Figura 4**

Primera molienda de cascara de cacao



- **Activación química:** Tras haber retirado el producto del segundo secado se vertió 500 ml de solución de ácido fosfórico al 60%. Esta mezcla proporcionó un medio de activación química, el cual sometido a una temperatura de 110 °C en una estufa por 24 horas.

**Figura 5**

Activación química con ácido fosfórico





**Figura 6**

Secado de mezcla de cascara de caco en polvo más activante químico



- **Activación física:** Luego de la activación química, se sometió el tratamiento a 800 °C en una mufla para poder completar la activación física que proporcionará la superficie porosa que posee la capacidad adsorptiva.

**Figura 7**

Activación física en mufla a 800 °C



- **Lavado y secado:** El producto del proceso anterior se lavó de 3 a 4 veces con agua destilada previamente calentada a su punto de ebullición. Este proceso ayudó a eliminar el excedente de cenizas.

**Figura 8**

Lavado y secado



- **Pulverizado:** El tratamiento activado físicamente se dejó secar a temperatura ambiente por 24 horas. Posteriormente fue pulverizado con ayuda de un mortero con pilón.

**Figura 9**

Pulverizado final



- **Dosificación:** Se realiza el pesado de acuerdo con la distribución de dosis previamente establecido.

**Figura 10**

Dosificación



### 3.3. Diseño experimental

Para esta investigación se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), este método dispuso de 5 tratamientos y 4 repeticiones, haciendo un total de 20 unidades experimentales.

Los tratamientos utilizados en la presente investigación fueron las dosis de carbón activado, en este caso serán 5: Testigo (T<sub>1</sub>), Carbón activado obtenido a partir de fibra lignocelulósica a: 4 g/L (T<sub>2</sub>), 6 g/L (T<sub>3</sub>), 8 g/L (T<sub>4</sub>) y 10 g/L (T<sub>5</sub>). Como variable respuesta se tuvo a la reducción de metales (plomo y hierro), el cual fue evaluado en función de porcentajes de reducción de la concentración.

**Tabla 4.** *Tratamientos a utilizar en el experimento*

| Nº<br>Trat | Dosis<br>(g/L) | REPETICIONES |     |     |     |
|------------|----------------|--------------|-----|-----|-----|
|            |                | 1            | 2   | 3   | 4   |
| 1          | 0              | 1.1          | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| 2          | 4              | 2.1          | 2.2 | 2.3 | 2.4 |
| 3          | 6              | 3.1          | 3.2 | 3.3 | 3.4 |
| 4          | 8              | 4.1          | 4.2 | 4.3 | 4.4 |
| 5          | 10             | 5.1          | 5.2 | 5.3 | 5.4 |

Nota: (1.1) representa unidad experimental Trat.repetición

### 3.4. Variables a evaluar

#### 3.4.1 Dosis de carbón activado

##### - Obtención del carbón activado

El carbón activado de cascará de cacao se obtuvo mediante operaciones unitarias especificadas en la sección “tratamientos”.

##### - Método de aplicación

La aplicación de los tratamientos se realizará mediante el método ensayos de adsorción y filtración.

Para llevar a cabo la adsorción por el periodo de tiempo de 1 hora, se añadirá las dosis de tratamiento sobre las muestras de agua, mismas que estarán vasos de precipitado de 1L. Se homogenizará y se dejará actuar por el tiempo mencionado inicialmente.

Para los ensayos de filtración, se armarán matraces con embudos que estarán cubiertos con papel filtro de poro denso, en donde se verterán la solución de muestra y carbón activado, hasta separar el líquido tratado.

### 3.4.2 Reducción de metales

- Reducción de los metales

Esta variable se evaluó mediante una la diferencia de concentración de metales (plomo y hierro) tomados como porcentajes, cuyas medias serán tratadas estadísticamente en un cuadro de ANOVA para un DCA.

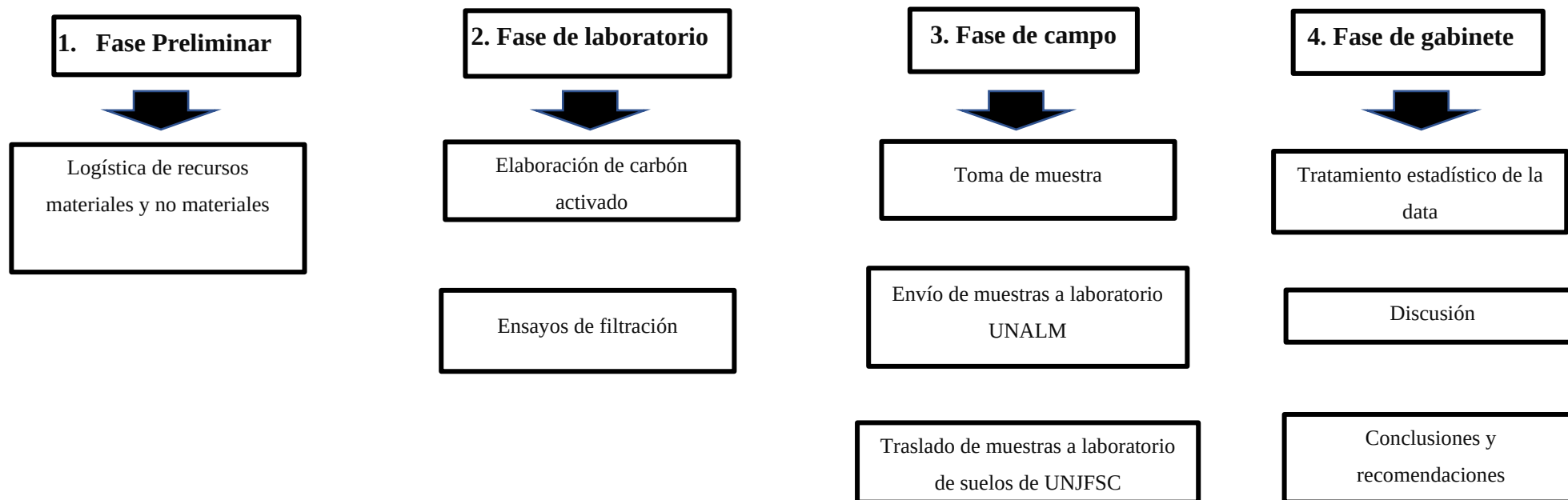
A continuación, se muestra la expresión matemática:

- Reducción:  $C_i - C_f$ ;
- % Reducción =  $\frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$

### 3.5. Conducción del experimento

**Figura 11**

Esquema de la conducción sistemática del experimento



### 3.5.1 Toma de muestra

Esta actividad previamente planificada se realizó tomando en cuenta los puntos de acceso e ingreso al curso de agua del río Huaura perteneciente a la jurisdicción del distrito de Sayán, extrayendo muestras de 4 estaciones iniciando de aguas arriba.

**Tabla 5**

*Coordenadas geograficas (UTM) de las estaciones de muestreo*

| Estación de muestreo | Este   | Norte   |
|----------------------|--------|---------|
| EM – RSAY-01         | 261537 | 8770118 |
| EM – RSAY-02         | 260012 | 8768395 |
| EM – RSAY-03         | 259017 | 8767767 |
| EM – RSAY-04         | 257029 | 8707088 |

Luego de haber identificado la estación de muestreo, se trasladaron los materiales hacia el punto exacto de extracción del recurso hídrico. En cada punto se instaló el cooler con los frascos de plástico de 1 L de capacidad previamente rotulado.

**Figura 12**

Identificación, instalación y georreferenciación de estación de muestreo





El muestreador contando con todos los equipos de protección personal, se adentró hacia el curso de agua y con ayuda de un balde transparente de plástico de 18 L, extrajo agua colocándolo contracorriente.

**Figura 13**

Extracción de muestra con ayuda de balde muestreador



Ya estando en tierra con el balde con agua, extrae las muestras vertiéndolas a cada frasco de plástico rotulado hasta llenarlo dejando espacio para la colocación de preservante.

**Figura 14**

Trasvase de la muestra a frasco de plástico rotulado





El muestreador colocó ácido nítrico en cada frasco y lo coloca en el cooler, asegurando la preservación y conservación de la muestra. Asimismo, realizó este mismo procedimiento en cada estación de coordenadas descritas en la Tabla 5, considerando la extracción de 5 muestras por estación. Al finalizar el muestreo, las muestras debidamente rotuladas y preservadas, fueron enviadas al laboratorio de agua y suelo de la UNALM, donde se realizó el análisis de los niveles iniciales de plomo y hierro.

