



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**INFLUENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO (*Ananas comosus*) EN LA REMOCIÓN  
DE DETERGENTES (SAAM), DE UN EFLUENTE DOMÉSTICO TIPO EN LIMA  
METROPOLITANA**

**Línea de investigación:**  
**Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autora**

Rosales Marcos, Jhilari Iris

**Asesor**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

**Jurado**

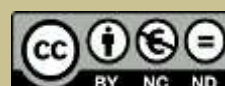
Rojas Leon, Gladys

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Aparicio Ilazaca, Roxana Clara Yaqueli

**Lima - Perú**

**2026**



# INFLUENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO (*Ananas comosus*) EN LA REMOCIÓN DE DETERGENTES (SAAM) DE UN EFLUENTE DOMÉSTICO TIPO EN LIMA METROPOLITANA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

5%

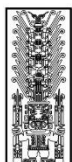
PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|   |                                                                                                     |     |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1 | <a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a><br>Fuente de Internet                           | 3%  |
| 2 | <a href="https://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a><br>Fuente de Internet         | 2%  |
| 3 | <a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a><br>Fuente de Internet         | 1%  |
| 4 | <a href="https://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a><br>Fuente de Internet               | 1%  |
| 5 | <a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a><br>Fuente de Internet                   | 1%  |
| 6 | <a href="https://repository.unipiloto.edu.co">repository.unipiloto.edu.co</a><br>Fuente de Internet | <1% |
| 7 | <a href="https://cia.uagraria.edu.ec">cia.uagraria.edu.ec</a><br>Fuente de Internet                 | <1% |
| 8 | <a href="https://repositorio.unan.edu.ni">repositorio.unan.edu.ni</a><br>Fuente de Internet         | <1% |



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

INFLUENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO (*Ananas comosus*) EN LA REMOCIÓN DE  
DETERGENTES (SAAM), DE UN EFLUENTE DOMÉSTICO TIPO EN LIMA  
METROPOLITANA

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación.

Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Ambiental

**Autora:**

Rosales Marcos, Jhilari Iris

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

**Jurado:**

Rojas Leon, Gladys

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Aparicio Ilazaca, Roxana Clara Yaqueli

**Lima – Perú**

2026

## **DEDICATORIA**

A mi madre y a mi abuela, por su amor incondicional, su dedicación y su constante motivación para que nunca deje de perseguir mis metas. Gracias por enseñarme con su ejemplo la importancia de la perseverancia y la entrega; todo lo que he logrado es, en gran parte, gracias a ustedes.



## **AGRADECIMIENTO**

A mis maestros, dentro y fuera del aula, que me ofrecieron sus enseñanzas y perspectivas, ayudándome a forjar mi propio camino académico y profesional. De manera especial, al Ing. Omar Vasquez, por su guía y apoyo fundamental en la realización de esta investigación.

## ÍNDICE

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN.....</b>                                          | <b>11</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                         | <b>12</b> |
| <b>I INTRODUCCIÓN.....</b>                                   | <b>13</b> |
| <b>1.1 Descripción y formulación del problema .....</b>      | <b>13</b> |
| <i>1.1.1 Descripción del problema.....</i>                   | <i>13</i> |
| <i>1.1.2 Formulación del problema .....</i>                  | <i>16</i> |
| <b>1.2 Antecedentes .....</b>                                | <b>17</b> |
| <i>1.2.1 Nacionales .....</i>                                | <i>17</i> |
| <i>1.2.2 Internacionales.....</i>                            | <i>21</i> |
| <b>1.3 Objetivos .....</b>                                   | <b>26</b> |
| <i>1.3.1 Objetivo General.....</i>                           | <i>26</i> |
| <i>1.3.2 Objetivos Específicos.....</i>                      | <i>27</i> |
| <b>1.4 Justificación .....</b>                               | <b>27</b> |
| <b>1.5 Hipótesis .....</b>                                   | <b>29</b> |
| <i>1.5.1 Hipótesis General .....</i>                         | <i>29</i> |
| <i>1.5.2 Hipótesis Específicas.....</i>                      | <i>29</i> |
| <b>II MARCO TEÓRICO.....</b>                                 | <b>30</b> |
| <b>2.1 Características de la Piña (Ananas comosus) .....</b> | <b>30</b> |
| <i>2.1.1 Generalidades .....</i>                             | <i>30</i> |
| <i>2.1.2 Corona .....</i>                                    | <i>31</i> |
| <b>2.2 Gestión de Residuos .....</b>                         | <b>32</b> |
| <b>2.3 Adsorción .....</b>                                   | <b>34</b> |
| <i>2.3.1 Generalidades .....</i>                             | <i>34</i> |
| <i>2.3.2 Isoterma de Adsorción .....</i>                     | <i>35</i> |

|       |                                                         |    |
|-------|---------------------------------------------------------|----|
| 2.4   | Carbón Activado .....                                   | 36 |
| 2.4.1 | <i>Generalidades</i> .....                              | 36 |
| 2.4.2 | <i>Métodos de Activación</i> .....                      | 39 |
| 2.4.3 | <i>Características</i> .....                            | 41 |
| 2.5   | Efluente Doméstico Tipo.....                            | 43 |
| 2.6   | Detergentes (SAAM) .....                                | 44 |
| 2.6.1 | <i>Tensioactivo Aniónico.</i> .....                     | 44 |
| 2.6.2 | <i>Método SAAM.</i> .....                               | 46 |
| 2.6.3 | <i>Eficiencia de remoción de detergentes</i> .....      | 46 |
| 2.6.4 | <i>Efectos en el Ambiente</i> .....                     | 47 |
| III   | MÉTODO.....                                             | 49 |
| 3.1   | Tipo de Investigación .....                             | 49 |
| 3.2   | Ámbito Temporal y Espacial.....                         | 50 |
| 3.2.1 | <i>Ámbito Espacial</i> .....                            | 50 |
| 3.2.2 | <i>Ámbito Temporal</i> .....                            | 51 |
| 3.3   | Variables .....                                         | 51 |
| 3.4   | Población y Muestra.....                                | 51 |
| 3.4.1 | <i>Población</i> .....                                  | 51 |
| 3.4.2 | <i>Muestra</i> .....                                    | 52 |
| 3.5   | Instrumentos .....                                      | 52 |
| 3.5.1 | <i>Equipos y Materiales</i> .....                       | 52 |
| 3.5.2 | <i>Técnicas</i> .....                                   | 53 |
| 3.5.3 | <i>Instrumentos</i> .....                               | 54 |
| 3.5.4 | <i>Validación y Confiabilidad del Instrumento</i> ..... | 54 |
| 3.6   | Procedimientos .....                                    | 55 |

|       |                                                                                 |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.6.1 | <i>Proceso de Carbonización Activada</i> .....                                  | 55  |
| 3.6.2 | <i>Caracterización de Carbón Activado</i> .....                                 | 61  |
| 3.6.3 | <i>Efluente Doméstico Tipo</i> .....                                            | 68  |
| 3.6.4 | <i>Remoción de detergentes</i> .....                                            | 70  |
| 3.7   | <b>Análisis de Datos</b> .....                                                  | 72  |
| 3.8   | <b>Consideraciones Éticas</b> .....                                             | 73  |
| IV    | <b>RESULTADOS</b> .....                                                         | 74  |
| 4.1   | <b>Características de Carbón Activado</b> .....                                 | 74  |
| 4.1.1 | <i>Densidad Aparente</i> .....                                                  | 74  |
| 4.1.2 | <i>Índice de Metileno</i> .....                                                 | 75  |
| 4.2   | <b>Concentración de Detergentes (SAAM)</b> .....                                | 85  |
| 4.2.1 | <i>Efluentes domésticos</i> .....                                               | 85  |
| 4.2.2 | <i>Solución Tipo</i> .....                                                      | 85  |
| 4.2.3 | <i>Tratamiento de Solución Tipo</i> .....                                       | 86  |
| 4.3   | <b>Eficiencia de Remoción de Detergentes (SAAM) del Tratamiento</b> .....       | 87  |
| 4.4   | <b>Análisis estadístico</b> .....                                               | 87  |
| V     | <b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....                                            | 89  |
| VI    | <b>CONCLUSIONES</b> .....                                                       | 92  |
| VII   | <b>RECOMENDACIONES</b> .....                                                    | 94  |
| VIII  | <b>REFERENCIAS</b> .....                                                        | 96  |
| IX    | <b>ANEXOS</b> .....                                                             | 106 |
|       | <b>Anexo A: MATRIZ DE CONSISTENCIA</b> .....                                    | 106 |
|       | <b>Anexo B: INSTRUMENTOS</b> .....                                              | 107 |
|       | <b>Anexo C: ANÁLISIS DE MUESTRAS DE EFLUENTES DE LAVADORAS DOMÉSTICAS</b> ..... | 110 |

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Anexo D: ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE DETERGENTES DE ALÍCUOTAS DE SOLUCIÓN MADRE .....</b> | <b>113</b> |
| <b>Anexo E: ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE DETERGENTES DE TRATAMIENTO .....</b>                 | <b>114</b> |
| <b>Anexo F: MAPAS DE UBICACIÓN .....</b>                                                      | <b>115</b> |
| <b>Anexo G: ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>                                                    | <b>118</b> |

### Índice de tablas

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Formas de carbón activado .....                                                                | 37 |
| Tabla 2 Variables e indicadores del objetivo general .....                                             | 51 |
| Tabla 3 Variables operacionales .....                                                                  | 50 |
| Tabla 4 Diseño experimental .....                                                                      | 50 |
| Tabla 5 Resultados de densidad aparente para CA25 .....                                                | 74 |
| Tabla 6 Resultados de densidad aparente para CA50 .....                                                | 74 |
| Tabla 7 Curva de calibración de azul de metileno .....                                                 | 75 |
| Tabla 8 Diluciones del filtrado para lectura de absorbancia.....                                       | 76 |
| Tabla 9 Resultados promedios de adsorción de AM por CA25.....                                          | 78 |
| Tabla 10 Resultados promedios de adsorción de AM por CA50.....                                         | 78 |
| Tabla 11 Isotherma de adsorción de CA25 Modelo Langmuir.....                                           | 79 |
| Tabla 12 Isotherma de adsorción de CA50 Modelo Langmuir.....                                           | 80 |
| Tabla 13 Isotherma de adsorción de CA25 Modelo Freundlich .....                                        | 82 |
| Tabla 14 Isotherma de adsorción de CA50 Modelo Freundlich .....                                        | 83 |
| Tabla 15 Parámetros correspondientes al modelo de Langmuir.....                                        | 84 |
| Tabla 16 Parámetros correspondientes al modelo de Freundlich .....                                     | 84 |
| Tabla 17 Datos de muestras de efluentes de lavadoras domésticas del distrito de Puente<br>Piedra ..... | 85 |
| Tabla 18 Resultados de pruebas de solución tipo .....                                                  | 86 |
| Tabla 19 Resultados de tratamiento .....                                                               | 86 |
| Tabla 20 Resultados de remoción de detergentes (SAAM) de tratamiento .....                             | 87 |
| Tabla 21 ANOVA de Un Factor (Fisher) .....                                                             | 88 |

## Índice de figuras

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Estructura morfológica bruta del fruto de <i>Ananas comosus</i> .....          | 30 |
| Figura 2 Cosecha de piña Golden en el Valle Viejo de Olmos, en Lambayeque .....         | 31 |
| Figura 3 Recolección de residuos sólidos en Mercado de Huamantanga .....                | 33 |
| Figura 4 Representación esquemática de la estructura porosa de carbones activados. .... | 39 |
| Figura 5 Recolección de materia prima .....                                             | 55 |
| Figura 6 Método para la producción de carbón activado.....                              | 56 |
| Figura 7 Secado de materia prima .....                                                  | 57 |
| Figura 8 Trituración de materia prima con mortero.....                                  | 57 |
| Figura 9 Tamizado de materia prima con tamices .....                                    | 58 |
| Figura 10 Impregnación de materia prima con Ácido fosfórico al 25% y 50% .....          | 59 |
| Figura 11 Filtrado de mezcla de impregnación.....                                       | 59 |
| Figura 12 Carbonización.....                                                            | 60 |
| Figura 13 Lavado y filtrado de carbones activados .....                                 | 61 |
| Figura 14 Verificación de neutralización tras lavado de carbón activado .....           | 61 |
| Figura 15 Análisis de densidad aparente para carbones activados .....                   | 62 |
| Figura 16 Preparación de solución patrón .....                                          | 63 |
| Figura 17 Soluciones para curva de calibración .....                                    | 63 |
| Figura 18 Elaboración de isoterma de adsorción.....                                     | 64 |
| Figura 19 Estandarización de soluciones.....                                            | 66 |
| Figura 20 Determinación de las tres dosis de carbón activado .....                      | 66 |
| Figura 21 Filtrado por gravedad .....                                                   | 67 |
| Figura 22 Titulación de cada filtrado.....                                              | 67 |
| Figura 23 Toma de muestras de efluentes de lavadoras domésticas.....                    | 68 |
| Figura 24 Solución madre de solución tipo .....                                         | 70 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Figura 25 Agitación de solución tipo con carbón activado.....   | 71 |
| Figura 26 Filtración tras adsorción .....                       | 71 |
| Figura 27 Medición de pH tras filtración.....                   | 72 |
| Figura 28 Curva de calibración de azul de metileno.....         | 75 |
| Figura 29 Isotherma de adsorción de CA25 Modelo Langmuir .....  | 80 |
| Figura 30 Isotherma de adsorción de CA50 Modelo Langmuir .....  | 81 |
| Figura 31 Isotherma de adsorción de CA25 Modelo Freundlich..... | 82 |
| Figura 32 Isotherma de adsorción de CA50 Modelo Freundlich..... | 83 |



## RESUMEN

La limitada disponibilidad de agua en Lima Metropolitana y el incremento del consumo doméstico agravan el estrés hídrico, mientras que los efluentes de lavadoras, con altos contenidos de detergentes, impiden su reúso directo. Ante ello, se evaluó la influencia del carbón activado, obtenido a partir de coronas de piña (*Ananas comosus*), en la remoción de detergentes (SAAM) de un efluente doméstico tipo, cuya concentración inicial (3,19 mg/l) se basó en la caracterización de efluentes reales recolectados de lavadoras domésticas en el distrito de Puente Piedra. Se elaboraron dos carbones activados mediante impregnación con ácido fosfórico al 25% (CA25) y al 50% (CA50), caracterizados por densidad aparente e índices de azul de metileno. La caracterización mostró que el CA50 presentó mayor densidad aparente (0,475 g/ml) en comparación con el CA25 (0,423 g/ml), evidenciando una estructura más compacta; asimismo, el índice de azul de metileno, mostró que el CA25 presentó mayor capacidad de adsorción (454,55 mg/g) respecto al CA50 (416,67 mg/g) evidenciando mayor desarrollo de meso y macroporos. Las pruebas de adsorción de detergentes SAAM se realizaron con 500 ml del efluente tipo y 4 g de cada tipo de carbón, y demostraron que el CA25 alcanzó una eficiencia del 93,89% (0,195 mg/l residual), superando significativamente al CA50 con 78,06% (0,70 mg/l residual). En conclusión, el CA25 presentó mayor eficiencia de adsorción por su estructura y mayor afinidad hacia compuestos orgánicos aniónicos, constituyendo una alternativa sostenible y eficiente para el tratamiento de este tipo de efluentes y su reúso no potable.

*Palabras clave:* carbón activado, coronas de piña, SAAM, adsorción.

## ABSTRACT

The limited availability of water in Metropolitan Lima and the increase in domestic consumption exacerbate water stress, while washing machine effluents, with their high detergent content, prevent their direct reuse. Therefore, the influence of activated carbon, obtained from pineapple (*Ananas comosus*) crowns, on detergent removal (SAAM) from a typical domestic effluent was evaluated. The initial concentration (3.19 mg/l) was based on the characterization of actual effluents collected from domestic washing machines in the Puente Piedra district. Two activated carbons were produced by impregnation with 25% (CA25) and 50% (CA50) phosphoric acid, characterized by bulk density and methylene blue indices. The characterization showed that CA50 had a higher bulk density (0.475 g/mL) compared to CA25 (0.423 g/mL), indicating a more compact structure. Furthermore, the methylene blue index showed that CA25 exhibited a higher adsorption capacity (454.55 mg/g) compared to CA50 (416.67 mg/g), indicating greater development of meso- and macropores. SAAM detergent adsorption tests were performed using 500 ml of the sample effluent and 4 g of each type of carbon, demonstrating that CA25 achieved an efficiency of 93.89% (0.195 mg/l residual), significantly surpassing CA50 at 78.06% (0.70 mg/l residual). In conclusion, CA25 demonstrated greater adsorption efficiency due to its structure and higher affinity for anionic organic compounds, making it a sustainable and efficient alternative for the treatment of this type of effluent and its reuse for non-potable applications.

*Keywords:* activated carbon, pineapple crowns, SAAM, adsorption.

## I INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción y formulación del problema

#### 1.1.1 Descripción del problema

Según lo indicado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2021), Perú ocupa el octavo lugar a nivel mundial en cuanto a la cantidad de agua continental y el tercer lugar en América Latina, solo por detrás de Brasil y Colombia. No obstante, la distribución de este recurso dentro del país es muy desigual, el 97% del agua continental se concentra en la Región Hidrográfica Amazónica, donde reside solo el 31% de la población. En contraste, el 65% de los habitantes y la mayoría de los sectores económicos se concentran en la Región Hidrográfica del Pacífico, que cuenta únicamente con el 1,77% del agua continental de Perú.

En este contexto, la ciudad de Lima, ubicada en la Región Hidrográfica del Pacífico, enfrenta una creciente presión sobre sus limitadas fuentes de agua, especialmente debido al notable aumento como resultado del crecimiento poblacional de los últimos 25 años (+51,8%). En 2018, el consumo promedio por habitante fue de alrededor de 163 litros de agua por día, lo que excede notablemente los 100 litros por persona al día sugeridos por la Organización Mundial de la Salud. (OCDE, 2021)

Uno de los distritos que refleja esta problemática es Puente Piedra, situado en la parte baja de la cuenca del río Chillón, con una superficie de 309 km<sup>2</sup> y una población cercana a los 353 mil habitantes, ya que presenta notables deficiencias en cobertura de servicios: hasta el último censo de 2019, el 22 % de las viviendas no contaban con conexión a redes de agua potable ni alcantarillado (Autoridad Nacional del Agua, 2019). Además, el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL, 2020) reportó que el consumo promedio de agua por vivienda en Puente Piedra era de 13 m<sup>3</sup> mensuales, por debajo del promedio de Lima Metropolitana (~15 m<sup>3</sup>), lo cual sugiere un acceso limitado al recurso, con tendencia a

agravarse frente a la expansión demográfica. Por lo que este distrito resulta representativo para contextualizar la generación de efluentes domésticos provenientes del lavado de ropa y los niveles de detergentes presentes en ellos, los cuales sirvieron como referencia para el análisis realizado en esta investigación.

En el estudio "Crisis de Agua" de la institución Aquafondo, los expertos ya han advertido que la situación está lejos de mejorar. Han pronosticado que en los próximos 10 a 15 años, en general, Lima Metropolitana enfrentará un panorama hídrico sombrío, con una preocupante reducción del 30% en la accesibilidad y suministro de agua (Infobae, 2022), lo que incrementa la vulnerabilidad de distritos periféricos, donde la presión sobre el recurso hídrico se ve intensificada por el crecimiento poblacional y el uso doméstico diario.

En 2023, el Ministerio del Ambiente informó que entre las actividades que más consumen agua están: tomar una ducha (100 litros en cinco minutos), dejar un caño abierto (20 litros por minuto) y lavar ropa en una lavadora (60 litros por carga) (Espíritu, 2023). Sin embargo, el de Ripley (s.f.) señaló que la marca LG es la más vendida; de acuerdo con la página oficial de LG Electronics (s.f.), uno de los modelos más básicos WT13BVTB consume 143 litros por carga, lo que sugiere que las cifras oficiales podrían subestimar el consumo real de agua en esta actividad.

Estos volúmenes significativos de agua, una vez utilizados, se convierten en efluentes domésticos que son descargados directamente en el sistema de alcantarillado, sin posibilidad de reutilización debido a su alto contenido de detergentes y turbidez, lo que los hace inadecuados incluso para el riego no restringido de áreas verdes y plantas ornamentales. De acuerdo con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (2017), categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, el valor máximo permitido para detergentes tipo SAAM es de 0,2 mg/l, concentración que suele ser ampliamente superada por los efluentes domésticos provenientes de lavadoras.

Es relevante considerar que los detergentes están compuestos principalmente por agentes tensioactivos, que actúan alterando la tensión superficial y reduciendo la fuerza que mantiene la suciedad adherida a las superficies. Además, incluyen fosfatos que ablandan el agua, facilitando la floculación y emulsión de las partículas de suciedad, junto con otros componentes como solubilizantes, blanqueadores, bactericidas, perfumes y abrillantadores ópticos, entre otros. (Sánchez, 2018)

La presencia de detergentes en el entorno puede causar diversos efectos negativos, como la inhibición de bacterias, hongos y otros organismos que forman parte del ecosistema del suelo. Además, la intoxicación por detergentes, que puede producirse a través del consumo o el contacto dérmico, presenta síntomas que varían según la constitución del organismo, pudiendo incluir problemas gastrointestinales, dificultades respiratorias, quemaduras en la piel e irritación. Es crucial considerar que la exposición de suelos agrícolas a estos compuestos puede modificar su actividad biológica, impactando directamente tanto la calidad del suelo como el ciclo de nutrientes. (Jurado et al., 2020)

Los detergentes provocan además otros efectos negativos en el medio ambiente como el enriquecimiento de nutrientes (eutrofización), que es el resultado de las altas concentraciones de fósforo provenientes del tripolifosfato de sodio, el cual es el principal ingrediente en la composición de estos productos. (Jurado et al., 2020)

Dado que la demanda de agua para actividades domésticas, como el uso de lavadoras, sigue en aumento, es esencial considerar esquemas que faciliten la reutilización de los efluentes generados por lavadoras domésticas. De esta manera, el agua tratada de estos efluentes, aunque de menor calidad, podría ser utilizada en otras actividades domésticas, como el trapeado de pisos o el riego de jardines y plantas ornamentales. (Sánchez, 2018)

Los carbones activados, por las propiedades que poseen, son sustancias auxiliares para muchos tratamientos (Manosalva, 2016) esto debido a su alta reactividad química, derivada de la variedad de grupos funcionales en su superficie, y a su estructura extremadamente porosa.

Así también, se debe indicar que el uso de coronas de piña (*Ananas comosus*) como material base para la activación de este tipo de carbón es una opción económica, ecológica y viable, puesto que las coronas muchas veces solo son gestionadas como desperdicio y no son reaprovechadas como materia prima para otros productos.

Por lo mencionado, es necesario evaluar la capacidad del carbón activado (*Ananas comosus*), en la remoción de detergentes (SAAM) de un efluente doméstico tipo, como el efluente de una lavadora, así esta investigación podrá ser tomada como punto de referencia en futuras investigaciones.

### **1.1.2 Formulación del problema**

#### **1.1.2.1. Problema general.**

¿Cuál es la capacidad de remoción del carbón activado (*Ananas comosus*), sobre detergentes (SAAM) de un efluente de doméstico tipo?

#### **1.1.2.2. Problemas específicos.**

- ¿Cuáles son las características de densidad aparente e índice de metileno del carbón activado (*Ananas comosus*) producido con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  en concentraciones del 25% y 50%?
- ¿Cuál es la concentración residual de detergentes (SAAM) tras el tratamiento de un efluente doméstico tipo con carbón activado (*Ananas comosus*) producido con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  en concentraciones del 25% y 50%?
- ¿Cómo se compara la eficiencia de remoción de detergentes (SAAM) tras el tratamiento de un efluente doméstico tipo con carbón activado (*Ananas comosus*) producido con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  en concentraciones del 25% y 50%?

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Nacionales

Un primer trabajo corresponde a Dorregaray y Arhuis (2018), quienes realizaron la tesis “Aplicación de adsorbentes de carbón preparados desde las cáscaras de la fruta piña (*Ananas comosus*) para remover metales pesados ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) desde soluciones acuosas”; el objetivo de este estudio fue utilizar carbones activados preparados con el precursor de cáscaras de piña para eliminar cadmio y plomo de soluciones acuosas. Por lo cual se sometió al precursor a diferentes temperaturas de pirólisis (400 °C, 500 °C y 600 °C) en distintas atmósferas inertes: nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), denominado CN (Carbón activado en ambiente inerte con  $\text{N}_2$ ), y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), denominado CC (Carbón activado en ambiente inerte con  $\text{CO}_2$ ). Los carbones producidos fueron etiquetados como CC400, CN400, CC500, CN500, CC600 y CN600, logrando los mejores rendimientos en CN400 (32,76 %) y CC400 (30,45 %). De esta investigación se analizó cómo influye la cantidad de adsorbente, el tiempo de contacto entre el sólido o material adsorbente, y el líquido, así como el pH afecta la adsorción de los metales. Se identificó así, que las mejores condiciones para el proceso de adsorción fueron: 200 mg de adsorbente, 3 horas de contacto y un pH natural. Bajo estas condiciones, se logró reducir el 98,64% de cadmio utilizando el carbón CC600, al mismo tiempo que el carbón CN600 adsorbió el 87,64% de plomo en las muestras.

Una segunda investigación corresponde a Díaz y Quispe (2021) con su tesis titulada "Determinación de la eficiencia de un filtro lento para tratamiento de aguas grises de lavadora y su reutilización en riego y fines domésticos", cuyo objetivo principal fue evaluar la eficacia de un filtro lento para tratar aguas grises generadas por lavadoras en viviendas, con el propósito de reutilizar el agua tratada en actividades de riego y uso doméstico. La metodología incluyó el diseño de un tanque filtrante con una capacidad de 60 litros, compuesto por capas en el siguiente orden y altura: grava para cubrir el drenaje (100 mm), carbón activado con partículas

de 0,1 a 1 mm de diámetro (50 mm), arena fina (50 mm), arena gruesa (50 mm) y grava (50 mm); el efluente de la lavadora doméstica se almacenó inicialmente en un tanque de agua gris; posteriormente, el flujo generado por la lavadora impulsó el agua hacia el filtro. El agua filtrada se almacenó en un tercer tanque para su reutilización; durante cuatro semanas, se recolectaron muestras antes y después del tratamiento para evaluar los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO y detergentes (SAAM). De los resultados, se observó la mayor remoción de detergentes (99,5%) durante la primera semana, aunque esta disminuyó en las semanas siguientes. Por otro lado, la remoción más alta de DQO (98,76%) se logró en la cuarta semana, mientras que el DBO<sub>5</sub> alcanzó su pico de remoción (99,36%) en la segunda semana; en cuanto a los valores obtenidos respecto al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua Categoría 3, destinada a riego de vegetales y bebida de animales, el agua tratada cumplió con los límites establecidos; además, se verificó una reducción en el consumo de agua potable en la vivienda donde se implementó el filtro, medido en m<sup>3</sup>. En conclusión, el filtro lento diseñado demostró ser eficiente para tratar aguas grises provenientes de lavadoras, permitiendo su reutilización segura y contribuyendo al ahorro en el consumo de agua potable.

Un tercer trabajo corresponde a Leiva y Ramírez (2020) con su investigación titulada "Efecto de la dosificación de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y peso del carbón activado de residuos de *Ananas comosus* en la adsorción de cadmio en la quebrada Colorada - Huamachuco, 2019". El objetivo principal fue evaluar cómo influye la dosificación del ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) como agente activador y el peso del carbón activado en la adsorción de cadmio presente en las aguas de la quebrada Colorada. La metodología consistió en la preparación de carbón activado a partir de cáscaras de piña (*Ananas comosus*). Las cáscaras secas se impregnaron con el agente activante en proporciones de 2, 4 y 6 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> por gramo de precursor durante 4 horas. Posteriormente, la mezcla se calentó en una estufa a 250°C durante 24 horas, se lavó con agua destilada y se secó nuevamente a 40°C por 24 horas. El material obtenido se tamizó para alcanzar un tamaño



de partícula de 0,15 mm mediante un tamiz N° 100. Para el proceso de adsorción, se utilizó el método de test de jarras, a las muestras de la quebrada se les adicionó 0,5 y 1,0 g de carbón activado en 1000 ml de muestra. Estas fueron agitadas a 300 rpm durante 180 minutos. En cuanto a los resultados, se observó que el peso de 1,0 g de carbón activado produjo un mayor porcentaje de remoción de cadmio en comparación con 0,5 g. Entre las dosis de ácido fosfórico utilizadas, el carbón activado con 4 ml de  $H_3PO_4$  por gramo de precursor mostró la mayor eficiencia de adsorción, alcanzando un 98,73%, seguido por el de 2 ml con un 81,1%. Sin embargo, el carbón activado con 6 ml de agente activador presentó la menor capacidad de adsorción, lo que sugiere que una mayor dosificación de  $H_3PO_4$  puede afectar negativamente el proceso. En conclusión, se determinó que la mejor combinación para la adsorción de cadmio en las aguas de la quebrada Colorada es una dosis de 4 ml de ácido fosfórico por gramo de carbón activado y un peso de 1 gramo de carbón activado en la muestra.

Un cuarto estudio corresponde al realizado por Chau y Vásquez (2020), que se titula "Utilización del carbón activado a partir del bambú (*Guadua angustifolia Kunth*) para captar arsénico de las aguas subterráneas en el distrito de Pacora". Su objetivo principal fue evaluar el uso del carbón activado derivado del bambú para la eliminación de arsénico en aguas subterráneas de la zona. Para ello, se analizaron diversas variables en la preparación del carbón activado y su influencia en sus propiedades finales. Los factores estudiados incluyeron: temperatura de carbonización (500 y 700°C), tiempo de activación (60 y 90 minutos) y concentración del agente activante, en este caso ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 25% y 50%. Asimismo, se consideraron dos tipos de carbón activado: granular y en polvo. El proceso de captación de arsénico comenzó con su identificación a través de un test específico. Los resultados mostraron que las muestras con mayor capacidad de remoción correspondieron al carbón activado en polvo, con una concentración de activante del 50%, una temperatura de carbonización de 700°C y tiempos de activación de 60 y 90 minutos. Esto se atribuyó a su alta

porosidad, característica de los carbones microporosos, cuya estructura se puede inferir de manera indirecta a través del grado de activación, determinado por las pérdidas en la combustión.

Un quinto trabajo de investigación considerado fue el realizado por Jiménez y Rodríguez (2023), titulado "Aplicación de residuos de *Ananas comosus* y su efecto en la remoción de plomo en soluciones acuosas sintéticas". Su objetivo fue evaluar cómo la dosis, el tiempo y la velocidad de agitación del biosorbente elaborado a partir de cáscaras y coronas de piña deshidratadas influían en la remoción de plomo en soluciones acuosas sintéticas. Para ello, se recolectaron cáscaras y coronas de piña, las cuales fueron lavadas con agua destilada para eliminar impurezas. Luego, se cortaron en fragmentos de 3 cm x 3 cm y se deshidrataron a 35 °C durante 72 horas hasta obtener una textura dura que facilitara la molienda y la generación de gránulos sueltos. Posteriormente, se molieron en un molino de cuchillas y se tamizaron con una malla de 0,25 mm. La solución sintética se preparó pesando 0,0183 g de  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  con una pureza del 99 %, los cuales fueron disueltos en un litro de agua destilada para obtener la solución madre. Durante la fase experimental, se variaron la dosis de biosorbente (1, 2 y 3 gramos), la velocidad de agitación (200, 600 y 1000 rpm) y el tiempo de contacto (10, 15 y 30 minutos). Tras la agitación, cada muestra fue filtrada utilizando un matraz Kitasato, un embudo Büchner, papel filtro N°4 de 125 mm y una bomba de vacío. Una vez finalizados los procesos de pesado, agitación y filtración, las muestras fueron envasadas, rotuladas y enviadas a un laboratorio externo para determinar la concentración inicial de la solución madre y la concentración final de plomo después del tratamiento. Los resultados mostraron que la biomasa tuvo un impacto directo en la remoción de plomo, alcanzando una eficiencia máxima del 41,18 % con una dosis de 3 gramos de residuos de cáscara y corona de piña, a una velocidad de 1000 rpm y un tiempo de contacto de 30 minutos.