**Figura 15**

Aplicación de preservante



### 3.5.2 Ensayo de adsorción de metales por carbón activado

Se preparó la mesa de trabajo siguiendo el arreglo experimental de un DCA de 5 tratamientos a 4 repeticiones. Inmediatamente después se adicionaron los tratamientos en las muestras que se encontraban en vasos de precipitado de 1 L, ya que previamente se vertieron las muestras de los frascos y se dejó en contacto para adsorción por 1 hora.

**Figura 16**

Instalación de mesa de trabajo según diseño experimental



**Figura 17**

Aplicación de tratamiento



Para poder realizar el ensayo se preparó cuatro matraces, embudos de vidrio y papel filtro para proceder con vertido y separación de la muestra del tratamiento aplicado. El ensayo se repitió por cada tratamiento, tomando en cuenta las 4 repeticiones.

**Figura 18**

Filtración del carbón activado para separación de la muestra



Finalmente, todas las muestras tratadas son ordenadas y enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina para la medición de los niveles finales de los metales analizados

### **3.6. Técnicas para el procesamiento de la información**

Todos los resultados y datos obtenidos de la concentración de metales entregados por el Laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria La Molina de las muestras de agua previamente enviadas para su análisis, fueron tratados estadísticamente con ayuda de los programas excel versión 2019 e infostat, en los cuales se realizaron las pruebas de ANOVA y Tukey para conocer con exactitud las diferencias o similitudes estadísticas (0.05 de nivel de significancia) que presentan los efectos de las dosis propuestas. Asimismo todos los resultados fueron comparados con los estándares nacionales.

### **3.7. Técnicas de recolección de datos**

Se siguieron fidedignamente los protocolos establecidos por la normativa nacional, para el caso del recurso hídrico superficial como los ríos, los procedimientos y lineamientos se establecen en la Resolución Jefatural N° 010 – 2016 – ANA.

#### 4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS

**Objetivo específico 1:** Analizar el porcentaje de reducción de plomo después de aplicarse las dosis de carbón activado de cascara de cacao en el agua del río Huaura, durante agosto de 2025

En la tabla 6 se muestran los niveles de plomo antes y después de la aplicación del tratamiento, asimismo se evidencia la reducción y los porcentajes del mismo por cada tratamiento aplicado a las muestras de agua extraídas del río Huaura.

**Tabla 6**

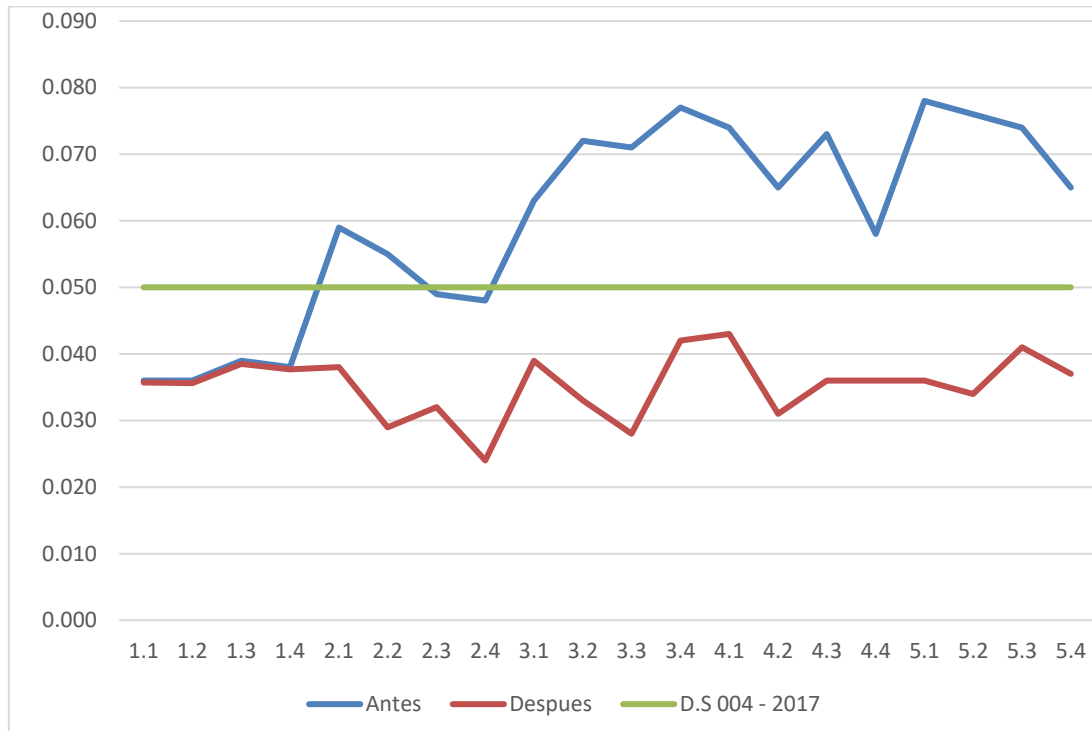
*Resultados de reducción y porcentaje de reducción de los niveles de plomo*

| Muestra | Antes (mg Pb/L) | Después (mg Pb/L) | D.S 004 – 2017 (mg Pb/L) | Reducción (mg Pb/L) | % Reducción |
|---------|-----------------|-------------------|--------------------------|---------------------|-------------|
| 1.1     | 0.036           | 0.036             | 0.05                     | 0.0003              | 0.008%      |
| 1.2     | 0.036           | 0.036             | 0.05                     | 0.0004              | 0.011%      |
| 1.3     | 0.039           | 0.039             | 0.05                     | 0.0005              | 0.013%      |
| 1.4     | 0.038           | 0.038             | 0.05                     | 0.0003              | 0.008%      |
| 2.1     | 0.059           | 0.038             | 0.05                     | 0.0210              | 35.59%      |
| 2.2     | 0.055           | 0.029             | 0.05                     | 0.0260              | 47.27%      |
| 2.3     | 0.049           | 0.032             | 0.05                     | 0.0170              | 34.69%      |
| 2.4     | 0.048           | 0.024             | 0.05                     | 0.0240              | 50.00%      |
| 3.1     | 0.063           | 0.039             | 0.05                     | 0.0240              | 38.10%      |
| 3.2     | 0.072           | 0.033             | 0.05                     | 0.0390              | 54.17%      |
| 3.3     | 0.071           | 0.028             | 0.05                     | 0.0430              | 60.56%      |
| 3.4     | 0.077           | 0.042             | 0.05                     | 0.0350              | 45.45%      |
| 4.1     | 0.074           | 0.043             | 0.05                     | 0.0310              | 41.89%      |
| 4.2     | 0.065           | 0.031             | 0.05                     | 0.0340              | 52.31%      |
| 4.3     | 0.073           | 0.036             | 0.05                     | 0.0370              | 50.68%      |
| 4.4     | 0.058           | 0.036             | 0.05                     | 0.0220              | 37.93%      |
| 5.1     | 0.078           | 0.036             | 0.05                     | 0.0420              | 53.85%      |
| 5.2     | 0.076           | 0.034             | 0.05                     | 0.0420              | 55.26%      |
| 5.3     | 0.074           | 0.041             | 0.05                     | 0.0330              | 44.59%      |
| 5.4     | 0.065           | 0.037             | 0.05                     | 0.0280              | 43.08%      |

Asimismo, en la figura 19 se puede apreciar la tendencia que siguen los niveles de plomo antes y después de aplicarse las dosis de carbón activado de cascara de cacao. De la distribución se puede ver claramente que inicialmente todas las muestras presentaron niveles por encima de la normativa, a excepción de las muestras 2.3 y 2.4, correspondiente a la tercera y cuarta repetición de la dosis 4 g/L. Los niveles de plomo posteriores a la aplicación del tratamiento se encuentran por debajo de la curva lineal del ECA para el agua que corresponde a 0.05 mg Pb/L.