### **1.2.2 Internacionales**

Un primer trabajo corresponde a Da Silva et al. (2021) con la investigación “Desarrollo de carbón activado a partir de desechos de coronas de piña y su uso potencial para la eliminación del azul de metileno”, que tuvo como meta presentar una opción para la creación de carbón activado (CA) a partir de residuos de corona de piña mediante activación química utilizando NaOH y pirólisis, para eliminar azul de metileno (MB). Para ello se recolectaron fibras de la corona de la piña y fueron secadas en una estufa a 80° C durante 24 horas (h), fueron molidas y se tamizaron con malla N° 35. Posteriormente, 100 g de estas fibras se impregnaron con NaOH (80 g/l) en proporción 1:1 (agente activo: fibra) a temperatura ambiente durante 24h, posteriormente se secaron a 100°C durante 24 horas; una vez seco, para el procedimiento de pirólisis se colocaron 20 g de la muestra a 400°C durante 3 h, tras enfriarse a temperatura ambiente, se secó a 100°C durante 2 h. El CA obtenido se caracterizó y se probó su capacidad de sorción de MB, sumergiendo 30 mg del CA en 100 ml de solución de MB con diferentes concentraciones (10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/l) durante 1 h bajo un sistema dinámico, el pH fue ajustado de 2 a 10 con 0,1 ml/l HCl y se dejó reposar por 24 h. Como resultado de la caracterización del CA se observó que tenía una organización heterogénea del tamaño de los poros, entre micro y mesoporos, con diámetros entre  $8,20 \pm 200 \mu\text{m}$  aproximadamente, un gran área superficial y según el modelo no lineal de Langmuir, presentó una capacidad máxima de adsorción de 292 mg/l. Se demostró también, que la mayor eficiencia de eliminación del MB del CA fue del 98,9% a 25 mg/l de concentración del MB. Concluyendo que los residuos de corona de piña son una excelente materia prima para la producción de carbón activado de buena calidad, que se puede utilizar como una alternativa limpiadora que mejora la calidad del agua y del aire y, en consecuencia, beneficia la salud y el bienestar humano, además de ser un adsorbente ecológicamente compatible.

Una segunda investigación corresponde a Mopoung y Amornsakchai (2016), con su investigación “Fibra de carbón activado microporoso a partir de fibra de hoja de piña mediante activación con  $H_3PO_4$ ” que tuvo como objetivo, crear una estructura y superficie microporosa en carbón activado a base de fibra de hoja de piña, para ello se compararon los métodos de activación: “precarbonización-agente activante”, y “agente activante -carbonización”; manipulando la variable de temperatura de carbonización entre 400 a 600°C. Se caracterizó el tamaño promedio de los poros, porcentaje de microporos y área superficial. Se recolectaron las hojas de piña y fueron cortadas en trozos de 5 a 8 mm de largo, se molieron y se secaron en horno a 105°C durante 6 horas. Se empleó como sustancia activadora al ácido fosfórico al 85%. Para el método de activación “agente activante -carbonización” se impregnó con agente activante la muestra de fibras de hoja de piña en proporción 1:1, se secó en estufa a 105°C durante 1 día, y posteriormente se carbonizaron a diferentes temperaturas: 400°C, 500°C, 600°C, con incremento progresivo a razón de 10°C por minuto hasta la temperatura objetivo, manteniéndose a esa temperatura durante 1 hora; los carbones activados resultados de este método (PALFNPAC) se secaron a temperatura ambiente, se lavaron con HCl 0,2 M, y agua caliente hasta obtener pH 7, para luego ser secadas en horno a 105°C por 1 día. Para el método “precarbonización-agente activante” las fibras de hojas de piña se precarbonizaron a 500°C con aumento gradual a una tasa de 10°C por minuto hasta la temperatura deseada, manteniéndose a esa temperatura durante 1 hora, se impregnaron con agente activante en proporción 1:1, se secaron a 105°C durante 1 día, se lavaron con HCl 0,2 M y se secaron en horno a 105°C por 1 día, con las muestras secas, pasaron a carbonización a diferentes temperaturas: 400°C, 500°C, 600°C durante 1 hora, los carbones activados resultados de este método (PALFPAC) se secaron a temperatura ambiente. Los resultados logrados demostraron que el ácido fosfórico es crucial para la creación de microporos en los materiales de carbón activado. Se concluye que el área de superficie BET, tamaño promedio de poro y porcentaje de

microporos PALFPAC tiende a ser mayor que esto se debe a que PALFNPAC, Sin embargo, el volumen de poros y el porcentaje de microporos son inversos a la misma temperatura de activación, Además, el área de superficie BET, el volumen de poros, el tamaño promedio de los poros y el porcentaje de microporos en los productos activados aumentan con el incremento de las temperaturas de activación. Cabe destacar que el proceso sin precarbonización requiere menos energía que el que incluye una etapa de precarbonización seguida de un proceso de activación.

Un tercer antecedente corresponde a Yamuna y Kamaraj (2016), quienes realizaron la investigación titulada "Carbón activado de desecho de cáscara de piña como adsorbente para la eliminación efectiva del colorante azul de metileno de una solución acuosa". Su objetivo principal fue evaluar la viabilidad de utilizar residuos de cáscara de piña (*Ananas comosus*) como precursor para producir carbón activado y determinar la eficiencia en la eliminación del colorante azul de metileno de soluciones acuosas, considerando parámetros como tiempo de contacto, dosis de adsorbente y pH. La metodología incluyó la recolección de desechos de cáscara de piña en puestos de fruta locales, que fueron cortadas en pequeños trozos y secadas al sol hasta eliminar toda la humedad. Posteriormente, se activaron químicamente utilizando ácido sulfúrico concentrado en una proporción 1:1 y se sometieron a tratamiento térmico en una mufla a 300°C durante 3 horas. Luego, el material se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro (7) y se tamizó para obtener partículas de tamaño entre 150 y 250  $\mu\text{m}$ . Se caracterizó el material evaluando su pH, conductividad y contenido de humedad, además de realizar un análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) para estudiar la textura superficial antes y después de la adsorción del azul de metileno. Las soluciones de azul de metileno se prepararon con una concentración conocida y se evaluaron espectrofotométricamente a 665 nm usando un espectrofotómetro UV-VIS. Se realizaron mezclas de 50 ml de solución de azul de metileno con 0,1 g de adsorbente, agitadas a 200 rpm

durante 1 hora. Luego, las mezclas se separaron por centrifugación y se estimó la concentración remanente del colorante. Los resultados de la caracterización del carbón activado indicaron que su densidad aparente de 0,593 g/ml permite una separación efectiva durante el tratamiento. Además, se encontró que la capacidad de intercambio iónico del adsorbente se debe a la participación de iones como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en el proceso de adsorción. El análisis del pH mostró el potencial del carbón activado para eliminar tanto especies aniónicas como catiónicas. El análisis SEM reveló una adsorción heterogénea de colorantes, destacando la presencia de múltiples capas porosas con gran capacidad para retener colorantes. En relación con el tiempo de contacto, se observó que la adsorción del azul de metileno aumentó rápidamente en un tiempo corto, pero se ralentizó gradualmente hasta alcanzar la saturación. Respecto a la dosis del adsorbente, se determinó que el porcentaje de eliminación aumentó con dosis mayores debido a la mayor disponibilidad de sitios de adsorción. Sobre el pH, se concluyó que, a valores más altos, la superficie del carbón activado se carga negativamente, favoreciendo la adsorción del colorante catiónico mediante atracciones electrostáticas. El pH de referencia se estableció en 4,32, indicando que, por debajo de este valor, la superficie está cargada positivamente y por encima, negativamente. En conclusión, el carbón activado producido a partir de cáscaras de piña es un adsorbente eficaz para la eliminación de colorantes catiónicos como el azul de metileno de las aguas residuales, demostrando su potencial para aplicaciones en tratamientos de aguas contaminadas.

Un cuarto trabajo de investigación corresponde al realizado por Yanchapaxi (2017), con el nombre "Uso de carbón vegetal activado a partir de madera residual para la utilización en filtros de la planta de tratamiento natural de aguas residuales grises en los molinos Poultier en Latacunga", cuyo objetivo principal fue implementar filtros de carbón activado para mejorar la calidad del agua gris en la planta de tratamiento de la empresa Molinos Poultier S.A. Para ello, se evaluaron muestras de agua antes y después del filtrado, analizando parámetros como

pH, demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). El carbón activado se obtuvo reciclando pallets en desuso de la empresa, evitando su disposición en el basurero municipal. Cada seis meses, se recolectaban y desmantelaban, luego se sometían a un horno pirolítico para transformarlos en carbón vegetal. Posteriormente, se uniformizaba el tamaño y se molían hasta obtener partículas uniformes de aproximadamente 3 mm, luego se activaban con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) durante dos horas y se procesaban en un horno convencional a  $500^{\circ}C$  por una hora más, con ello, se preparaba el filtro, que se construyó con varias capas en el siguiente orden, de abajo hacia arriba: una capa de grava fina ( $\sim 3$  cm), una de arena lavada de río ( $\sim 2$  cm), una de carbón activado ( $\sim 20$  cm), otra de arena lavada de río ( $\sim 2$  cm) y una última capa de grava fina ( $\sim 3$  cm), con mallas en la entrada y salida. De los resultados obtenidos, se concluyó que la implementación de filtros de carbón activado en la planta de tratamiento permitió mejorar la calidad del agua residual. Los análisis realizados en laboratorios acreditados evidenciaron mejoras en parámetros clave, como la reducción de la DBO y la DQO, así como la estabilización del pH, lo que confirma la efectividad del sistema en la optimización del tratamiento de aguas grises en la empresa de estudio.

Una quinta investigación corresponde a Cruz et al. (2023), quienes realizaron el estudio titulado "Eliminación de residuos de pesticidas en solución acuosa mediante adsorción utilizando carbón activado con cáscara de piña". El objetivo principal fue evaluar la viabilidad de utilizar cáscaras de piña (*Ananas comosus*) como un material sostenible para la preparación de carbón activado, con el propósito de desarrollar una tecnología eficiente para remediar residuos de pesticidas en los enjuagues diluidos que resultan de la limpieza de equipos de aplicación de pesticidas. Las cáscaras de piña fueron recolectadas en tiendas locales, estas se lavaron varias veces con agua potable, se cortaron manualmente en trozos de aproximadamente  $1 \times 1$  cm y se secaron en horno a  $105^{\circ}C$  durante 8 horas. Luego, se sometieron a carbonización en una mufla a  $300^{\circ}C$  durante 1 hora. Tras enfriarse y alcanzar la temperatura ambiente, el

material fue molido y activado químicamente con ácido fosfórico al 30%. La activación consistió en mezclar el material molido con el ácido en una proporción 1:1 bajo agitación constante hasta obtener una suspensión homogénea, la cual se dejó reposar durante la noche. Posteriormente, la mezcla se filtró mediante succión, y el material retenido se secó en estufa a 105°C durante 4 horas. Luego, se calcinó en una mufla a 400°C durante 1 hora para producir el carbón activado en polvo. Finalmente, este se lavó con agua destilada hirviendo hasta alcanzar un pH neutro y se secó nuevamente en horno. Para el análisis de adsorción, se preparó una solución de metomilo. En cuanto a los resultados, se observó que la activación mediante ácido fosfórico generó grietas y cavidades evidentes en la superficie externa del material. El estudio destaca que este tipo de modificaciones químicas provocan rupturas en las paredes de los poros, lo que permite la formación de grupos funcionales más ácidos, como restos carboxílicos, cetónicos e hidroxilos, aumentando así la capacidad de quimisorción de contaminantes. En relación con la remediación del enjuague de metomilo, se validó una efectividad elevada mediante análisis por HPLC, logrando reducciones significativas de los residuos, entre el 96,0 % y el 98,4 %, utilizando una relación de carbón activado de entre 0,5 % y 1,0 % p/v. En conclusión, el estudio demostró que las cáscaras de piña (*Ananas comosus*) pueden ser utilizadas con éxito como precursor sostenible para la preparación de carbón activado, siendo un adsorbente eficiente para la remediación de aguas contaminadas con pesticidas.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Evaluar la capacidad del carbón activado (*Ananas comosus*), en la remoción de detergentes (SAAM) de un efluente doméstico tipo.



### 1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Identificar las características de densidad aparente e índice de metileno del carbón activado (*Ananas comosus*) producido con  $H_3PO_4$  al 25% y 50%.
- Determinar la concentración residual de detergentes (SAAM) en el tratamiento de un efluente doméstico tipo, con carbón activado (*Ananas comosus*) producido con  $H_3PO_4$  al 25% y 50%.
- Comparar la eficiencia de la remoción de detergentes (SAAM) en el tratamiento de un efluente doméstico tipo con carbón activado (*Ananas comosus*) producido con  $H_3PO_4$  al 25% y 50%.

### 1.4 **Justificación**

Los detergentes modifican las propiedades superficiales del agua y facilitan la limpieza y el lavado. Sin embargo, pueden tener efectos negativos en el suelo cuando se vierten o infiltran en él, como alterar la estructura y porosidad del suelo, reduciendo la infiltración, la dinámica biológica y la capacidad productiva del suelo, ya que algunos tensoactivos pueden ser tóxicos para los microorganismos y organismos superiores que habitan en el suelo como bacterias, hongos, lombrices o plantas, o también aceleran la descomposición del material orgánico presente en el suelo, disminuyendo su contenido de carbono y nitrógeno, afectando la calidad y fertilidad del suelo, sin mencionar que pueden lixiviar o arrastrar contaminantes presentes en el suelo, como metales pesados, pesticidas o nutrientes, hacia las aguas subterráneas, lo que podría provocar la eutrofización, la toxicidad o el mal olor de las aguas subterráneas. Por estas razones, es importante evitar el vertido de estos al suelo o tratarlos adecuadamente antes de hacerlo.

El propósito de la presente investigación es evaluar la capacidad de los carbones activados, a partir de coronas de piña, (*Ananas comosus*), activados con diferentes concentraciones de ácido fosfórico, en la remoción de detergentes (SAAM) de un efluente

doméstico tipo, como el efluente de una lavadora, establecer cuál de los tipos de carbón activado elaborados es más eficiente. Desde una perspectiva teórica, este estudio busca profundizar en el conocimiento de las propiedades de adsorción de los residuos de la piña, aportando datos científicos sobre las condiciones óptimas de activación química o térmica para este precursor específico. Al determinar estas variables, aporta evidencia científica relevante para la línea de investigación en adsorbentes de bajo costo, permitiendo que este sea integrado en sistemas de tratamiento más complejos y fundamentando el uso de biomasa residual en la química de superficies.

Metodológicamente, la investigación establece un protocolo de evaluación comparativo que permite estandarizar la preparación del carbón activado para la remoción de agentes tensoactivos en entornos domésticos. Este enfoque permitirá validar la eficiencia del material bajo condiciones reales de uso, ofreciendo una ruta experimental replicable para el tratamiento de aguas grises. De este modo, la utilidad práctica del proyecto se manifiesta en la posibilidad de reaprovechar el efluente tratado como agua de calidad inferior para labores del hogar o riego de áreas verdes y plantas ornamentales. Esto no solo garantiza la disponibilidad de agua para usos no restringidos, sino que impacta directamente en la economía del usuario al reducir los metros cúbicos facturados por consumo de agua potable, liberando este recurso de alta calidad exclusivamente para el consumo humano.

Finalmente, el estudio posee una sólida justificación social y ambiental, al alinearse con las estrategias de mitigación ante el estrés hídrico que afecta a nuestra ciudad. Considerando que se anticipa una baja del 30% en la accesibilidad del agua en los próximos 10 a 15 años, el desarrollo de métodos de tratamiento económicos y accesibles resulta crítico para la sostenibilidad urbana. Al mismo tiempo, el uso de coronas de piña promueve la economía circular, transformando un residuo orgánico abundante en un insumo de alto valor agregado.

## 1.5 Hipótesis

### 1.5.1 Hipótesis General

H0: El carbón activado (*Ananas comosus*), no reduce significativamente la concentración de detergentes (SAAM) de un efluente doméstico tipo.

H1: El carbón activado (*Ananas comosus*), reduce significativamente la concentración de detergentes (SAAM) de un efluente doméstico tipo.

### 1.5.2 Hipótesis Específicas

- H0: No existen diferencias significativas en densidad aparente e índice de azul de metileno en los carbones activados (*Ananas comosus*) producido con  $H_3PO_4$  al 25% y 50%.

H1: Al menos una de las características (densidad aparente o índice de metileno) difiere significativamente entre carbones activados (*Ananas comosus*) producido con  $H_3PO_4$  al 25% y 50%.

- H0: Las concentraciones residuales de detergentes (SAAM) no difieren significativamente entre los tratamientos de un efluente doméstico tipo, con carbón activado (*Ananas comosus*) producido con  $H_3PO_4$  al 25% y 50%.

H1: Las concentraciones residuales de detergentes (SAAM) difieren significativamente entre los tratamientos de un efluente doméstico tipo, con carbón activado (*Ananas comosus*) producido con  $H_3PO_4$  al 25% y 50%.