**Figura 19**

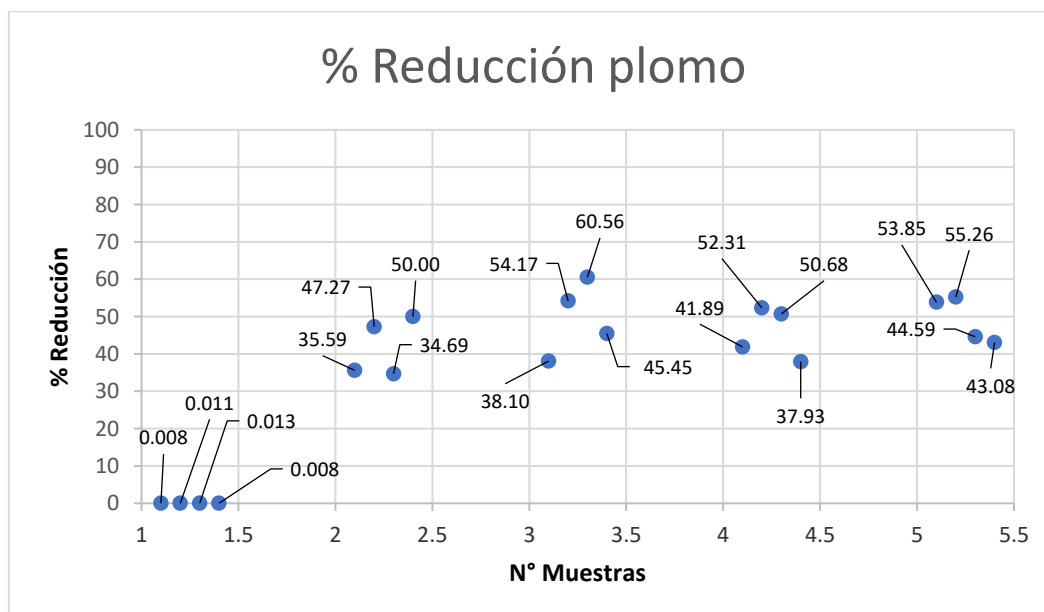
Tendencia comparativa de los niveles de plomo antes y después de la aplicación del tratamiento.



En la figura 20 se encuentran los porcentajes de reducción de la concentración de plomo, teniendo al tratamiento uno como testigo el cual no presentó variaciones significativas manteniéndose por debajo de la media con porcentajes por debajo de 0.001%. De igual manera se puede apreciar que la muestra 3.3 con 60.56% es el máximo resultado obtenido con la dosis de 6 g/L de carbón activado.

**Figura 20**

Dispersión de porcentajes de reducción de la concentración de plomo



**Objetivo específico 2:** Evidenciar el porcentaje de reducción de hierro después de aplicarse las dosis de carbón activado de cascara de cacao en el agua del río Huaura, durante agosto de 2025.

En la tabla 7 se puede observar los niveles de hierro antes y después de la aplicación del tratamiento, de igual manera se evidencia la reducción y los porcentajes del mismo por cada tratamiento aplicado a las muestras de agua extraídas del río Huaura.

**Tabla 7**

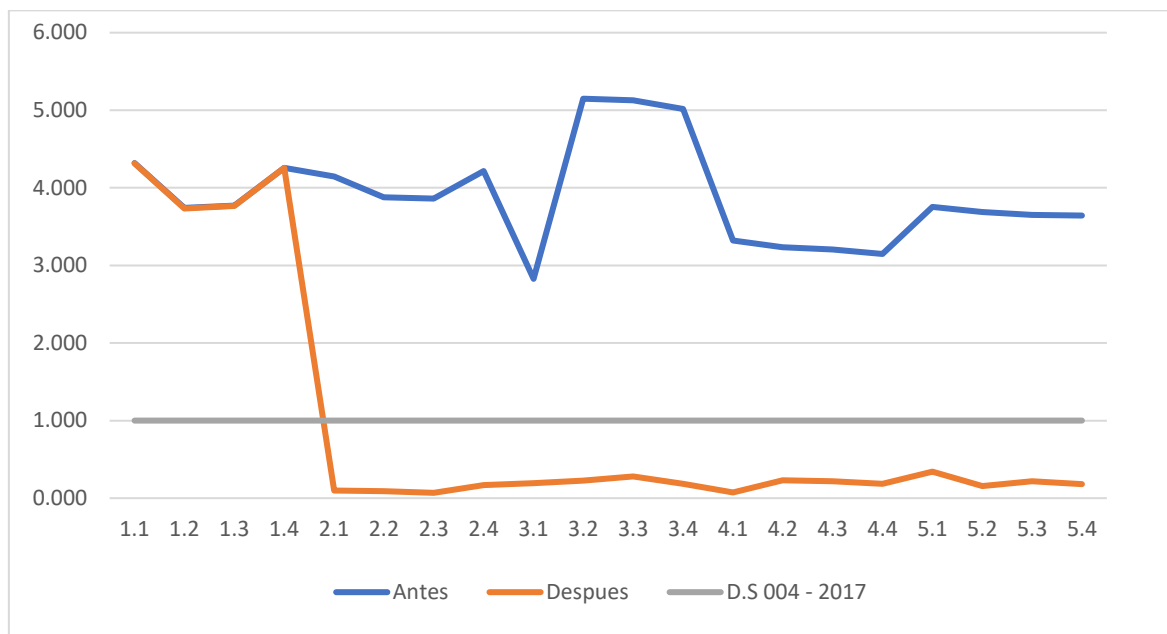
*Resultados de reducción y porcentaje de reducción de los niveles de hierro*

| Muestra | Antes | Después | D.S 004 -<br>2017 | Reducción | %<br>Reducción |
|---------|-------|---------|-------------------|-----------|----------------|
| 1.1     | 4.320 | 4.320   | 1                 | 0.004     | 0.00093        |
| 1.2     | 3.740 | 3.740   | 1                 | 0.005     | 0.00134        |
| 1.3     | 3.770 | 3.770   | 1                 | 0.002     | 0.00053        |
| 1.4     | 4.257 | 4.257   | 1                 | 0.000     | 0.00002        |
| 2.1     | 4.147 | 0.098   | 1                 | 4.049     | 97.64          |
| 2.2     | 3.876 | 0.092   | 1                 | 3.784     | 97.63          |
| 2.3     | 3.861 | 0.069   | 1                 | 3.792     | 98.21          |
| 2.4     | 4.215 | 0.168   | 1                 | 4.047     | 96.01          |
| 3.1     | 2.827 | 0.195   | 1                 | 2.632     | 93.10          |
| 3.2     | 5.149 | 0.227   | 1                 | 4.922     | 95.59          |
| 3.3     | 5.128 | 0.278   | 1                 | 4.850     | 94.58          |
| 3.4     | 5.015 | 0.186   | 1                 | 4.829     | 96.29          |
| 4.1     | 3.321 | 0.072   | 1                 | 3.249     | 97.83          |
| 4.2     | 3.235 | 0.231   | 1                 | 3.004     | 92.86          |
| 4.3     | 3.206 | 0.219   | 1                 | 2.987     | 93.17          |
| 4.4     | 3.146 | 0.184   | 1                 | 2.962     | 94.15          |
| 5.1     | 3.755 | 0.341   | 1                 | 3.414     | 90.92          |
| 5.2     | 3.687 | 0.155   | 1                 | 3.532     | 95.80          |
| 5.3     | 3.653 | 0.218   | 1                 | 3.435     | 94.03          |
| 5.4     | 3.643 | 0.182   | 1                 | 3.461     | 95.00          |

Por otro lado, en la figura 21 se evidencia también la tendencia que siguen los niveles de hierro antes y después de aplicarse las dosis de carbón activado de cascara de cacao. De la distribución se puede ver claramente que inicialmente todas las muestras presentaron niveles por encima de la normativa. Sin embargo, luego de aplicarse el tratamiento, los niveles de hierro posteriores se posicionan por debajo de la curva lineal del estándar de calidad ambiental para el agua que corresponde a 1 mg Fe/L.