- H0: La eficiencia de remoción de detergentes (SAAM) no difiere significativamente entre los carbones activados (*Ananas comosus*) producidos con  $H_3PO_4$  al 25% y al 50%.

H1: La eficiencia de remoción de detergentes (SAAM) difiere significativamente entre los carbones activados (*Ananas comosus*) producidos con  $H_3PO_4$  al 25% y al 50%.

## II MARCO TEÓRICO

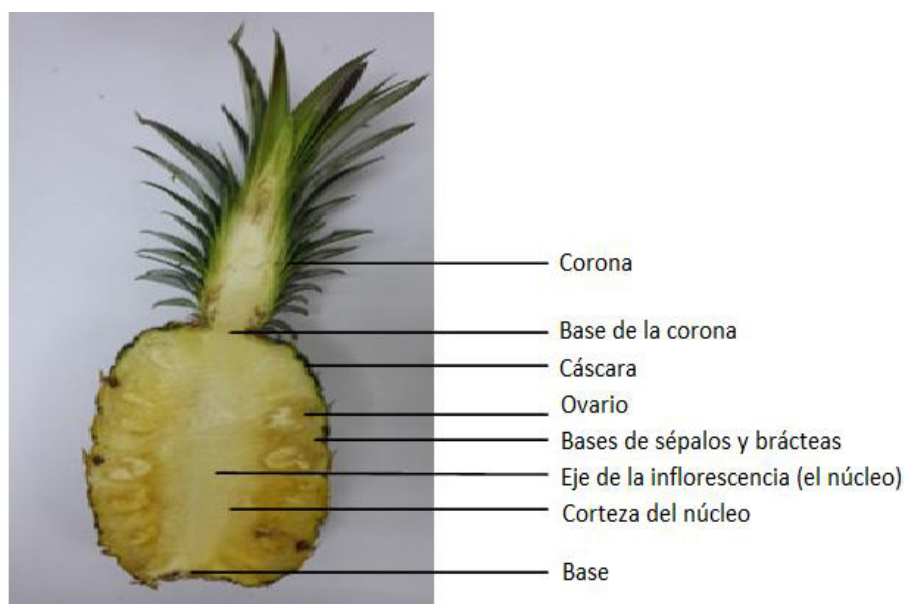
### 2.1 Características de la Piña (*Ananas comosus*)

#### 2.1.1 Generalidades

La especie *Ananas comosus*, también conocida como piña Golden, corresponde a la familia de las bromeliáceas, esta planta herbácea es una monocotiledónea de carácter perenne. Se puede describir a la piña como un fruto de tonalidad amarilla, que contiene un eje de inflorescencia o “corazón” bastante rígida y una cáscara robusta, cuenta también una corona verde compuesta por hojas delgadas con bordes ligeramente puntiagudos; es así, que se estructura comúnmente en tres partes: la pulpa, la cáscara y la corona, siendo exclusivamente la pulpa, lo único comestible. En promedio, una piña madura mide entre 20,5 cm de largo y 14,5 cm de diámetro, pudiendo llegar a pesar en promedio de 2,2 kg. (Dorregaray de la Cruz y Arhuis, 2018)

#### Figura 1

*Estructura morfológica bruta del fruto de Ananas comosus*



*Nota.* Adaptado de *Physiochemical Changes during Growth and Development of Pineapple (Ananas comosus L. Merr. cv. Sarawak)*, de D. Soloman George, Z. Razari, and C. Somasundram, 2016, Journal of Agricultural Science and Technology.

Respecto a su producción en Perú, de acuerdo con la entrevista realizada a la Dirección General Agrícola del Ministerio por Agraria (León, 2017), se estableció 24 000 hectáreas de cultivo de piña, con el objetivo de producir en promedio 50 000 piñas por hectárea. Actualmente se cultiva no solo en la selva central, sino también en Amazonas, San Martín, Madre de Dios, Cusco y el Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM), Lambayeque, en menor medida, y Puno más recientemente.

## **Figura 2**

*Cosecha de piña Golden en el Valle Viejo de Olmos, en Lambayeque*



*Nota.* Adaptado de *Cosecha de piña Golden genera expectativa entre los agricultores de Olmos* de Agencia Andina, 2019.

### **2.1.2 Corona**

Para la obtención del jugo de este fruto, se retira en primer lugar la corona, que es desechada como residuo, mientras que la cáscara y el bagazo resultante son vendidos por paquetes, para alimento de animales, este fue el procedimiento observado en el mercado de Huamantanga, Puente Piedra.

Industrialmente, los subproductos de la fruta que se generan durante el procesamiento (cáscara, corazón, tallo y corona), que representan aproximadamente el 50% del peso total de

la piña, se utilizan principalmente en la nutrición animal y en el sector farmacéutico. Los residuos de la piña se distribuyen en un 29-40% de cáscara, 9-10% de corazón, 2-6% de tallo y 2-4% de corona. (Santos et al., 2021)

La corona es muy útil como esqueje para la reproducción de la planta, para hacerlo, se debe cortar la corona, quitar las hojas inferiores y dejar que las raíces crezcan en agua por dos semanas, luego se debe plantar la corona en una maceta con tierra y regarla con frecuencia, tardará entre 18 y 36 meses en crecer y madurar, y la cosecha puede tardar de 2 a 3 años. (Acosta, 2021)

Generalmente, las hojas de la corona de piña se componen de 79-83% celulosa, 19% hemicelulosa y 5-15% lignina, y por ello se ha utilizado recientemente como ingrediente en la producción de textiles, papel y como refuerzo en polímeros (Fitriani, 2019). La corona de la piña es una fuente rica de enzimas, ácidos orgánicos, carotenoides, flavonoides y otros compuestos fenólicos. Además, investigaciones señalan que la corona de la piña tiene una proporción de agua del 90%, un porcentaje de cenizas del 1,5%, un nivel de proteínas del 1,2% y un contenido de fibra cruda del 3,5%, contiene una cantidad significativa de ácido ascórbico (vitamina C), ácido málico, ácido cítrico, ácido succínico y otros ácidos orgánicos (Joy y Anjana, 2015). También contiene enzimas como la bromelina, la peroxidasa, la fosfatasa ácida y la glucosidasa. Otras investigaciones señalan incluso que la bromelina se ha utilizado en la fabricación de carbón activado para mejorar la porosidad y el poder de adsorción del carbón, al aumentar la superficie disponible y el volumen de poros del carbón, y esta se concentra en mayor cantidad en el tallo y la corona de la fruta de piña. (Mohammed et al., 2015)

## **2.2 Gestión de Residuos**

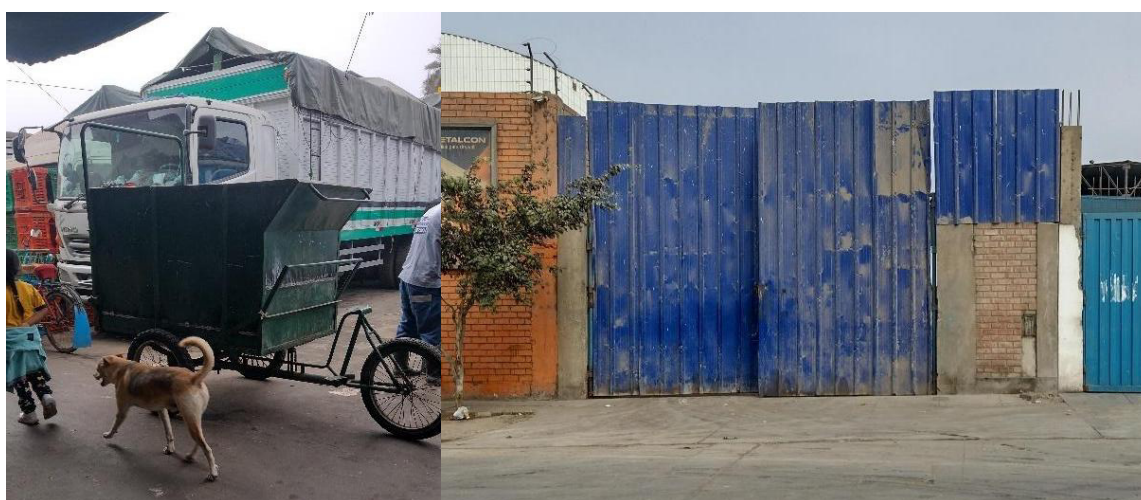
La fuente originadora principal de residuos de corona de piña es el punto de venta directo al consumidor final, esto debido a que muchos clientes del mercado Huamantanga, por

dar un ejemplo, solicitan que se corte la corona al momento de la compra del fruto. Estos son almacenados, hasta la visita del recolector de residuos sólidos del mismo mercado.

Se ha de tener en cuenta, sobre la extracción del zumo o “comida” de esta fruta que, primero sacan la corona, cortan la cáscara, trozan el fruto y separan el corazón del fruto. De estos residuos, solo las cáscaras y el corazón son vendidas a un precio mínimo, quedando las coronas de hojas sin ser aprovechadas por los vendedores, ya que como se mencionó, estas coronas se entregan directamente a los recolectores de residuos sólidos de los mercados y se dirigen a un relleno sanitario, incrementando los costos en la gestión de los residuos sólidos.

### Figura 3

*Recolección de residuos sólidos por triciclos, y almacén central de residuos del mercado Huamantanga.*



Si se da el caso de que estos residuos no fueran dispuestos en rellenos sanitarios y que, por el contrario, terminen en botaderos informales, al contener carbohidratos, los microorganismos del suelo darán inicio a la degradación de estos, lo que dará lugar a la generación de lixiviados que podrían penetrar en el suelo y alterar la calidad de los acuíferos. Además, si la descomposición es llevada a cabo por bacterias que no requieren oxígeno, se pueden liberar olores desagradables debido a gases como el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). (Urrutia, 2020)

## 2.3 Adsorción

### 2.3.1 Generalidades

La adsorción es un fenómeno en el que los átomos en la superficie de un sólido atraen y retienen moléculas de otros compuestos. En este proceso, la sustancia que se adhiere a la superficie es denominada adsorbato, mientras que el material sólido que la retiene se conoce como adsorbente. De forma estándar la adsorción se ha definido como el enriquecimiento (adsorción positiva o simplemente adsorción) o agotamiento (adsorción negativa) de uno o más componentes en una interfase o una capa interfacial. (International Union of Pure and Applied Chemistry, s.f.)

En consecuencia, dado que es un proceso que sucede en la superficie, cuanto mayor sea el área superficial disponible de un sólido (además de cierto grado de porosidad) mejor adsorbente podrá ser. (Díaz et al., 2021)

La adsorción puede ser física (fisisorción) o química (quimisorción), según la naturaleza del comportamiento de las fuerzas que actúan entre el adsorbato y el adsorbente. La fisisorción es el resultado de fuerzas atractivas (fuerzas de Van der Waals) que existen entre las moléculas del adsorbente y el adsorbato. Es decir, el adsorbato y el adsorbente mantienen su identidad, lo que hace que la fisisorción sea reversible. En este proceso el calor de adsorción es leve, por lo general, suele ser inferior a 83 kJ/mol. La quimisorción proporciona una interacción más fuerte, que implica la transferencia o el intercambio de electrones entre las especies adsorbidas y el adsorbente y ocurre únicamente en áreas específicas del sólido (centros activos) y generalmente es un proceso no reversible. Los calores de adsorción son comparables en magnitud a los de las reacciones químicas, oscilando entre 83 y 420 kJ/mol. (Quintero, 2024)

La adsorción es un proceso que remueve contaminantes emergentes de forma eficiente, mientras que métodos como coagulación-floculación, microfiltración y ultrafiltración, son costosos y generalmente requieren una etapa adicional en el proceso para la remoción de estos.



Es así, que la adsorción tiene como ventaja que es económicamente más viable que otros tratamientos, es una de las tecnologías más usadas por su diseño simple y eficiencia energética. Adicionalmente existen varios tipos de adsorbentes, desde los más sencillos como la piedra pómez y residuos agroindustriales, hasta otros más complejos como el carbón activado o las resinas carbonáceas. (Quintero, 2024)

### **2.3.2 *Isoterma de Adsorción***

Una isoterma de adsorción se describe como la relación de balance entre la concentración del soluto en la fase líquida (mg/l) y la cantidad de soluto retenida por cada unidad de masa del adsorbente (mg/g) a una temperatura fija. (Bolívar, 2020).

Existe una variedad de modelos matemáticos para ajustar los datos de las isotermas, siendo los modelos de dos y tres parámetros los de mayor aplicación. Los principales modelos de dos parámetros son Langmuir, Freundlich, Dubinin–Radushkevich, Flory–Huggins, Hill, y Temkin; y los de tres parámetros son Redlich–Peterson, Toth, Sips, Khan, Radke–Prausnitz y Koble–Corrigan. (Quintero, 2024)

El modelo de Langmuir se fundamenta en las suposiciones:

- Las moléculas se adhieren a ubicaciones específicas en el área superficial del adsorbente.
- Las moléculas adsorbidas no tienen acción mutua con las moléculas cercanas.
- La energía de adsorción no depende del grado de cobertura.
- Se muestra un equilibrio dinámico.
- Cada sitio de adsorción tiene la misma energía (homogénea).
- La superficie cuenta con una cantidad finita de sitios de adsorción.

El modelo de Freundlich se fundamenta en los siguientes supuestos:

- La superficie del adsorbente presenta heterogeneidad, lo que implica que los sitios de adsorción tienen diferentes afinidades. Inicialmente, se ocupan los sitios con mayor afinidad, y posteriormente, los de menor afinidad.
- No ocurre quimisorción, ni existe acción mutua entre las moléculas adsorbidas.
- El valor de sustancia adsorbida es el resultado de la suma de la adsorción en todos los sitios, cada uno con su propia energía de enlace.

Las isothermas de adsorción más frecuentes en la adsorción física se agrupan en seis tipos. Las isothermas de los tipos I, II y IV son las más apropiadas para aplicaciones prácticas, ya que ofrecen una alta capacidad de adsorción a bajas concentraciones. La isoterma tipo I corresponde al modelo de Langmuir y es típica de materiales microporosos. Las isothermas de los tipos II y IV están relacionadas con el modelo BET, de estas, la isoterma tipo II suele aplicarse para materiales no porosos o macroporosos, en tanto que la de tipo IV es aplicable a materiales mesoporosos. En estas últimas, se produce un ciclo de histéresis vinculado al fenómeno de condensación capilar en los mesoporos. (Ayala, 2023)

## **2.4 Carbón Activado**

### **2.4.1 Generalidades**

El carbón activado es un material sólido sin estructura cristalina definida, o amorfo, con una estructura desorganizada, compuesta principalmente por átomos de carbono y heteroátomos. Se distingue por su alta superficie interna y un elevado grado de porosidad, estas características, acompañada por la composición química de los átomos de carbono que lo conforman, le confiere la capacidad de captar y retener algunas moléculas circundantes en el medio acuoso, fenómeno conocido como “adsorción”. La efectividad de este material en los procesos de adsorción está dada principalmente de las características de la materia prima y del método de activación empleado en su elaboración. Además, su estructura química influye en la interacción con adsorbatos polares y no polares, y los procesos químicos que ocurren en su

área superficial están determinadas por la presencia de centros reactivos, irregularidades y rupturas. (García y Granillo, 2017)

El carbón activado puede presentarse en diversas formas, como polvo, gránulos irregulares, fibras o pellets, sin embargo. En todos estos casos, a pesar de que la estructura física sea diferente, el material fundamental producido es el mismo y, en consecuencia, opera bajo el mismo principio (Sevillano y Torres, 2013). A continuación, una tabla que resume las características, ventajas y desventajas de cada forma.

**Tabla 1**

*Formas de carbón activado.*

| Formas de Carbón Activado | Características                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Ventaja                                                                                                                                                                                     | Desventaja                                                                                                    |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Granular                  | - Gránulos de forma irregular.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mayor superficie de contacto con el fluido.</li> <li>✓ Más fácil de regenerar y reemplazar que C. A. en polvo.</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Mayor caída de presión.</li> </ul>                                   |
| Polvo                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Partículas que pasan a través de la malla 80.</li> <li>- 99% debe pasar por la malla 100, 95% debe pasar la 200, y 90% la malla 325 (AWWA B600-90)</li> <li>- Aproximadamente del tamaño del talco.</li> </ul>                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mayor velocidad de adsorción que el C. A. granular.</li> <li>✓ No depende de la resistencia mecánica del grano</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Mayor tendencia a dispersarse o compactarse en el filtro.</li> </ul> |
| Pelletizado               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- El C. A. se pulveriza y luego se transforma en pellets mediante un proceso de compactación o con la ayuda de agentes aglutinantes (brea, alquitranes, glucosa, etc.)</li> <li>- Suelen tener forma cilíndrica, esférica, de panal de abejas, o de figuras decorativas.</li> <li>- Muy usados para el tratamiento de aire y otros gases donde se dispone de una baja presión.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Menor caída de presión que los granulares.</li> <li>✓ No tiene partes puntiagudas que se puedan romper fácilmente durante la operación.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Alto costo de fabricación</li> </ul>                                 |

*Nota.* Adaptado de Sevillano y Torres, 2013.

Cuanto más pequeñas son las partículas de carbón, su rendimiento es considerablemente mayor, aunque esto también provoca un aumento en la caída de presión del fluido tratado. Esta mejora de la eficiencia se debe a que se reduce la distancia que debe recorrer el adsorbato para llegar al área superficial interna del carbón. Con el fin de ilustrar el impacto del tamaño de las partículas en la dinámica de adsorción, hay que tener en cuenta que un material adsorbente como este, con estructura granular, y de consumo comercial, de tamaño 12x40 (que pasa por la malla 12 pero no por la 40) generalmente adsorbe el doble de rápido que uno de tamaño 8x30. (Sevillano y Torres, 2013)

Las propiedades clave que debe poseer un carbón activado incluyen: una alta capacidad de adsorción, una distribución óptima de poros, una elevada capacidad para resistir la deformación o ruptura ante la aplicación de fuerzas o cargas externas, una elevada densidad de sitios reactivos (grupos químicos que incluyen oxígeno u otros heteroátomos) y una mínima cantidad de material inorgánico o cenizas. Además, es importante considerar otras características, como la adecuada distribución de la meso y macroporosidad, pues estas facilitan el traslado hacia los microporos de la fase que se está adsorbiendo. Así mismo, ayudan en la adsorción de partículas más grandes, que son comunes en las reacciones de adsorción en fases líquidas. La resistencia a la abrasión debe ser lo adecuadamente alta para permitir el uso prolongado de los carbones activados. (Gomez et al., 2010)

Los poros que componen la estructura porosa se categorizan de acuerdo con su tamaño, basado en los fundamentos fisicoquímicos que influyen en el mecanismo de adsorción en cada tipo de poro. Considerando una forma o distribución cilíndrica, se clasifican en: (Universidad de Alicante, s.f.)

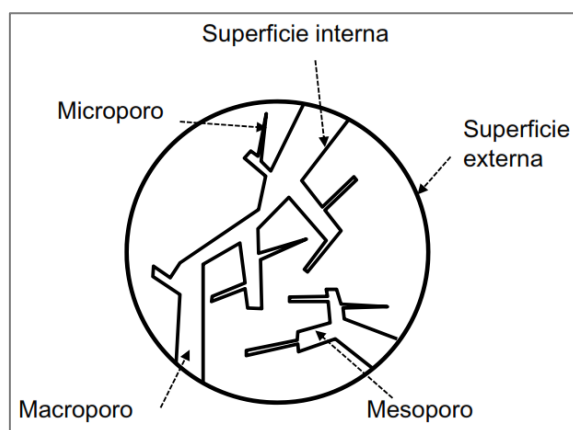
- Microporos: Poros con ancho menor a 2 nm. Aquí ocurre el proceso de adsorción.

- Mesoporos: Poros con ancho entre 2 y 50 nm. Aquí ocurre parte del proceso de adsorción y también actúa como un vehículo desde los macroporos hacia los microporos.
- Macroporos: Poros cuyo ancho supera los 50 nm.

Cuando los poros tienen un ancho por debajo de 0,7 nm se conocen como submicroporos. (Gomez et al., 2010)

#### Figura 4

*Representación esquemática de la estructura porosa de carbones activados.*



*Nota.* Adaptado de *Carbón activado de cuesco de palma*, de A. Gómez, W. Klose y S. Rincón, 2010, Kassel University.

#### 2.4.2 Métodos de Activación

Con el objetivo de producir carbón activado, se somete la materia prima o precursora a diferentes tratamientos de activación, esto con el fin de aumentar su superficie y porosidad, una primera fase corresponde a la carbonización o descomposición térmica del material base y una segunda a la activación del producto carbonizado. Este procedimiento de “activación” del producto carbonizado se basa en potenciar la estructura porosa anteriormente creada mediante la incorporación de agentes oxidantes; esta adición de agentes puede clasificarse en activación física o llamada también térmica, y química. (García y Granillo, 2017)

**2.4.2.1. Activación Física o Térmica.** La técnica de activación física o térmica se lleva a cabo en dos etapas:

Primera etapa – Pirólisis o carbonización: A través de la descomposición térmica del material inicial o materia prima se obtiene el carbonizado, que como resultado tendrá una estructura porosa poco refinada, con un potencial de adsorción bastante reducida.

Segunda etapa – Activación: El producto de la etapa anterior se expone al efecto de gases que impulsan esta etapa, tales como oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua, entre otros. Tal procedimiento se realiza a altas temperaturas, que oscilan entre 800 y 1000 °C; lo que, en consecuencia, consigue un material resultante con una estructura porosa altamente desarrollada y excelentes características de adsorción, que son fundamentales para su amplia y diversa aplicación.

La estructura del material base (en este caso, el carbón) se descompone como resultado de la ruptura de los enlaces más débiles (como los puentes de metileno entre anillos aromáticos, éteres, tioéteres, etc.), lo que genera una gran cantidad de radicales muy reactivos. Algunos de estos radicales se vuelven estables a través de la incorporación del hidrógeno, formando compuestos volátiles; otros pueden participar en procesos de condensación y polimerización, resultando en un material residual carbonizado. El mencionado remanente presenta un mayor contenido de carbono y anillos aromáticos en contraste con el material base inicial.

En otro aspecto, los gases producidos podrían experimentar procesos secundarios en etapa gaseosa a causa de la temperatura, las que casi no inciden en la estructura del carbón obtenido. En esta etapa, el carbonizado muestra formaciones cristalográficas parcialmente organizadas, llamadas cristales gráficos elementales. Dichos cristales se congregan irregularmente, dejando espacios extremadamente angostos entre estos, que conjuntamente suelen estar obstruidos por el residuo producido por el craqueo de alquitranes al salir de la partícula.

Después de la carbonización, el carbón presenta una estructura porosa débilmente desarrollada. Por lo que, si no se lleva a cabo la etapa de activación subsiguiente, no podría funcionar como un material adsorbente. Este método de activación implica manipular el material en presencia de gases a altas temperaturas. Durante este procedimiento, el carbono presente en la estructura carbonosa interactúa con el agente oxidante, generando óxidos de carbono. (García y Granillo, 2017)

**2.4.2.2. Activación Química.** La técnica de activación química se realiza solo una etapa: al aplicar calor, en un ambiente inerte, en combinación del agente activador y la materia prima. Los compuestos más utilizados son el ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), cloruro de zinc ( $\text{ZnCl}_2$ ), ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); asimismo, se han empleado sulfuros y tiocianatos de potasio, así como magnesio y cloruros de calcio, hidróxidos de metales alcalinos, entre otros, teniendo en cuenta siempre el material original y el volumen de poros deseado. Además, es importante tener en cuenta que los principales parámetros que regulan el método de activación química y el producto final son: la temperatura de activación, el tiempo de contacto y la proporción de impregnación.

De acuerdo con estudios, el ácido fosfórico ejerce una acción deshidratante que se acentúa con el aumento de su concentración. De este modo, cuando el  $\text{H}_3\text{PO}_4$  interactúa con el precursor, hidroliza los enlaces glicosídicos de los biopolímeros (como la celulosa, hemicelulosa y lignina), agilizando la deshidratación y descomposición del material tratado, y promoviendo reacciones de condensación aromática entre las moléculas contiguas, lo que resulta en la liberación de productos volátiles gaseosos. (García y Granillo, 2017)

### **2.4.3 Características**

**2.4.3.1. pH.** La acidez o alcalinidad de un carbón activado depende tanto del material base original empleado, como del proceso de activación utilizado. Además, su valor del pH tiene influencia en las características de adsorción que este tendrá. El pH del carbón activado

también puede alterar el pH del agua que pasa por él, haciéndola más ácida o básica, dependiendo del tipo de carbón activado que se use. (Moksa, s.f.)

Por ejemplo, cuando un carbón es activado con ácido fosfórico, el producto resultante del proceso de obtención contiene fosfatos, los cuales se disuelven en agua formando ácidos, lo que disminuye el pH. En un caso diferente, un carbón activado a partir de concha de coco, pese a activarse únicamente con vapor de agua y sin reactivos químicos, contendría sodio y potasio tales como óxidos originados del material base original; estos, al diluirse en agua, forman hidróxidos que elevan el pH de la solución. (Sevillano y Torres, 2013)

Es importante considerar que, si el pH de la solución acuosa coincide con el del agua destinada al tratamiento, no se produce ningún cambio en esta última. Sin embargo, si el pH difiere, solo se verá alterado en los primeros litros procesados. Para ciertas aplicaciones donde este cambio es indeseable, algunos fabricantes ofrecen carbones con un pH que coincide más estrechamente con el del líquido que se va a procesar.

El pH del carbón activado se puede medir usando un medidor de pH o un indicador universal, como el papel tornasol. (Moksa, s.f.)

**2.4.3.2. Densidad Aparente.** La densidad aparente hace referencia a la masa del carbón seco en gramos por centímetro cúbico en aire ( $\text{g/cm}^3$ ). Esto significa que considera tanto el volumen de los poros como el espacio entre las partículas de carbón. Este valor varía según el tipo de material, el proceso de activación, así como la forma, el tamaño y la compactación de las partículas. Es fundamental para calcular el volumen del lecho requerido para un peso específico de carbón activado granular y también influye en el flujo de agua requerido para un efectivo retro lavado del carbón. (Sevillano y Torres, 2013)

**2.4.3.3. Número de Yodo.** El número de yodo es un indicador del área superficial de un carbón activado, debido a que el yodo se adhiere con gran facilidad en una capa mono molecular. Su dimensión le facilita penetrar incluso en los poros de menor tamaño donde ocurre



la adsorción. Por ello, el nivel de yodo retenido guarda una relación directa con el área del carbón. Expresado en mg/g (miligramos de yodo adsorbidos por gramo de carbón), esta cantidad numérica es similar al área superficial resultante de aplicar el método BET de adsorción de N<sub>2</sub>, que se mide en m<sup>2</sup>/g. Además, el número de yodo se reduce en función del nivel de saturación del carbón activado. Generalmente, se sugiere reemplazar el carbón una vez que su número de yodo desciende al 50% de su nivel inicial, lo que hace de este indicador una herramienta útil para calcular el tiempo de vida útil que le queda al carbón en operación. (Sevillano y Torres, 2013)

**2.4.3.4. Índice Azul de Metileno.** El índice de azul de metileno hace referencia a la habilidad de adsorción de moléculas cuyo tamaño se asemeja al de las del azul de metileno (moléculas grandes). Este indicador proporciona información sobre la estructura de mesoporos del carbón activado y se utiliza con el fin de evaluar su efectividad en la adsorción de moléculas de mayor tamaño (García y Granillo, 2017), pero no refleja su capacidad para adsorber moléculas más pequeñas o con diferente polaridad. El índice de azul de metileno se expresa como la cantidad de miligramos de este colorante que son adsorbidos por cada 0,1 g de carbón activado. Este valor representa la capacidad del carbón para decolorar una solución estándar, lo que permite estimar la presencia de mesoporos en su estructura. (Tutivén, 2020)

## **2.5 Efluente Doméstico Tipo**

El proceso de lavandería implica el uso de diversos productos químicos como detergentes o surfactantes, metabisulfito de sodio, hipoclorito de sodio, almidón, sales alcalinas, entre otros. A esto se le debe sumar que algunas lavadoras emplean agua a alta temperatura (60 °C) en sus procedimientos. Esta mezcla de insumos puede provocar impactos negativos en el sistema de alcantarillado y en los cuerpos de agua receptores (como el mar, ríos, etc.) si no son previamente tratados. (Quispe, 2021)

Entre los insumos utilizados se encuentran: detergente (surfactantes o tensioactivos, y acondicionadores de agua), agentes blanqueadores (como lejía), quitamanchas (como el ácido oxálico), enzimas (que aceleran la descomposición de proteínas como las del huevo o la sangre, entre otras), suavizantes y otros productos. (Flowen, 2021)

Para la formulación de la solución preparada con características de un efluente doméstico tipo, se evaluará la concentración de detergentes (SAAM) y pH de tres lavadoras domésticas. A partir de los resultados promedio que se obtendrán, se establecerán los valores referenciales de concentración de detergentes (SAAM) para la formulación de la solución estándar.

## **2.6 Detergentes (SAAM)**

Las sustancias activas al azul de metileno son aquellos compuestos químicos capaces de efectuar un traslado del azul de metileno (compuesto orgánico, colorante catiónico) desde una solución acuosa a un líquido orgánico no mezclable, hasta alcanzar la estabilidad. Este proceso ocurre por la unión de un par iónico del anión (SAAM) con el catión azul de metileno, en el que el grado del tono azul en la fase orgánica indica la presencia de sustancias activas al azul de metileno. Considerando que los tensoactivos, sean sintéticos o naturales, presentan actividad al azul de metileno, dicho procedimiento resulta práctico, bastante sencillo y exacto para cuantificar la cantidad de surfactantes aniónicos en soluciones acuosas. (Cruz, 2022)

### **2.6.1 *Tensioactivo Aniónico.***

Los tensioactivos, conocidos también como surfactantes o agentes de actividad superficial, son moléculas de procedencia orgánica capaces de alterar las fuerzas superficiales o de atracción entre moléculas en una sustancia en fase líquida que está en contacto con una superficie sólida. Estos tensioactivos se clasifican de acuerdo con la polaridad de su porción hidrófila, pudiendo ser iónicos o no iónicos. (Noguera, 2020)

Los tensioactivos iónicos poseen alta afinidad por el agua y son capaces de transportar con ellas soluciones de cadenas de hidrocarburos a causa de la atracción electrostática hacia los dipolos presentes en el agua. En esta categoría, conforme a la polaridad que posea la parte que presenta la actividad de superficie, se agrupan en anfóteros, catiónicos y aniónicos. (Noguera, 2020)

Los tensioactivos no iónicos corresponden a los que no generan iones y se disuelven gracias a la acción conjunta de varios grupos hidrófilos débiles que favorecen la solubilidad, como los enlaces de tipo éter o grupos hidroxilo en su estructura molecular. (Noguera, 2020)

De los mencionados anteriormente (los tensioactivos iónicos), son los aniónicos el principal compuesto de los detergentes utilizados en las lavanderías, ya que estos proporcionan la carga negativa a la molécula de tensioactivo, lo que le confiere sus propiedades surfactantes y detergentes, por lo que son los más comunes en la producción de detergentes, tanto en polvo como líquidos, utilizados para el lavado de ropa y utensilios de cocina (Meneses, 2018). Los más habituales son:

- Sulfato de alquil benceno (ABS), que tiene una estructura molecular con ramificaciones y una baja biodegradabilidad.
- Lineal alquilbenceno sulfonatos (LAS), que tiene una estructura lineal, es más fácil de biodegradar, pero también considerablemente más tóxico.
- Dodecylbencensulfonato sódico (SDBS), que es parcialmente biodegradable. Su cadena alquilo lineal lo hace más biodegradable que los tensioactivos con cadenas alquilo ramificadas. Sin embargo, su anillo bencénico y el grupo sulfonato tienden a resistir la biodegradación completa, lo que puede llevar a la acumulación de subproductos en el ambiente.

### **2.6.2 Método SAAM.**

Las sustancias activas para el azul de metileno (SAAM) facilitan el paso del tinte catiónico azul de metileno desde una solución acuosa a una fase líquida orgánica que no se mezcla con el agua, hasta alcanzar la estabilidad. Este proceso sucede mediante la generación de un par iónico que vincula el anión de la SAAM con el catión del azul de metileno. El grado del tono azul durante la fase orgánica resultante es un indicador de la cantidad de SAAM. (Chacha, 2018)

El azul de metileno es un compuesto orgánico que actúa como un indicador colorimétrico en reacciones redox. En presencia de sustancias reductoras, como antioxidantes, el azul de metileno se reduce, cambiando de color azul a incoloro o decolorado. La intensidad del cambio de color está relacionada con la concentración y la actividad de los compuestos reductores contenidos en la muestra.