**Figura 21**

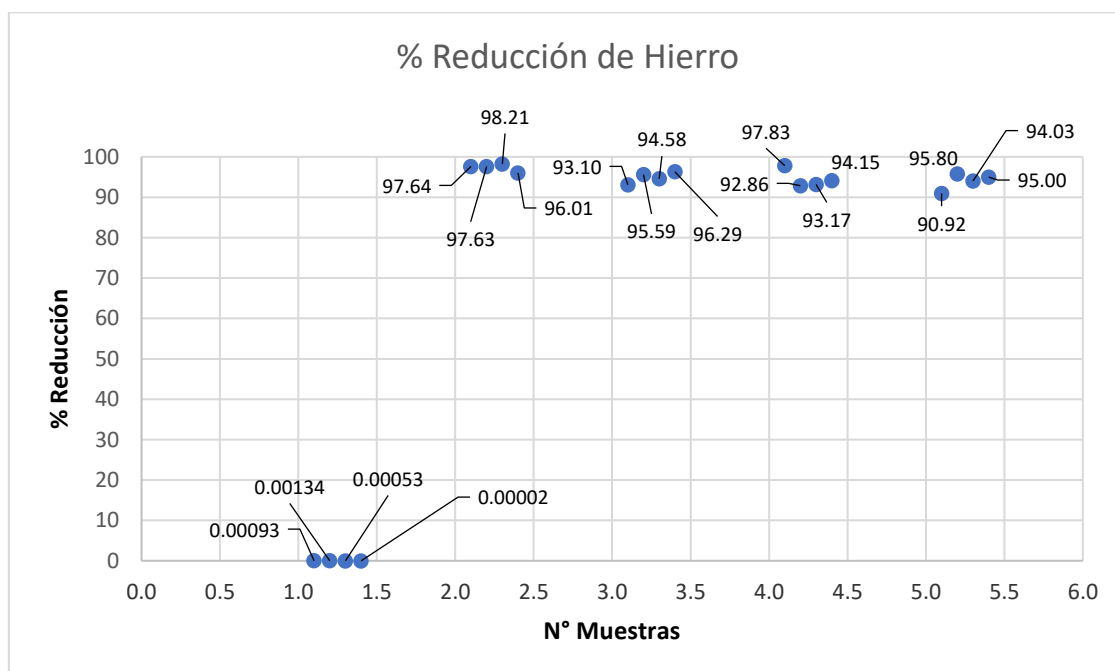
Tendencia comparativa de los niveles de hierro antes y después de la aplicación del tratamiento.



En la figura 22 se encuentran los porcentajes de reducción de la concentración de hierro, teniendo al tratamiento uno como testigo el cual no presentó variaciones significativas manteniéndose por debajo de la media con porcentajes por debajo de 0.001%. Se interpreta también que la muestra 2.3 con 98.21% es el máximo resultado obtenido con la dosis de 4 g/L de carbón activado.

**Figura 22**

Dispersión de porcentajes de reducción de la concentración de hierro





**Objetivo específico 3:** Analizar la dosis de carbón activado de cascara de cacao de mayor porcentaje de reducción de plomo y hierro en el agua del río Huaura, durante agosto de 2025.

Para efectos de precisión en las pruebas inferenciales, no se consideraron los resultados de las muestras testigo puesto que, al no haber sido tratada, las variaciones son consideradas como margen de error por precisión del equipo de medición o por el método de análisis. Por lo tanto, se realizó el test de shapiro, cuyos valores se observan en la Figura 23. El p-valor de los porcentajes de reducción de hierro y plomo son mayores al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ), lo cual indica que la distribución de los datos cumple con asunción de normalidad.

**Figura 23**

Análisis de normalidad de datos

| Variable        | n  | Media | D.E. | W*   | p(Unilateral D) |
|-----------------|----|-------|------|------|-----------------|
| %RemociónHierro | 16 | 95.18 | 2.09 | 0.94 | 0.5758          |
| %RemociónPlomo  | 16 | 46.59 | 7.71 | 0.94 | 0.5494          |

### **Análisis de la Varianza de los porcentajes de reducción de Hierro**

La figura 24 muestra el análisis de la varianza para los porcentajes de reducción de hierro, el cual presenta un p – valor  $> 0.05$ , lo que se interpreta con la inexistencia de diferencias altamente significativas entre la media de los efectos de los tratamientos. Mediante la prueba de Tukey, en la cual se observa que todas las dosis afectan a la concentración de hierro sin diferencias significativas (Figura 25).

**Figura 24**

ANOVA de porcentaje de reducción de hierro

| F.V.    | SC    | gl | CM   | F    | p-valor |
|---------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo  | 27.58 | 3  | 9.19 | 2.92 | 0.0778  |
| DOSISCA | 27.58 | 3  | 9.19 | 2.92 | 0.0778  |
| Error   | 37.83 | 12 | 3.15 |      |         |
| Total   | 65.40 | 15 |      |      |         |

**Figura 25**

Prueba de comparación de medias de Tukey para los porcentajes de reducción de hierro

| DOSISCA | Medias | n | E.E.   |
|---------|--------|---|--------|
| 5       | 93.94  | 4 | 0.89 A |
| 4       | 94.50  | 4 | 0.89 A |
| 3       | 94.89  | 4 | 0.89 A |
| 2       | 97.37  | 4 | 0.89 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### **Análisis de la Varianza de los porcentajes de reducción de Plomo**

La figura 26 muestra el análisis de la varianza para los porcentajes de reducción de plomo, el cual presenta un  $p$  – valor  $> 0.05$ , lo que significa que no existen diferencias altamente significativas entre las medias de los efectos de los tratamientos. Mediante la prueba de comparación de medias de Tukey, en la cual se observa que todas las dosis afectan a la concentración de plomo sin diferencias significativas (Figura 27).

**Figura 26**

ANOVA de porcentaje de reducción de plomo

| F.V.    | SC     | gl | CM    | F    | p-valor |
|---------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo  | 154.27 | 3  | 51.42 | 0.84 | 0.4991  |
| DOSISCA | 154.27 | 3  | 51.42 | 0.84 | 0.4991  |
| Error   | 737.16 | 12 | 61.43 |      |         |
| Total   | 891.43 | 15 |       |      |         |

**Figura 27**

Prueba de comparación de medias de Tukey para los porcentajes de reducción de plomo

| DOSISCA | Medias | n | E.E.   |
|---------|--------|---|--------|
| 2       | 41.89  | 4 | 3.92 A |
| 4       | 45.70  | 4 | 3.92 A |
| 5       | 49.20  | 4 | 3.92 A |
| 3       | 49.57  | 4 | 3.92 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## 5. CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

Este estudio tuvo como objetivo determinar cuál dosis de carbón activado obtenido de cáscara de cacao resulta más eficiente para reducir los niveles de plomo (Pb) y hierro (Fe) en las aguas del río Huaura durante agosto de 2025. Los hallazgos indican que el carbón activado presenta una notable capacidad de adsorción para ambos metales, logrando reducciones significativas; sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas relevantes entre las dosis evaluadas, según el análisis de varianza ( $p > 0.05$ ).

Con respecto al primer objetivo específico, la dosis de 6 g/L de carbón activado mostró la mayor eficiencia en la reducción de Pb, alcanzando 60.56% y situando las concentraciones finales por debajo del estándar de calidad ambiental (0.05 mg/L). Este resultado apoya la efectividad del material adsorbente preparado con ácido fosfórico y activación a 800 °C, condiciones que, de acuerdo con la literatura, favorecen la formación de poros meso- y microporosos y la presencia de grupos funcionales ácidos, aumentando la afinidad por iones metálicos.

Estos resultados guardan similitud con los resultados de Landy (2022), quien obtuvo 89.87% de reducción de Pb (II) usando carbón activado derivado de semillas de guayaba, optimizando pH (9) y temperatura (23 °C). Aunque el porcentaje de reducción en este estudio fue menor, la diferencia podría deberse a la compleja matriz de agua del río Huaura frente a soluciones sintéticas utilizadas por Landy, donde no existían interferencias de otros iones u orgánicos. Además, el pH natural del río, cercano a neutro o ligeramente ácido, podría haber limitado la ionización de los grupos funcionales del carbón activado, reduciendo la eficiencia de adsorción de Pb.

De forma similar, Torres (2024) reportó una capacidad de reducción de hasta 99.03% para metales como Pb, Cu y Cd con un carbón activado modificado con ácido nítrico. Aunque este trabajo obtuvo menor reducción, conviene considerar que el activante químico empleado (ácido fosfórico) genera una superficie rica en grupos fosfatos, con alta afinidad por cationes metálicos, pero fuertemente influenciada por el equilibrio iónico y el pH de la solución. Por ello, el 60.56% obtenido representa una eficiencia adecuada bajo condiciones ambientales reales, evidenciando el potencial de la cáscara de cacao como adsorbente alternativo a partir de residuos agroindustriales.