Este procedimiento, sencillo y relativamente exacto, consiste en realizar tres extracciones consecutivas partiendo de una fase acuosa ácida, utilizando un exceso de azul de metileno, hacia una fase orgánica de cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), para luego evaluar la intensidad del tono azul en la fase orgánica usando espectrofotometría a 652 nm. Se suele aplicar para determinar tensioactivos aniónicos en aguas superficiales y residuales, considerando la posible presencia de otras sustancias que reaccionen con el azul de metileno y limitando su aplicación a concentraciones de SAAM menores a aproximadamente 0,025 mg/l. (Chacha, 2018)

### **2.6.3 Eficiencia de remoción de detergentes**

La remoción de contaminantes en procesos de tratamiento de aguas se define como la capacidad de un sistema para reducir la carga de una sustancia específica presente en el efluente (Martínez, 2016). Esta capacidad se cuantifica mediante la eficiencia de remoción, la cual relaciona las concentraciones de entrada y salida a través de la siguiente expresión:

$$E = \frac{S_0 - S_f}{S_0} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes (%)

$S_0$ : Concentración en el Influyente en mg/l

$S_f$ : Concentración en el Efluente en mg/l

Bajo este principio, y considerando que para el análisis de detergentes se utiliza el método de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) descrito en el apartado anterior, la eficiencia de remoción específica para este parámetro se calcula empleando las concentraciones iniciales y finales de la muestra a tratar expresadas en mg SAAM/l.

#### **2.6.4 Efectos en el Ambiente**

En general, los tensioactivos sintéticos, pueden causar irritación y alergias en la piel, y aunque a la fecha la producción de tensioactivos biodegradables, que son aquellos que pueden ser descompuestos fácilmente por la actividad biológica de microorganismos, está aumentando en todo el mundo, estos al ser producidos a partir de fuentes renovables y ser una alternativa más sostenible a los tensioactivos convencionales, que suelen ser producidos a partir de petroquímicos, requieren de una mayor inversión. (Sanz, s.f.)

Sobre su impacto ambiental, la existencia de tensioactivos en el agua puede generar efectos como la formación de espuma, efectos tóxicos en microorganismos, contaminación de fuentes subterráneas, limitación del desarrollo de algas y disminución del oxígeno disuelto. Estos efectos alteran las propiedades del agua y afectan la supervivencia de organismos acuáticos. (Gioffre, 2021)

La contaminación por este tipo de aguas residuales que contienen surfactantes o tensioactivos cambia el pH del cuerpo de agua, que controla diversas reacciones químicas que son vitales para los seres vivos dentro del cuerpo de agua; este tipo de agua residual presenta

un pH alcalino que puede variar de 7 hasta alcanzar valores de 12, muy por encima del ideal que es entre 6,5 a 8,5, Este compuesto puede causar irritaciones cutáneas, y en caso de ser ingerido o inhalado, puede provocar quemaduras en las mucosas internas. También genera malos olores e incrementa la demanda química de oxígeno (DQO), lo que implica una disminución del oxígeno disuelto en el agua y, en consecuencia, la muerte de organismos que requieren de él. Los surfactantes en cuerpos de agua aumentan la población bacteriana, pero los protozoarios, que son sus depredadores, ven reducida su población debido a su sensibilidad a estas condiciones. Aunque la mayoría de los detergentes pueden degradarse en entornos aeróbicos, en ausencia de oxígeno esta descomposición es muy lenta, produciendo sustancias sumamente tóxicas y potencialmente cancerígenas. Los detergentes, en mayor o menor grado, afectan la membrana mucosa y las branquias de los peces, junto con provocar la pérdida de aceites esenciales en estas branquias, lo que impide la transferencia de oxígeno. Dicha situación facilita el daño a los peces y la proliferación de bacterias y parásitos en ellos. Solo 5 ppm de detergente en el agua pueden provocar alteraciones endocrinas y efectos estrogénicos en los peces y hasta acabar con sus huevos. (Quispe, 2021)

### III MÉTODO

#### 3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación se define, según la metodología de Hernández-Sampieri (2018), bajo un tipo de investigación de alcance explicativo. El autor señala que este tipo de estudios van más allá de la descripción de conceptos o del establecimiento de relaciones entre variables, ya que están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos, centrándose en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta. En este sentido, el trabajo es de carácter explicativo puesto que busca establecer el vínculo causal entre la variación de la concentración del agente activante ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) y la eficiencia en la remoción de detergentes (SAAM), determinando cómo la manipulación de la primera variable condiciona los resultados de la segunda.

En coherencia con este tipo de investigación, se adoptó un diseño de investigación experimental, el cual es definido por Hernández-Sampieri (2018) como aquel plan o estrategia donde se manipulan deliberadamente una o más variables independientes para observar su efecto sobre una o más variables dependientes en condiciones de control. De manera específica, el estudio corresponde a un diseño experimental puro de tipo factorial completo, dado que se realizó la manipulación intencional de la variable independiente (concentración de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 25% y 50%) para evaluar su impacto directo en la variable dependiente referida a la remoción de detergentes en un efluente doméstico. Para asegurar la validez de dicho diseño, se establecieron rigurosos controles sobre variables intervinientes tales como la temperatura y tiempo de carbonización, la relación sólido-líquido y el tiempo de contacto, conforme se detalla en las Tabla 2 y Tabla 3.

**Tabla 2***Variables operacionales*

| Factor principal                            | Variable operacional             | Unidad de medida | Niveles de manipulación |           |
|---------------------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------------|-----------|
|                                             |                                  |                  | Bajo (1)                | Medio (2) |
| Corona de piña<br>( <i>Ananas comosus</i> ) | Concentración de ácido fosfórico | Porcentaje (%)   | 25%                     | 50%       |

**Tabla 3***Diseño experimental*

| Unidad experimental | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |
|---------------------|--------------------------------|
| C1                  | 1                              |
| C2                  | 2                              |

### 3.2 Ámbito Temporal y Espacial

#### 3.2.1 Ámbito Espacial

El estudio se realizó en tres fases, la fase de campo, que abarca la recolección de la materia prima, se llevó a cabo en el mercado de Huamantanga, distrito de Puente Piedra, y la toma de muestras de efluentes de lavadoras domésticas, que fue llevada a cabo en el distrito de Puente Piedra; la fase de laboratorio se realizó en las instalaciones de la sede SL07 de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Cercado de Lima, en específico, en el laboratorio de



la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental; y finalmente, la fase de gabinete, que fue llevada a cabo en el domicilio de la investigadora, San Martín de Porres.

### 3.2.2 *Ámbito Temporal*

El proyecto de investigación tuvo inicio el mes de julio 2025 y finalizó en enero de 2026.

## 3.3 Variables

Se consideraron variables independientes y dependientes las siguientes:

**Tabla 4**

*Variables e indicadores del objetivo general*

| VARIABLES                                  |                                       | INDICADORES |  |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|--|
| Independiente:                             | Concentración de ácido fosfórico      | %           |  |
| Carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ). | Temperatura de activación             | °C          |  |
|                                            | Tiempo de activación                  | horas       |  |
| Dependiente:                               | Concentración de detergentes          | mg SAAM/l   |  |
| Remoción de detergentes                    | Porcentaje de remoción de detergentes | %           |  |
| (SAAM) de un efluente doméstico tipo.      | Capacidad de adsorción del carbón     | mg/g        |  |
|                                            | pH                                    | -           |  |

## 3.4 Población y Muestra

### 3.4.1 *Población*

Hernández-Sampieri (2018) define a la población de una investigación como el grupo completo de individuos o eventos que poseen ciertas características comunes y que constituyen el foco del estudio. Para el estudio, la población está definida por la solución preparada como efluente doméstico tipo.

### 3.4.2 Muestra

La muestra es un segmento de la población o universo del cual se obtienen los datos y que debe reflejar las características de este, si se busca que los resultados puedan generalizarse (Hernández-Sampieri, 2018). Para el estudio, la muestra será representada por las 5 alícuotas de 500 ml del efluente doméstico tipo preparado.

## 3.5 Instrumentos

### 3.5.1 Equipos y Materiales

Los equipos y materiales que se emplearon durante la investigación son:

#### 3.5.1.1. Material biológico.

- Residuos de corona de piña (*Ananas comosus*).

#### 3.5.1.2. Material químico.

- Solución de ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) al 85%
- Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) 0,1 N;
- Azul de metileno ( $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$ )
- Tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0,1 N
- Solución de yodato de potasio ( $\text{KIO}_3$ )
- Solución de almidón ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )
- Solución de ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) al 5%
- Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) 0,1 N
- Agua destilada.

#### 3.5.1.3. Material de campo.

- Recipientes limpios para recolección de efluentes
- Botellas de muestreo
- Recipientes para acopio de residuos vegetales en mercado.

**3.5.1.4. Material de laboratorio.**

- Probetas
- Pipetas
- Matraces
- Vasos precipitados
- Embudo Büchner
- Matraz Kitasato
- Papel filtro Whatman N° 40
- Cisoles de 50 ml
- Varillas de vidrio
- Mortero y pistilo
- Tamices N° 35 y N° 120.

**3.5.1.5. Equipos.**

- Horno
- Espectrofotómetro UV-Vis
- Potenciómetro
- Balanza analítica
- Sistema de vacío para filtración.

**3.5.2 Técnicas**

- Manual de bioseguridad de laboratorios-UNFV.
- Protocolo de toma de muestras
- Activación fisicoquímica de carbón activado
- Método de la probeta para la determinación de la Densidad Aparente no Compactada
- Método Espectrofotométrico para el Índice de Azul de Metileno

- Métodos estandarizados para la determinación del Índice de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM).
- Ensayo de Adsorción en Lotes

### **3.5.3 Instrumentos**

- Fichas de recolección de datos
- Cadena de custodia.

### **3.5.4 Validación y Confiabilidad del Instrumento**

**3.5.4.1. Validación del instrumento.** Para la validación de los instrumentos planteados, se revisó que estas contuvieran todas las variables necesarias para responder los objetivos del estudio, de forma clara y ordenada.

Las fichas de recolección de datos fueron diseñadas considerando las variables de investigación, considerando los procesos de preparación del carbón activado, la caracterización fisicoquímica del adsorbente, y la ejecución de las pruebas de adsorción con el efluente tipo.

Asimismo, la cadena de custodia permitió asegurar la correcta identificación, transporte y recepción de las muestras de efluente, garantizando la trazabilidad de estas desde su recolección hasta su análisis con el laboratorio externo.

**3.5.4.2. Confiabilidad del instrumento.** La confiabilidad de los instrumentos se aseguró mediante su aplicación sistemática y uniforme durante todo el proceso experimental, lo que permitió mantener consistencia en el registro de la información y minimizar posibles variaciones asociadas al manejo de los datos.

En este sentido, es importante destacar, que los análisis de determinación de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) fueron realizados por un laboratorio externo especializado, lo que permitió garantizar la confiabilidad de los resultados analíticos obtenidos, al contar con procedimientos estandarizados y controles de calidad propios del laboratorio.

De manera complementaria, el proceso experimental fue supervisado y revisado por el responsable del laboratorio, lo que respalda la consistencia y control del procedimiento desarrollado.

### 3.6 Procedimientos

#### 3.6.1 Proceso de Carbonización Activada

**3.6.1.1. Recolección de Materia Prima.** Se identificó a los comerciantes ambulantes de jugo de piña (*Ananas comosus*) y vendedores de piña (*Ananas comosus*) en el mercado de Huamantanga en el distrito de Puente Piedra, para solicitar recolectar sus residuos de esta fruta durante una jornada de trabajo, y disponer de estos como material base en la elaboración de carbón activado, que siguieron el proceso de activación fisicoquímica.

#### Figura 5

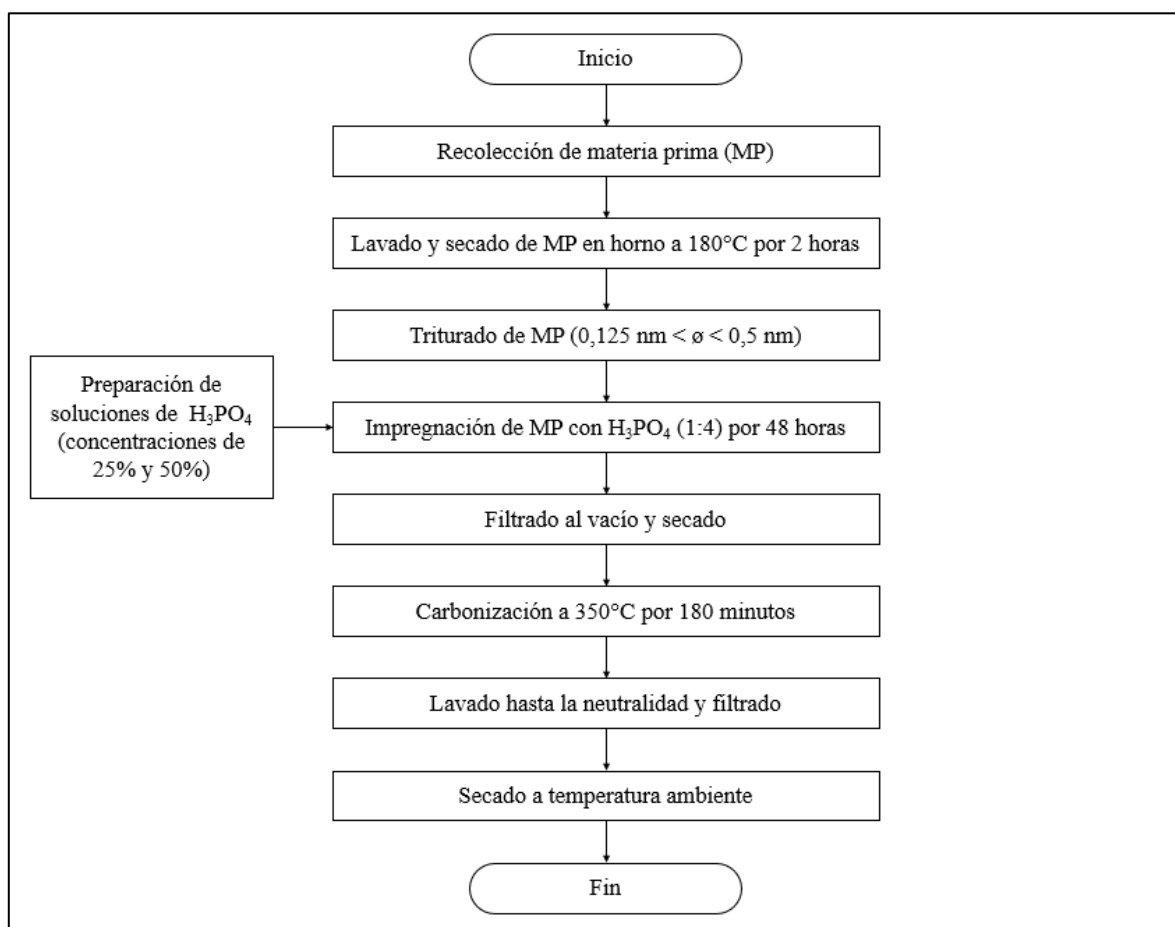
*Recolección de materia prima, Coronas de piña (*Ananas comosus*), almacenadas como residuos a disponer*



**3.6.1.2. Producción de Carbones Activados.** Se aplicó para la activación química del carbón activado, ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) a una concentración de 25% y 50%. Para ello se usó  $\text{H}_3\text{PO}_4$  con una concentración del 85%, considerándose la densidad de 1,686 g/ml a una temperatura de 25°C.

**Figura 6**

*Diagrama de flujo de producción de carbón activado.*



**A. Acondicionamiento de Materia Prima.** Los residuos de la corona de piña se consiguieron con una alta cantidad de humedad, por lo cual el material se lavó con agua destilada y se secó en el horno a 180°C durante 2 horas aproximadamente. Posteriormente se trituraron con un mortero y apoyo de una licuadora, hasta conseguir partículas con un tamaño superior a 0,5 mm, pero menores que 0,125 mm, con apoyo de los tamices con número de malla 35 y 120, respectivamente.

**Figura 7**

*Secado de materia prima*

**Figura 8**

*Trituración de materia prima con mortero*





**Figura 9**

*Tamizado de materia prima con tamices*



**B. Impregnación con Solución de Ácido Fosfórico.** El agente químico por emplear para la activación de la materia prima ya tamizada fue el ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) a una concentración de 25% y 50%. Se separaron 70 gramos del triturado en crisoles, y se impregnaron con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  en proporción de 1 (materia prima): 4 (agente activante), es decir que por cada gramo de materia prima tamizada se utilizó 4 ml de ácido. Se procedió a agitar la mezcla con una varilla de vidrio hasta lograr que esta sea completamente uniforme (Cruz et al., 2023), y se dejó reposar por 48 horas.