Respecto al segundo objetivo específico, la dosis de 4 g/L fue la que logró la mayor reducción de hierro, con 98.21%, reduciendo la concentración por debajo del límite máximo permisible (1 mg/L). Este grado de eficiencia se alinea con rangos reportados en estudios afines. Por ejemplo, Bedoya – Betancur *et al.* (2023) lograron 95.17% de reducción de Fe

empleando biomasa de cáscara de banano y pseudotallo, mientras que Cárdenas y Flores (2022) reportaron 72% de reducción usando carbón activado de cáscara de plátano a 3 g/L en aguas subterráneas.

La alta eficiencia podría explicarse por la estructura porosa desarrollada del carbón activado a 800 °C y la presencia de grupos fosfatos generados durante la activación con ácido fosfórico, que aumentan la capacidad de formar complejos con  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ . A diferencia del plomo, el hierro tiende a formar complejos más estables con grupos oxigenados y fosforilados, lo que explica las diferencias notables en los porcentajes de reducción entre ambos metales. Esto concuerda con lo observado por Paredes y Segura (2021), quienes indicaron que carbones activados a partir de residuos vegetales (p. ej., cáscaras de coco o cacao) pueden alcanzar remociones de hasta 95 % de hierro si se controlan adecuadamente pH y temperatura de activación entre 400 °C y 900 °C, condiciones cercanas a las de esta investigación.

Además, las remociones de hierro superiores al 90% en varias dosis sugieren que la adsorción depende no solo de la cantidad de adsorbente, sino de la disponibilidad de sitios activos y de la competencia entre iones. La caída gradual de eficiencia a dosis mayores podría deberse a la agregación de partículas de carbón activado, reduciendo su área superficial efectiva; este fenómeno también ha sido descrito por Ortiz y Díaz (2025) al tratar el agua del río Pativilca con carbón vegetal y mucílago de tuna.

El análisis de varianza (ANOVA) indicó que, para Pb y Fe,  $p > 0.05$ , lo que significa que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las dosis aplicadas (4 g/L, 6 g/L, 8 g/L y 10 g/L) en cuanto a su efecto sobre la reducción de metales. Esto podría explicarse por una saturación temprana de los sitios activos o por similitudes en la morfología y la superficie del material, ya que las condiciones de activación fueron consistentes para todas las muestras. Resultados similares se reportaron por Bedoya – Betancur *et al.* (2023), quienes observaron que aumentar la masa de adsorbente de 1 g a 5 g no generó diferencias estadísticamente significativas en las remociones de hierro, fortaleciendo la idea de que la eficiencia depende más de la calidad del carbón que de su cantidad.

En conjunto, los hallazgos confirman que el carbón activado de cáscara de cacao es un adsorbente eficaz, económico y sostenible para la reducción de metales pesados, especialmente hierro, del agua del río Huaura. Aunque las dosis no mostraron diferencias significativas entre sí, los valores obtenidos demuestran una alta capacidad de adsorción en condiciones reales de campo, acorde con reportes nacionales e internacionales sobre el potencial de carbones activados de origen vegetal. Además, el uso de residuos

agroindustriales como la cáscara de cacao favorece la valorización de subproductos agrícolas, reduce la generación de desechos y promueve prácticas de economía circular en el tratamiento de aguas.

## 6. CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

El estudio tuvo como objetivo determinar cuál dosis de carbón activado obtenido de la cáscara de cacao resulta más efectiva para disminuir las concentraciones de plomo (Pb) y hierro (Fe) en el agua del río Huaura durante agosto de 2025, evaluando cinco niveles de dosis: 0, 4, 6, 8 y 10 g/L. Los resultados mostraron que todas las dosis tratadas redujeron significativamente las concentraciones de ambos metales en comparación con el control (0 g/L) y, en la mayoría de los casos, cumplieron con los límites del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua. No obstante, el análisis de varianza (ANOVA) indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre las dosis, lo que sugiere que el carbón activado utilizado mantiene una eficiencia relativamente constante dentro del rango evaluado.

Sobre el porcentaje de reducción de Pb, la dosis de 6 g/L logró el mayor porcentaje de reducción (60.56%), reduciendo las concentraciones de Pb por debajo del límite permitido de 0.05 mg/L. Esto sugiere que el carbón activado de cáscara de cacao preparado con activante químico de ácido fosfórico a 800 °C tiene una capacidad adsorbtiva efectiva para iones  $Pb^{2+}$ , atribuible a una mayor porosidad superficial. Sin embargo, al comparar con dosis superiores (8 y 10 g/L), no se observaron incrementos significativos, lo que podría indicar una saturación de sitios activos a concentraciones intermedias del adsorbente.

En lo que respecta al Fe, la dosis de 4 g/L obtuvo el mayor porcentaje de reducción (98.21%), seguida por las dosis de 6, 8 y 10 g/L con valores cercanos, lo que confirma una alta eficiencia del material adsorbente. Los niveles de hierro después del tratamiento quedaron por debajo de 1 mg/L, cumpliendo la normativa vigente. La alta capacidad de reducción se puede explicar por la afinidad entre los grupos oxigenados y fosforilados del carbón activado y los iones  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ , así como por la estructura mesoporosa creada durante la activación física. Este comportamiento coincide con reportes de investigaciones previas que emplearon carbones vegetales para eliminar hierro en aguas naturales.

Los resultados del análisis estadístico mostraron que, aunque varían los porcentajes de reducción entre las dosis, esas diferencias no son estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) para Pb y Fe. Esto implica que todas las dosis ejercen un efecto similar en la reducción de ambos metales, reflejando una capacidad de adsorción estable dentro del rango de concentraciones evaluado. Por ello, se concluye que la dosis de 4 g/L es la opción más eficiente y económicamente viable, al lograr altos niveles de reducción de hierro y reducciones considerables de plomo con un menor consumo de adsorbente.

## 6.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar investigaciones futuras que amplíen el rango de dosis y ajusten parámetros como el pH, el tiempo de contacto y la temperatura, con el objetivo de optimizar la capacidad de adsorción del carbón activado y aumentar la precisión de los resultados.
- Durante el desarrollo del estudio surgieron problemas para obtener y calibrar los materiales de laboratorio, lo que limitó la repetibilidad de los ensayos y la toma de muestras simultáneas. Por ello, se propone asegurar con anticipación la disponibilidad y el estado adecuado de los equipos, así como establecer convenios o colaboraciones con laboratorios certificados que garanticen las condiciones experimentales.
- Dado que los niveles de contaminantes y el caudal del río Huaura varían entre la temporada de avenida y estiaje, es conveniente realizar muestreos en ambas temporadas. Esto permitirá comparar el comportamiento del carbón activado bajo distintas condiciones hidrológicas y evaluar su eficiencia en escenarios representativos del régimen natural del río.
- Se recomienda realizar un reconocimiento de campo previo y detallado antes de muestrear, para identificar zonas de acceso seguro y estable al cauce del río, ya que no todos los tramos son fácilmente transitables. Esta planificación facilitará la logística de recolección, reducirá los tiempos de traslado y minimizará los riesgos en el trabajo de campo.
- Considerando los resultados obtenidos, se sugiere probar el carbón activado de cáscara de cacao en sistemas piloto de tratamiento de agua (por columnas o filtros continuos) para evaluar su rendimiento en condiciones reales y su viabilidad técnica y económica a mayor escala.
- Dado que la cáscara de cacao es un residuo abundante y de bajo costo, se propone promover programas de valorización y producción local de carbón activado, integrando a productores agrícolas de la zona. Esto contribuiría al manejo sostenible de residuos, a la protección de los recursos hídricos y al fortalecimiento de la economía circular en el ámbito rural.