**Figura 10**

*Impregnación de materia prima con Ácido fosfórico al 25% y 50%*



**C. Filtrado y secado.** La mezcla sólida-líquida se filtró en un embudo Buchner con papel filtro Whatman número 40, ajustado a un matraz Kitasato, conectado al sistema de vacío. La parte sólida se trasvasó a crisoles de 50 ml para su secado.

**Figura 11**

*Filtrado de mezcla de impregnación*



**D. Carbonizado.** Los crisoles fueron llevados a la mufla para su carbonización, bajo una temperatura de 350°C, durante 180 minutos.

**Figura 12**

*Carbonización*



**E. Lavado y Filtrado.** Utilizando el sistema de filtrado al vacío y papel filtro Whatman número 40, se enjuagó las muestras (previamente activadas) con agua destilada para ajustar el pH y retirar cualquier cantidad sobrante de  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , hasta que se logró un pH cercano a la neutralidad, lo cual se verificó con un potenciómetro.

**Figura 13***Lavado y filtrado de carbones activados***Figura 14***Verificación de neutralización tras lavado de carbón activado*

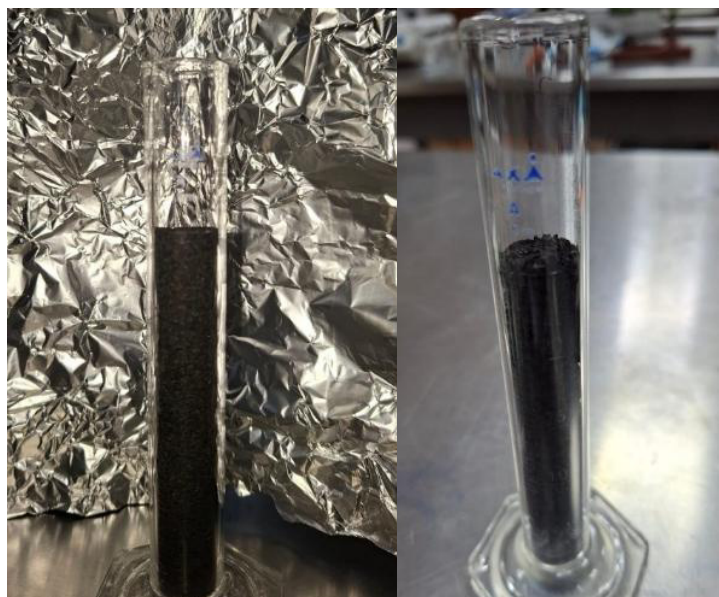
**F. Secado.** Por último, las muestras con los diferentes tratamientos se secaron en a 120°C durante cuatro horas aproximadamente.

### 3.6.2 Caracterización de Carbón Activado

**3.6.2.1. Densidad Aparente de Carbón Activado.** Con el objetivo de calcular la densidad aparente del carbón activado se empleó la técnica de la probeta, en el que se midió una cantidad de carbón activado, se colocó en un volumen específico de una probeta (25 ml) y se determinó la densidad aparente dividiendo la masa entre el volumen que ocupa el carbón activado en la probeta. (García y Granillo, 2017)

**Figura 15**

*Análisis de densidad aparente para carbones activados*



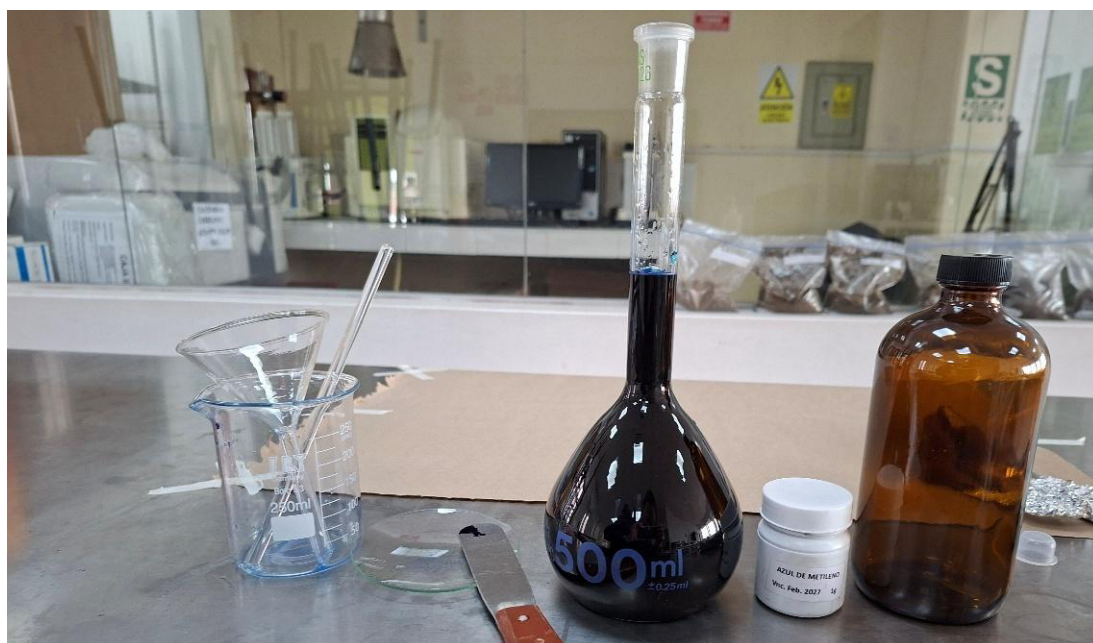
**3.6.2.2. Índice de Azul de Metileno.** Para el cálculo del índice de azul de metileno (AM), se realizó la curva de calibración de la solución de azul de metileno, esto se realizó con la preparación de soluciones de azul de metileno de 1, 2, 4, 6, 8, y 10 mg/l a partir la solución patrón (0,5 gramos de sal de cloruro de metiltionina, en 500 ml de agua destilada). (Beltrán et al., 2023)

Para la elaboración de la isoterma de adsorción se pesó 0,02 g del carbón activado en 20 ml de solución de azul de metileno a diferentes concentraciones de 100, 200, 300, 400, 500, 750 y 1000 mg/l, se agitó por 3 horas, se filtró por gravedad, y se procedió a medir la absorbancia a una longitud de onda de 664 nm en un espectrofotómetro. La prueba se realizó por duplicado. (Beltrán et al., 2023)



**Figura 16**

*Preparación de solución patrón*

**Figura 17**

*Soluciones para curva de calibración*



**Figura 18***Elaboración de isoterma de adsorción*

**3.6.2.3. Ensayo preliminar de Índice de Yodo.** El índice de yodo es un parámetro habitual para evaluar la capacidad de adsorción en microporos de un carbón activado. Inicialmente se consideró aplicar el método ASTM D4607-14, el cual se basa en la obtención de una isoterma de adsorción en tres puntos. Para este procedimiento se requieren tres masas distintas de carbón activado, que se ponen en contacto con una solución de yodo; posteriormente, las mezclas se filtran y la concentración de yodo remanente se determina por titulación, calculando la cantidad adsorbida por gramo de carbón a una concentración residual de 0,02 N. (García y Granillo, 2017)

Para obtener este índice es necesario calcular la carga de yodo ( $X/M$ ) y la concentración residual a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{X}{M} = \frac{(N_{I_2} * 126963) - (DF * N_{Na_2SO_3} * 126,93 * V_{Na_2SO_3})}{m_{carbón}} \quad (2)$$

$$DF = \frac{V_{I_2} + V_{HCl}}{V_f} \quad (3)$$

$$C = \frac{V_{Na_2SO_3} * N_{Na_2SO_3}}{V_{I_2}} \quad (4)$$

Donde:

$X/M$ : Índice de yodo (miligramos de yodo adsorbidos por cada gramo de carbón)  
(mg/g)

$N_{I_2}$ : Normalidad del yodo (N)

$N_{Na_2SO_3}$ : Normalidad del tiosulfato de sodio (N)

$V_{Na_2SO_3}$ : Volumen del tiosulfato de sodio empleado en titulación en ml.

$m_{carbón}$ : masa de la muestra de carbón activado en g.

DF: Factor de dilución.

$V_{HCl}$ : HCl al 5% usado en ml

$V_f$ : Solución filtrada en ml

$V_{I_2}$ : Volumen de la solución de yodo empleado en titulación en ml.

**Figura 19**

*Estandarización de soluciones*

**Figura 20**

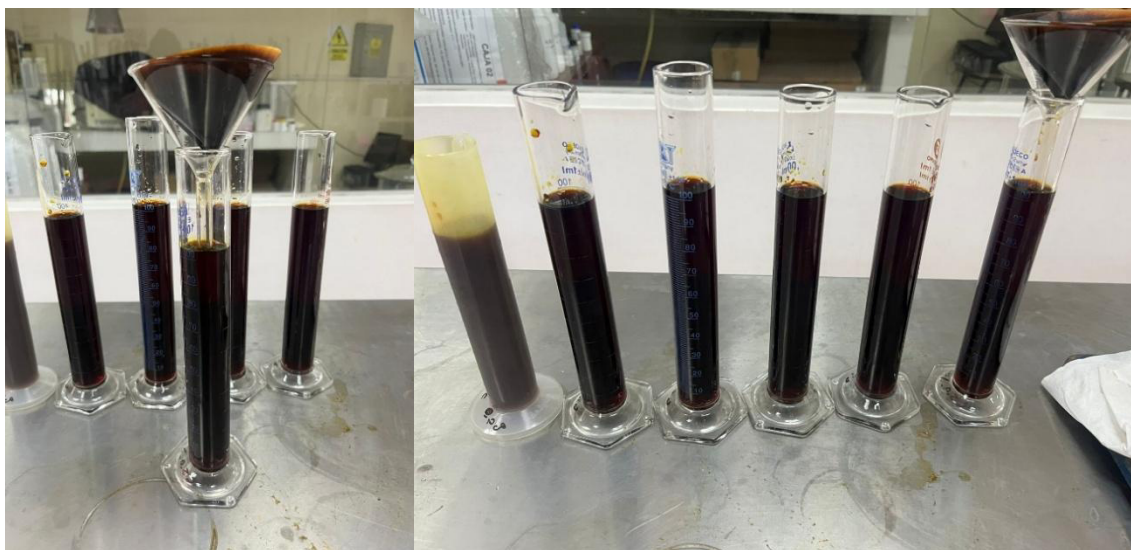
*Determinación de las tres dosis de carbón activado*





**Figura 21**

*Filtrado por gravedad*

**Figura 22**

*Titulación de cada filtrado*



En esta investigación se realizó únicamente un ensayo preliminar siguiendo las etapas iniciales del método. Sin embargo, las masas de carbón seleccionadas (0,05, 0,1 y 0,2 g) no cumplieron con las condiciones especificadas en la norma ASTM para construir adecuadamente la isoterma, lo que impidió obtener valores confiables del índice de yodo.

Debido a restricciones de disponibilidad del laboratorio, no fue posible repetir el ensayo con las condiciones correctas.

Por este motivo, el índice de yodo no se incluyó como parámetro de caracterización dentro de los objetivos específicos ni en los capítulos de resultados y discusión. No obstante, se documenta aquí el procedimiento preliminar seguido, en concordancia con las buenas prácticas de transparencia metodológica.

### **3.6.3 Efluente Doméstico Tipo**

**3.6.3.1. Determinación de concentración de detergentes (SAAM).** Para basar la concentración de detergentes (SAAM) de nuestra solución acuosa en datos reales, se recolectaron muestras de efluentes de tres lavadoras domésticas en el distrito de Puente Piedra; de cada lavadora, se obtuvieron aproximadamente 4 litros del efluente correspondiente al primer ciclo de lavado, las muestras se dejaron en reposo durante una hora para permitir la sedimentación natural de sólidos y espuma; posteriormente, se extrajo el sobrenadante para su análisis.

#### **Figura 23**

*Toma de muestras de efluentes de lavadoras domésticas, muestra 1, 2 y 3 respectivamente.*



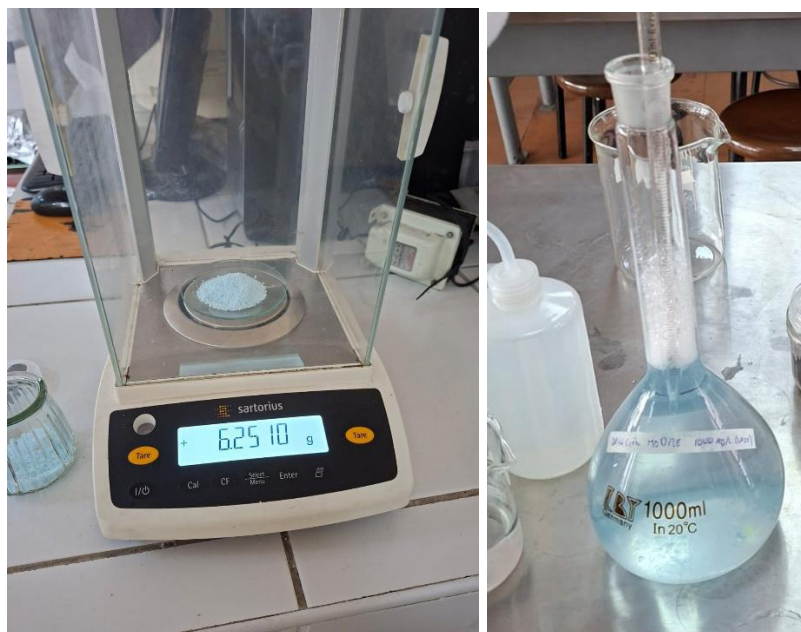
Con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados y optimizar los tiempos de análisis, la determinación de la concentración de detergentes (SAAM) fue encargada a un laboratorio externo certificado, especializado en análisis de aguas residuales. Este procedimiento permitió obtener datos precisos y trazables para la posterior formulación de una solución tipo.

**3.6.3.2. Solución acuosa con características de un efluente doméstico tipo.** Con base en los resultados obtenidos, se calculó un valor promedio de concentración de detergentes (SAAM), el cual se tomó como referencia para la formulación de una solución sintética que simule las condiciones típicas de un efluente de doméstico, en específico de una lavadora.

Para la elaboración de esta solución se utilizó el detergente Marsella Lavanda y Rosas, cuyo contenido de sulfonatos de alquilbenceno lineales (LAS) es de 16% de acuerdo con su hoja de seguridad. Se preparó una solución madre de 1000 mg/l LAS, con 6,25 gramos de detergente en 1 litro de agua. A partir de esta solución madre, se tomaron 3 alícuotas de 3, 5 y 7 ml, cada una aforada a 1 litro con agua destilada, para que, al igual que las otras pruebas de concentración de detergentes (SAAM) su análisis fuera llevado a cabo en un laboratorio externo, y determinar qué cantidad resultaría más cercana a nuestra concentración de detergentes (SAAM) promedio obtenido del paso 3.6.3.1.

**Figura 24**

*Solución madre de solución tipo*



La solución con los valores más próximos a esta concentración fue la que se utilizó en los experimentos de adsorción con los diferentes tipos de carbón activado elaborados, para lo cual se prepararon 3 litros de esta solución tipo.

### **3.6.4 Remoción de detergentes**

**3.6.4.1. Sistema de Adsorción.** Para la filtración de la solución preparada, se agitaron 500 ml de la solución tipo seleccionada en matraces que contenían 4 gramos de cada carbón activado, durante 180 minutos (Dorregaray y Arhuis, 2018). Se filtró al vacío hasta separar completamente la fase líquida, que fue almacenada de acuerdo con las indicaciones del laboratorio externo para su posterior análisis.

**Figura 25***Agitación de solución tipo con carbón activado***Figura 26***Filtración tras adsorción*

**3.6.4.2. Remoción de Detergentes.** De acuerdo con los resultados de concentración de detergentes (SAAM), se determinó el porcentaje de remoción utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{Ci \text{ (mg SAAM/l)} - Cf \text{ (mg SAAM/l)}}{Ci \text{ (mg SAAM/l)}} \quad (5)$$



Donde:

Ci: Concentración inicial de detergentes (SAAM)

Cf: Concentración final de detergentes (SAAM)

**3.6.4.3. pH.** Para la determinación del pH de la solución preparada, y el filtrado obtenido tras el tratamiento, se utilizó un medidor de pH, el cual funciona midiendo el potencial eléctrico entre un electrodo de referencia y uno sensible al pH. Previo a su uso, el equipo fue calibrado utilizando soluciones buffer estándar para garantizar la precisión de las mediciones.

El procedimiento consistió en homogenizar cuidadosamente la muestra, sumergir el electrodo en el líquido hasta cubrirlo completamente, registrar el valor de pH mostrado por el equipo y luego enjuagar el electrodo con agua destilada para evitar contaminación cruzada.