## 7. CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

- Aponte, H. y Ramírez, D. (2011). Humedales de la costa central del Perú: Estructura y amenazas de sus comunidades vegetales. *Ecología aplicada*, 10(1), 31 – 39. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v10n1/a04v10n1>
- Bedoya – Betancur, S., Arriola – Villaseñor, E., Valencia – Gonzales, J., Ortiz – Muñoz, D., Barrera – Zapata, R., Hernández – Maldonado, J. y Ardila – Arias, A. (2023). Adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales no domésticas usando residuos agroindustriales de banano. *Revista ION*. 36(2). 15 – 32. <https://doi.org/10.18273/revion.v36n2-2023002>
- Borja, A. (2019). Carbón activado de corteza de papa como filtro para la reducción de plomo y cadmio en aguas de mina, Casapalca – Lima, 2019. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/54807>
- Cabrera, K. y Chero, D. (2023). Reducción de mercurio y zinc con carbón activado de semillas de helianthus annuus en el humedal de ventanilla, Lima 2023. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/123045>
- Cárdenas, L. y Flores, M. (2022). Efecto del carbón activado de cascara de plátano (*Musa paradisiaca* variedad hartón) en la reducción de hierro total del agua del subsuelo de la Universidad Nacional de Ucayali. Ucayali, Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/5838>
- Cedeño, B. y Vásquez, A. (2024). Eficiencia de bioadsorción de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la reducción de plomo y aluminio del agua residual de la lubricadora “La sin Par”. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2353>
- Chavez, J. y Contreras, A. (2019). Disminución del cromo en aguas residuales de la industria de curtido a través del carbón activado de coco Ate – Lima, 2019. [Trabajo de investigación para la obtención del bachiller, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/59842>
- Chiriboga, L. y Molina, J. (2024). Eficiencia del biochar de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) en la reducción de contaminantes del efluente de la camaronera “La Gringa”. [Proyecto de investigación, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2343>



- Correa, O., Fuentes, E. y Coral, E., (2020). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray – Perú. *Revista Sociedad Química Perú*, 87(1), 26 – 38. DOI: 10.37761/rsqp.v87i1.320
- Cuellar, J. y Navarro, J. (2016). Niveles de contaminantes que afectan la calidad de aguas del Río Huaura en su cuenca baja. *Infintum*, 6(2). DOI: <https://doi.org/10.51431/infinitum.v6i2.39>
- Esteves, J. (2019). Propuesta para la elaboración de carbón activado a partir de mazorca de cacao (*Theobroma cacao*) para el pre – tratamiento de agua residual de lubricadora. [Trabajo de titulación, Universidad Agraria del Ecuador].
- Farias, J. (2019). Propuesta de aplicación del proceso de carbonización y activación química para la obtención de carbón activado de cáscaras de cacao en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón – 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/59341>
- Fiestas, M. y Millones, A. (2019). Influencia de la concentración y el tiempo de contacto de carbón activado de cáscara de coco en la reducción de arsénico de aguas subterránea de Mórrope. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/4028>
- Guevara, R. (2023). Eficacia del carbón vegetal de la pepa de palta y cascarilla de cacao para remover soluciones cianuradas en La Libertad, 2023. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/132976>
- Guiza, I., Gómez – Reina, M., Cuan – Mamby, G., Monsalve – Estrada, N. y Lopez – Muñoz, L. (2023). Caracterización de la cacota de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon fear – 05 para la obtención de materiales carbonosos mediante activación química para posible uso industrial. *Revista Científica Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 21(2), 138 – 156. DOI: 10.5281/zenodo.10390365
- Landy, J. (2022). Reducción de cromo III y plomo II en solución acuosa, utilizando carbón activo obtenido de las semillas de Guayaba. [Proyecto de investigación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17751/1/96T00794.pdf>
- López, Á., Acevedo, J. y Acevedo, M. (2019). Producción de carbón activado como estrategia para disminuir los residuos agroindustriales generados en Santander. Repositorio institucional RI – UTS. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1414>

- Marin, G. López, J. (2019). Evaluación de la eficiencia del carbón activado elaborado a partir de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la adsorción de cloruros y mercurio. [Proyecto de tesis, Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/3102/1/ULEAM-RNA-0068.pdf>
- Ministerio de Salud (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano aprobado mediante Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. *Salud Ambiental*. Perú.
- Ministerio de Salud (2015). Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo aprobado mediante Resolución Directoral N.º 160-2015/DIGESA/SA. *Dirección General de Salud*. Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA. *Autoridad Nacional del Agua*. Perú.
- Ministerio del Ambiente (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. *Ministerio del Ambiente*. Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2014). Evaluación del estado de la calidad del agua en la cuenca del río Pativilca – Ancash – Lima. *Autoridad Nacional del Agua*. Perú.
- Murrieta L. (2019). Evaluación de la capacidad de adsorción de carbón activado mediante cáscara de naranja (*Citrus Cinensis*) para la reducción de iones de Arsénico en aguas residuales industriales. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2451>
- Ortiz, S. y Díaz, A. (2025). Aplicación de mucílago y carbón activado, obtenido de la penca de la tuna (*Opuntia ficus – indica*) para la reducción de turbidez y metales del agua del río Pativilca (Lima – Perú). [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur]. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/4115>
- Padilla, J. y Velarde, M. *Efecto de floculantes alternativos en la mejora de la calidad del agua de potencial consumo humano en Santa María, Huaura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio UNJFSC. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/7620>

- Paredes, E. y Segura, L. (2021). Estudio de la reducción de metales pesados en aguas contaminadas de ríos utilizando carbón activado vegetal. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/28778>
- Rivera, H., Chira, J., Chacón, I., Campian, M., Cotrina, J. y Rosales, A. (2010). *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias geográficas*. 13(26), 21 – 25. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v13i26.344>
- Rodríguez, J. (2019). Producción de carbón activado a partir de la testa de la almendra de cacao con ácido fosórico al 60%. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/42>
- Rosales, D. y Quevedo, A. (2019). Adsorción con carbón activado obtenido de la semilla de aguaje para la reducción de plomo y cromo en aguas contaminadas. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/5114>
- Torres, C. (2024). Adsorción de metales pesados en agua usando carbón activado modificado mediante tratamiento ácido. [Memoria de título, Universidad de Concepción]. <https://repositorio.udec.cl/server/api/core/bitstreams/0581d333-1f77-4a50-b7ec-c78b5d93f42f/content>
- Vásquez, N. (2020). Efecto del carbón activado de semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa* L. f) en la estabilización del cadmio (cd) en el suelo y su acumulación en tejidos de plantones de cacao. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4293>

## 8. ANEXOS

Tabla 8

### Anexo 1. Matriz de consistencia

| Título: “Dosis de carbón activo de cascara de cacao en la reducción de plomo y hierro del agua del río Huaura, 2025”                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PROBLEMAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | OBJETIVOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | HIPÓTESIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | VARIABLES E INDICADORES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | METODOLOGÍA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>Problema general</b><br/>¿Qué dosis de carbón activado de cascara de cacao obtiene un mejor porcentaje de reducción de plomo y hierro del agua del río Huaura, durante agosto de 2025?</p> <p><b>Problemas específicos</b><br/>¿Cuál es el grado de reducción de plomo expresada en porcentaje en el agua del río Huaura, 2025?<br/>¿Cuál es el grado de reducción de hierro expresada en porcentaje en el agua del río Huaura, 2025?<br/>¿Cuál es la dosis de carbón activado de cascara de cacao con mayor porcentaje de reducción de plomo y hierro, 2025?</p> | <p><b>Objetivo general</b><br/>Evaluar la dosis de carbón activado de cascara de cacao con el mejor porcentaje de reducción de plomo y hierro del agua del río Huaura, durante agosto 2025.</p> <p><b>Objetivos específicos</b><br/>Analizar el porcentaje de reducción de plomo después de aplicarse las dosis de carbón activado de cascara de cacao en el agua del río Huaura, durante agosto de 2025.<br/>Evidenciar el porcentaje de reducción de hierro después de aplicarse las dosis de carbón activado de cascara de cacao en el agua del río Huaura, durante agosto de 2025.<br/>Analizar la dosis de carbón activado de cascara de cacao de mayor porcentaje de reducción de plomo y hierro en el agua del río Huaura, durante agosto de 2025.</p> | <p><b>Hipótesis general</b><br/>H<sub>0</sub>: La dosis de carbón activado de cascara de cacao no reduce significativamente los niveles de plomo y hierro presentes en el agua del río Huaura.<br/>H<sub>a</sub>: La dosis de carbón activado de cascara de cacao reduce significativamente los niveles de plomo y hierro presentes en el río Huaura</p> <p><b>Hipótesis Específicas</b><br/>La dosis de carbón activado de cascara de cacao reduce considerablemente el nivel de plomo en el agua del río Huaura.<br/>La dosis de carbón activado de cascara de cacao reduce significativamente el nivel de hierro en el agua del río Huaura.<br/>La dosis optima en la reducción de plomo y hierro de las aguas del río Huaura es de 10 g/L</p> | <p><b>V1: Dosis de carbón activado (X)</b><br/><i>Testigo 0 dosis, (X<sub>1</sub>)</i><br/><i>Carbón activado obtenido a partir de cascara de cacao a 4 g/L (X<sub>2</sub>)</i><br/><i>Carbón activado obtenido a partir de cascara de cacao a 6 g/L (X<sub>3</sub>)</i><br/><i>Carbón activado obtenido a partir de cascara de cacao a 8 g/L (X<sub>4</sub>)</i><br/><i>Carbón activado obtenido a partir de cascara de cacao a 10 g/L (X<sub>5</sub>)</i></p> <p><b>V2: Concentración de plomo y hierro (Y)</b><br/>● <i>Porcentaje de reducción de plomo</i><br/>● <i>Porcentaje de reducción de hierro</i></p> | <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada<br/><b>Nivel de investigación:</b> Explicativo<br/><b>Diseño de investigación:</b> Experimental<br/><b>Enfoque de investigación:</b> Cuantitativo<br/><b>Diseño estadístico.</b><br/>Diseño completamente al azar (DCA) de 4 repeticiones por tratamiento.</p> <p><b>Análisis estadístico:</b><br/>Excel / Infostat<br/>Análisis de normalidad<br/>Prueba de tukey<br/>ANOVA</p> <p><b>Técnicas:</b><br/>Análisis de muestras en laboratorio<br/>Medición por instrumentos de medición</p> <p><b>Métodos:</b><br/>Monitoreo de la calidad de agua RJ 010-2016-ANA<br/>Ensayos por filtración<br/>Procedimientos de laboratorio</p> <p><b>Instrumentos:</b><br/>Ficha de datos<br/>Equipos de medición<br/>Cadena de custodia</p> <p><b>Descripción del experimento:</b><br/>Fase preliminar<br/>Fase de Laboratorio<br/>Fase de campo<br/>Fase de gabinete</p> |

**Tabla 9****Anexo 2.** Formato de rótulo de muestra.

|                                              |  |                         |
|----------------------------------------------|--|-------------------------|
| LABORATORIO DE CONTROL AMBIENTAL             |  |                         |
| Código de identificación de campo            |  |                         |
| Coordenadas                                  |  | Este:                   |
|                                              |  | Norte:                  |
|                                              |  | Altura:                 |
| Localidad/distrital/provincia/región         |  |                         |
| Fecha y Hora de Muestreo                     |  |                         |
| Tipo de análisis<br>requerido                |  | Preservada:             |
|                                              |  | Nombre del preservante: |
| Nombre del muestreador (Institución/Entidad) |  |                         |

**Tabla 10**

**Anexo 3. Estándar de calidad de agua**

| ANEXO                                                                          |                              |                                                           |                                                                       |                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Categoría 1: Poblacional y Recreacional                                        |                              |                                                           |                                                                       |                                                                   |
| Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable |                              |                                                           |                                                                       |                                                                   |
| Parámetros                                                                     | Unidad de medida             | A1<br>Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección | A2<br>Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional | A3<br>Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado |
| <b>FÍSICOS-QUÍMICOS</b>                                                        |                              |                                                           |                                                                       |                                                                   |
| Aceites y Grasas                                                               | mg/L                         | 0,5                                                       | 1,7                                                                   | 1,7                                                               |
| Cianuro Total                                                                  | mg/L                         | 0,07                                                      | **                                                                    | **                                                                |
| Cianuro Libre                                                                  | mg/L                         | **                                                        | 0,2                                                                   | 0,2                                                               |
| Cloruros                                                                       | mg/L                         | 250                                                       | 250                                                                   | 250                                                               |
| Color (p)                                                                      | Color verdadero Escala Pt/Co | 15                                                        | 100 (a)                                                               | **                                                                |
| Conductividad                                                                  | (µS/cm)                      | 1 500                                                     | 1 600                                                                 | **                                                                |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )                              | mg/L                         | 3                                                         | 5                                                                     | 10                                                                |
| Dureza                                                                         | mg/L                         | 500                                                       | **                                                                    | **                                                                |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                                               | mg/L                         | 10                                                        | 20                                                                    | 30                                                                |
| Fenoles                                                                        | mg/L                         | 0,003                                                     | **                                                                    | **                                                                |
| Fluoruros                                                                      | mg/L                         | 1,5                                                       | **                                                                    | **                                                                |
| Fósforo Total                                                                  | mg/L                         | 0,1                                                       | 0,15                                                                  | 0,15                                                              |
| Materiales Flotantes de Origen Antropogénico                                   |                              | Ausencia de material flotante de origen antrópico         | Ausencia de material flotante de origen antrópico                     | Ausencia de material flotante de origen antrópico                 |
| Nitratos (NO <sub>3</sub> -) (c)                                               | mg/L                         | 50                                                        | 50                                                                    | 50                                                                |
| Nitritos (NO <sub>2</sub> -) (d)                                               | mg/L                         | 3                                                         | 3                                                                     | **                                                                |
| Amoníaco- N                                                                    | mg/L                         | 1,5                                                       | 1,5                                                                   | **                                                                |
| Oxígeno Disuelto (valor mínimo)                                                | mg/L                         | ≥ 6                                                       | ≥ 5                                                                   | ≥ 4                                                               |
| Potencial de Hidrógeno (pH)                                                    | Unidad de pH                 | 6,5 – 8,5                                                 | 5,5 – 9,0                                                             | 5,5 - 9,0                                                         |
| Sólidos Disueltos Totales                                                      | mg/L                         | 1 000                                                     | 1 000                                                                 | 1 500                                                             |
| Sulfatos                                                                       | mg/L                         | 250                                                       | 500                                                                   | **                                                                |
| Temperatura                                                                    | °C                           | Δ 3                                                       | Δ 3                                                                   | **                                                                |
| Turbiedad                                                                      | UNT                          | 5                                                         | 100                                                                   | **                                                                |
| <b>INORGÁNICOS</b>                                                             |                              |                                                           |                                                                       |                                                                   |
| Aluminio                                                                       | mg/L                         | 0,9                                                       | 5                                                                     | 5                                                                 |
| Antimonio                                                                      | mg/L                         | 0,02                                                      | 0,02                                                                  | **                                                                |
| Arsénico                                                                       | mg/L                         | 0,01                                                      | 0,01                                                                  | 0,15                                                              |
| Bario                                                                          | mg/L                         | 0,7                                                       | 1                                                                     | **                                                                |
| Berilio                                                                        | mg/L                         | 0,012                                                     | 0,04                                                                  | 0,1                                                               |
| Boro                                                                           | mg/L                         | 2,4                                                       | 2,4                                                                   | 2,4                                                               |
| Cadmio                                                                         | mg/L                         | 0,003                                                     | 0,005                                                                 | 0,01                                                              |
| Cobre                                                                          | mg/L                         | 2                                                         | 2                                                                     | 2                                                                 |
| Cromo Total                                                                    | mg/L                         | 0,05                                                      | 0,05                                                                  | 0,05                                                              |
| Hierro                                                                         | mg/L                         | 0,3                                                       | 1                                                                     | 5                                                                 |
| Manganeso                                                                      | mg/L                         | 0,4                                                       | 0,4                                                                   | 0,5                                                               |
| Mercurio                                                                       | mg/L                         | 0,001                                                     | 0,002                                                                 | 0,002                                                             |
| Molibdeno                                                                      | mg/L                         | 0,07                                                      | **                                                                    | **                                                                |
| Níquel                                                                         | mg/L                         | 0,07                                                      | **                                                                    | **                                                                |
| Plomo                                                                          | mg/L                         | 0,01                                                      | 0,05                                                                  | 0,05                                                              |
| Selenio                                                                        | mg/L                         | 0,04                                                      | 0,04                                                                  | 0,05                                                              |
| Uranio                                                                         | mg/L                         | 0,02                                                      | 0,02                                                                  | 0,02                                                              |
| Zinc                                                                           | mg/L                         | 3                                                         | 5                                                                     | 5                                                                 |

**Tabla 11**

**Anexo 4. Límites Máximos Permisibles de agua para consumo**

| Parámetros                   | Unidad de medida                    | Límite máximo permisible |
|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1. Olor                      | ---                                 | Aceptable                |
| 2. Sabor                     | ---                                 | Aceptable                |
| 3. Color                     | UCV escala Pt/Co                    | 15                       |
| 4. Turbiedad                 | UNT                                 | 5                        |
| 5. pH                        | Valor de pH                         | 6,5 a 8,5                |
| 6. Conductividad (25°C)      | $\mu\text{mho/cm}$                  | 1 500                    |
| 7. Sólidos totales disueltos | $\text{mg L}^{-1}$                  | 1 000                    |
| 8. Cloruros                  | $\text{mg Cl}^{-} \text{ L}^{-1}$   | 250                      |
| 9. Sulfatos                  | $\text{mg SO}_4^{-} \text{ L}^{-1}$ | 250                      |
| 10. Dureza total             | $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$   | 500                      |
| 11. Amoníaco                 | $\text{mg N L}^{-1}$                | 1,5                      |
| 12. Hierro                   | $\text{mg Fe L}^{-1}$               | 0,3                      |
| 13. Manganeso                | $\text{mg Mn L}^{-1}$               | 0,4                      |
| 14. Aluminio                 | $\text{mg Al L}^{-1}$               | 0,2                      |
| 15. Cobre                    | $\text{mg Cu L}^{-1}$               | 2,0                      |
| 16. Zinc                     | $\text{mg Zn L}^{-1}$               | 3,0                      |
| 17. Sodio                    | $\text{mg Na L}^{-1}$               | 200                      |

**Anexo 5. Evidencia de toma de muestra**

**Figura 28**

Toma de muestra estación de muestreo EM-RSAY-01



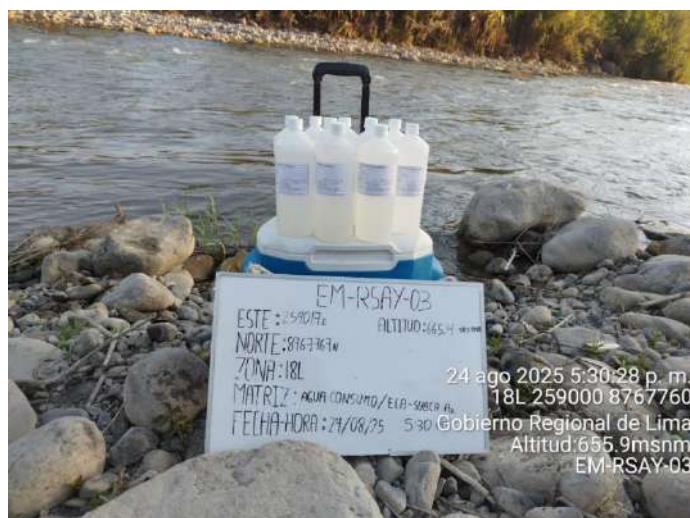
**Figura 29**

Toma de muestra estación de muestreo EM-RSAY-02



**Figura 30**

Toma de muestra estación de muestreo EM-RSAY-03





**Figura 31**

Toma de muestra estación de muestreo EM-RSAY-04



**Anexo 6.** Evidencia de realización de ensayo de filtración

**Figura 32**

Filtración de carbón activado de cascara de cacao a dosis 4 g



**Figura 33**

Filtración de carbón activado de cascara de cacao a dosis 6 g



**Figura 34**

Filtración de carbón activado de cascara de cacao a dosis 8 g



**Figura 35**

Filtración de carbón activado de cascara de cacao a dosis 10 g



**Anexo 7.** Evidencia de proceso completo de obtención del tratamiento

**Figura 36.** Primer secado en estufa a 60 °C



**Figura 37.** Producto del primer secado



**Figura 38.** Muestra de cacao lista para trituración





**Figura 39.** Pesaje de cascara de cacao en polvo para aplicación de activante químico



**Figura 40.** Homogenización de cascara de cacao en polvo con ácido fosfórico



**Figura 41.**

Homogenizado de cascara de cacao y activante químico en estufa a 110 °C



**Figura 42.**

Activación física en mufla a 800 °C



**Anexo 8.** Certificado de analisis de laboratorio emitido por la Universidad Nacional Agraria La Molina

**Figura 43.** Certificado de análisis de plomo y hierro antes la aplicación de tratamiento.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA**

SOLICITANTE : ISAAC ANDERSON RODRIGUEZ BENDEZU

PROCEDENCIA : LIMA/HUAURA/SAYAN/PRE-TRATAMIENTO

REFERENCIA H.R. 86577

BOLETA 7544

FECHA : 09/09/2025

| N° LAB | CLAVES | Fe mg/L | Pb mg/L |
|--------|--------|---------|---------|
| 4408   | 1.1 A  | 4.320   | 0.036   |
| 4409   | 2.1 A  | 3.740   | 0.059   |
| 4410   | 3.1 A  | 3.770   | 0.063   |
| 4411   | 4.1 A  | 4.257   | 0.074   |
| 4412   | 5.1 A  | 3.755   | 0.078   |
| 4413   | 1.2 A  | 3.740   | 0.036   |
| 4414   | 2.2 A  | 3.876   | 0.055   |
| 4415   | 3.2 A  | 5.149   | 0.072   |
| 4416   | 4.2 A  | 3.235   | 0.065   |
| 4417   | 5.2 A  | 3.687   | 0.076   |
| 4418   | 1.3 A  | 3.770   | 0.039   |
| 4419   | 2.3 A  | 3.861   | 0.049   |
| 4420   | 3.3 A  | 5.128   | 0.071   |
| 4421   | 4.3 A  | 3.206   | 0.073   |
| 4422   | 5.3 A  | 3.653   | 0.074   |
| 4423   | 1.4 A  | 4.257   | 0.038   |
| 4424   | 2.4 A  | 4.215   | 0.048   |
| 4425   | 3.4 A  | 5.015   | 0.077   |
| 4426   | 4.4 A  | 3.146   | 0.058   |
| 4427   | 5.4 A  | 3.643   | 0.065   |

N.D.: No detectable

LD: Limite de detección / LC: Limite de cuantificación

Hierro: LD = 0.02995 ppm / LC = 0.09983 ppm

Plomo: LD = 0.05925 ppm / LC = 0.19750 ppm

*Lily Tello*



**Dra. Lily Tello Peramás**  
Jefa de Laboratorio

**Av. La Molina s/n Campus UNALM**  
**Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622**  
**Celular: 946-505-254**  
**e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe**

**Figura 44.** Certificado de análisis de plomo y hierro después la aplicación de tratamiento.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA

SOLICITANTE : ISAAC ANDERSON RODRIGUEZ BENDEZU

PROCEDENCIA: LIMA/HUAURA/SAYAN/POST-TRATAMIENTO

REFERENCIA : H.R. 86578

BOLETA : 7544

FECHA : 09/09/2025

| N° LAB | CLAVES | Fe<br>mg/L | Pb<br>mg/L |
|--------|--------|------------|------------|
| 4427   | 1.1 D  | 4.320      | 0.036      |
| 4428   | 2.1 D  | 0.098      | 0.038      |
| 4429   | 3.1 D  | 0.195      | 0.039      |
| 4430   | 4.1 D  | 0.072      | 0.043      |
| 4431   | 5.1 D  | 0.341      | 0.036      |
| 4432   | 1.2 D  | 3.740      | 0.036      |
| 4433   | 2.2 D  | 0.092      | 0.029      |
| 4434   | 3.2 D  | 0.227      | 0.033      |
| 4435   | 4.2 D  | 0.231      | 0.031      |
| 4436   | 5.2 D  | 0.155      | 0.034      |
| 4437   | 1.3 D  | 3.770      | 0.039      |
| 4438   | 2.3 D  | 0.069      | 0.032      |
| 4439   | 3.3 D  | 0.278      | 0.028      |
| 4440   | 4.3 D  | 0.219      | 0.036      |
| 4441   | 5.3 D  | 0.218      | 0.041      |
| 4442   | 1.4 D  | 4.267      | 0.038      |
| 4443   | 2.4 D  | 0.168      | 0.024      |
| 4444   | 3.4 D  | 0.186      | 0.042      |
| 4445   | 4.4 D  | 0.184      | 0.036      |
| 4446   | 5.4 D  | 0.182      | 0.037      |

N.D.: No detectable

LD: Límite de detección / LC: Límite de cuantificación Hierro: LD = 0.02995 ppm / LC = 0.09983 ppm Plomo: LD = 0.05925 ppm / LC = 0.19750 ppm

  
**Dra. Lily Tello Peramás**  
 Jefa de Laboratorio



Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
 Celular: 946-505-254  
[e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe](mailto:labsuelo@lamolina.edu.pe)