### Figura 27

*Medición de pH tras filtración del CA25 y CA50.*



## 3.7 Análisis de Datos

Se realizó un análisis estadístico descriptivo ANOVA (Análisis de la Varianza), que se define como el método estadístico utilizado para comparar mediciones que están influenciadas por diferentes tipos de efectos que actúan al mismo tiempo, con el doble propósito de identificar cuáles de ellos tienen un efecto significativo y estimar la magnitud de esos efectos. Así, la prueba ANOVA posibilita contrastar las medias de  $r$  grupos, donde  $r$  es mayor o igual a 2. Esta técnica asume que las varianzas de los grupos son equivalentes y que los errores o residuos son aleatorios, independientes y distribuidos de manera idéntica, siguiendo una distribución normal

con una media de 0 y una desviación constante. La hipótesis nula de la prueba ANOVA de un factor es:

H0: Las medias de los k grupos son todas iguales

H1: Al menos una de las medias es diferente

El método se fundamenta en la evaluación de las sumas de cuadrados medias atribuibles a la variabilidad entre grupos y a la variabilidad dentro de los grupos (error o residuos). Ambas sumas de cuadrados representan valores independientes de la variabilidad total, de modo que, si la relación entre la primera (variabilidad entre grupos) y la segunda (variabilidad dentro de los grupos) es elevada, aumentará la probabilidad de desestimar la hipótesis nula. Este cociente se distribuye según una distribución F con  $r - 1$  y  $n - r$  grados de libertad. Cuando los hallazgos desestiman la hipótesis nula y aceptan la hipótesis alternativa, se utiliza la técnica estadística de Tukey para determinar las diferencias significativas entre las medias. (Urrutia, 2020)

### **3.8 Consideraciones Éticas**

Para el proyecto actual se consideraron los siguientes aspectos éticos:

- Autenticidad de los resultados, sin modificaciones en ellos.
- Respeto y seriedad frente a las regulaciones, normativa y políticas de la Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Respeto por la propiedad privada de las empresas involucradas y consideración al medio ambiente al momento de llevar a cabo la recolección de muestras y su análisis.
- Decoro por los derechos de autor, citando constantemente conceptos y procedimientos obtenidos de estudios y trabajos anteriores.

## IV RESULTADOS

### 4.1 Características de Carbón Activado

#### 4.1.1 Densidad Aparente

A continuación, se muestran los valores medidos para el cálculo de la densidad aparente de cada tipo de carbón activado:

**Tabla 5**

*Resultados de densidad aparente para CA25*

| Variable                 | R1      | R2      | R3      | Promedio      | Varianza | Desviación estándar |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------------|----------|---------------------|
| Masa de CA (g)           | 10,7451 | 10,4073 | 10,6029 | 10,5851       | -        | -                   |
| Volumen de probeta (ml)  | 25      | 25      | 25      | 25            | -        | -                   |
| Densidad aparente (g/ml) | 0,4298  | 0,4163  | 0,4241  | <b>0,4234</b> | 4,6E-05  | 0,0068              |

**Tabla 6**

*Resultados de densidad aparente para CA50*

| Variable                 | R1      | R2      | R3      | Promedio      | Varianza | Desviación estándar |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------------|----------|---------------------|
| Masa de CA (g)           | 12,0817 | 11,6467 | 11,8642 | 11,8642       | -        | -                   |
| Volumen de probeta (ml)  | 25      | 25      | 25      | 25            | -        | -                   |
| Densidad aparente (g/ml) | 0,4833  | 0,4659  | 0,4746  | <b>0,4746</b> | 7,57E-05 | 0,0087              |

En la Tabla 5 y Tabla 6 se puede observar que los promedios de densidad aparente para los carbones activados con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 25% y 50% son de 0,4231 g/ml y 0,4746 g/ml,



respectivamente, siendo la varianza y desviación estándar menor a 0,5 en ambos casos, considerándose las réplicas similares.

#### 4.1.2 Índice de Metileno.

A continuación, se presentan los valores registrados para la curva de calibración del azul de metileno:

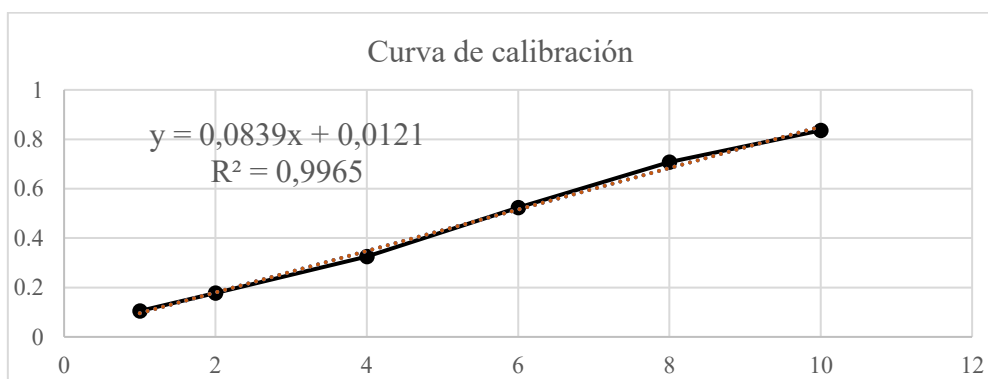
**Tabla 7**

*Curva de calibración de azul de metileno*

| Concentración<br>(mg/l de A.M) | Absorbancia (A) |
|--------------------------------|-----------------|
| 1                              | 0,105           |
| 2                              | 0,177           |
| 4                              | 0,325           |
| 6                              | 0,523           |
| 8                              | 0,708           |
| 10                             | 0,836           |

**Figura 28**

*Curva de calibración de azul de metileno*



En la Tabla 7 se presentan los valores de concentración y absorbancia registrados para la curva de calibración del azul de metileno. La Figura 28 muestra la curva obtenida, cuya

ecuación lineal y coeficiente de correlación ( $R^2$ ) permitieron validar la linealidad del método empleado. Por lo que se estableció la siguiente fórmula para la determinación de la concentración obtenida:

$$Co = \frac{(A - 0,0121)}{0,0839} \quad (6)$$

Donde:

Co: Concentración no absorbida

A: Absorbancia leída

Para la construcción de las isothermas de adsorción, tras la filtración de las mezclas de carbón activado con las soluciones de azul de metileno, y lectura de absorbancia en el espectrofotómetro se observó que con concentraciones altas ( $\geq 200$  mg/l), la absorbancia medida superaba el rango de linealidad de la curva de calibración. Por ello, se realizaron diluciones sucesivas de las filtraciones obtenidas, aplicando factores de dilución (FD) de 10, 20 y 30 (Tabla 8), según la intensidad de color de cada muestra, considerándose lo siguiente:

$$FD = \frac{\text{Volumen final de la dilución}}{\text{Volumen de filtrado}} \quad (7)$$

**Tabla 8**

*Diluciones del filtrado para lectura de absorbancia*

| <b>Alícuota de muestra</b> | <b>Agua destilada</b> | <b>Volumen final</b> | <b>Factor de dilución</b> |
|----------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| <b>(ml)</b>                | <b>(ml)</b>           | <b>(ml)</b>          | <b>(FD)</b>               |
| 1                          | 9                     | 10                   | 10                        |
| 1                          | 19                    | 20                   | 20                        |
| 1                          | 29                    | 30                   | 30                        |

Los valores de concentración final de azul de metileno no adsorbido, o concentración en equilibrio ( $C_e$ ), fueron calculados corrigiendo por el factor de dilución aplicado en cada caso, asegurando que todas las lecturas permanecieran dentro del rango lineal de la curva de calibración, de acuerdo con lo siguiente:

$$C_e = C_o \times FD \quad (8)$$

La carga adsorbida ( $q$ ) en mg/g de carbón activado se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$q = \frac{(C_i - C_e) \times V}{m} \quad (9)$$

Donde:

$C_i$ : Concentración inicial de azul de metileno (mg/l)

$C_e$ : Concentración en equilibrio (mg/l)

$V$ : Volumen de la solución (L)

$m$ : Masa de carbón activado (g)

También se determinó el porcentaje de remoción (% R) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% R = (C_i - C_e) \times 100 / C_i \quad (10)$$

Donde:

$C_i$ : Concentración inicial de azul de metileno (mg/l)

$C_e$ : Concentración en equilibrio (mg/l)

A continuación, los resultados promedios de la adsorción de azul de metileno en carbones activados preparados con  $H_3PO_4$  al 25% (Tabla 9) y 50% (Tabla 10).

**Tabla 9***Resultados promedios de adsorción de AM por CA25*

| <b>Ci (mg/l)</b> | <b>Ce (mg/l)*</b> | <b>q (mg de A.M x g de CA)*</b> | <b>% R*</b> |
|------------------|-------------------|---------------------------------|-------------|
| 100              | 0,44              | 81,80                           | 99,55%      |
| 200              | 11,91             | 136,03                          | 94,05%      |
| 300              | 39,56             | 190,61                          | 86,80%      |
| 400              | 72,69             | 239,43                          | 81,85%      |
| 500              | 106,17            | 295,77                          | 78,80%      |
| 750              | 245,27            | 371,80                          | 67,30%      |
| 1000             | 395,61            | 429,81                          | 60,45%      |

*Nota.* \* Valores promedio de pruebas realizadas.

De acuerdo con la Tabla 9, se identifica una relación inversamente proporcional respecto a la Concentración inicial de azul de metileno (Ci), y el porcentaje de remoción del azul metileno (%R), considerándose que, a menor Ci, mayor %R.

**Tabla 10***Resultados promedios de adsorción de AM por CA50*

| <b>Ci (mg/l)</b> | <b>Ce (mg/l)*</b> | <b>q (mg de A.M x g de CA)*</b> | <b>% R*</b> |
|------------------|-------------------|---------------------------------|-------------|
| 100              | 0,27              | 74,16                           | 99,73%      |
| 200              | 9,46              | 131,39                          | 95,27%      |
| 300              | 47,49             | 192,74                          | 84,17%      |
| 400              | 127,10            | 204,40                          | 68,22%      |
| 500              | 177,57            | 251,80                          | 64,49%      |
| 750              | 288,65            | 356,25                          | 61,51%      |
| 1000             | 443,17            | 415,63                          | 55,68%      |

*Nota.* \* Valores promedio de pruebas realizadas.

El patrón para la prueba con carbón activado con  $H_3PO_4$  al 50%, es el mismo que el otro tipo de carbón activado, considerándose la misma relación inversamente proporcional entre el  $C_i$ , y el %R, tal como lo presenta la Tabla 10.

Se analizaron estos valores para los modelos de Langmuir y de Freundlich, para ello se realizaron ajustes lineales, considerándose sus formas lineales.

Fórmula lineal de modelo de Langmuir:

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{b} C_e + \frac{1}{k \cdot b} \quad (11)$$

Donde:

k: Fuerza de unión

b: Cantidad máxima adsorbida

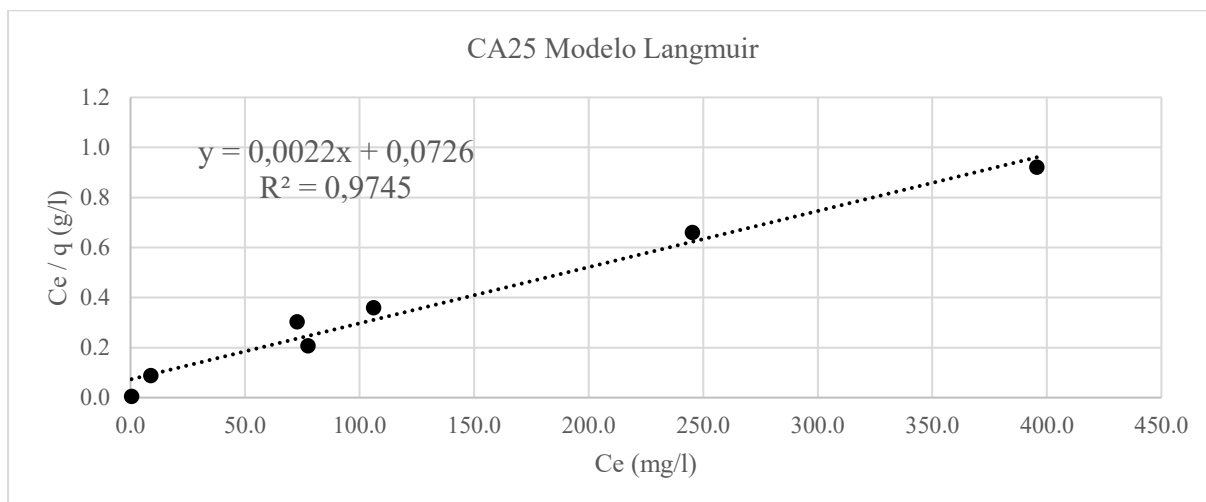
$C_e$ : Concentración en equilibrio

q: Carga adsorbida

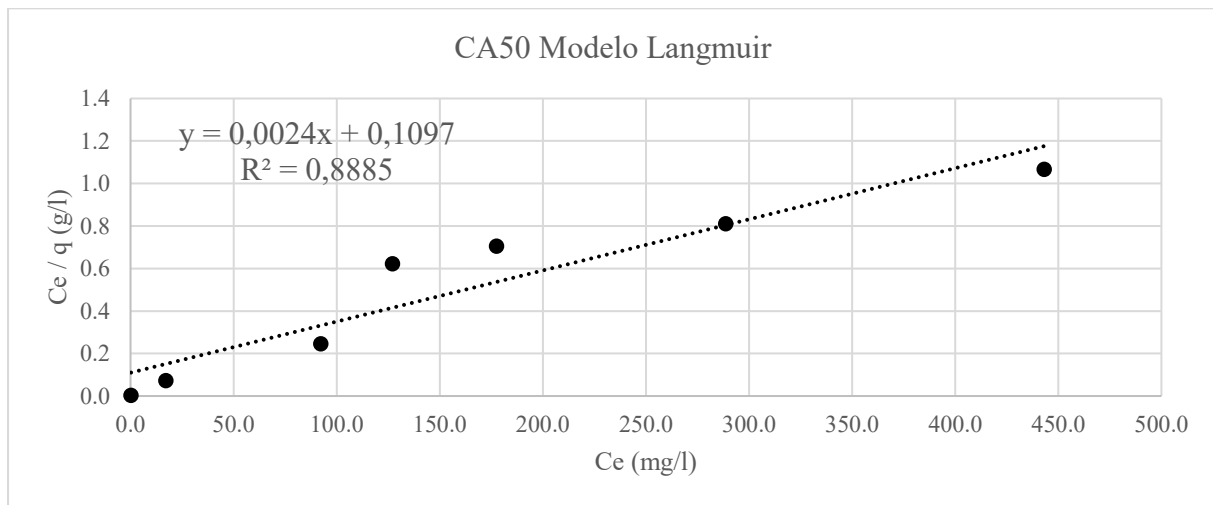
**Tabla 11**

*Isoterma de adsorción de CA25 Modelo Langmuir*

| Eje X:       |          | Eje Y:        |
|--------------|----------|---------------|
| $C_e$ (mg/l) | q (mg/g) | $C_e/q$ (g/l) |
| 0,44         | 81,80    | 0,0054        |
| 11,91        | 136,03   | 0,0875        |
| 39,56        | 190,61   | 0,2075        |
| 72,69        | 239,43   | 0,3036        |
| 106,17       | 295,77   | 0,3590        |
| 245,27       | 371,80   | 0,6597        |
| 395,61       | 429,81   | 0,9204        |

**Figura 29***Isoterma de adsorción de CA25 Modelo Langmuir***Tabla 12***Isoterma de adsorción de CA50 Modelo Langmuir*

| Eje X:    |          | Eje Y:     |
|-----------|----------|------------|
| Ce (mg/l) | q (mg/g) | Ce/q (g/l) |
| 0,27      | 74,16    | 0,0037     |
| 9,46      | 131,39   | 0,0720     |
| 47,49     | 192,74   | 0,2464     |
| 127,10    | 204,40   | 0,6219     |
| 177,57    | 251,80   | 0,7052     |
| 288,65    | 356,25   | 0,8102     |
| 443,17    | 415,63   | 1,0663     |

**Figura 30***Isoterma de adsorción de CA50 Modelo Langmuir*

Fórmula lineal de modelo de Freundlich:

$$\log q = \frac{1}{n} \log Ce + \log Kd \quad (12)$$

Donde:

q: Carga adsorbida

Ce: Concentración en equilibrio

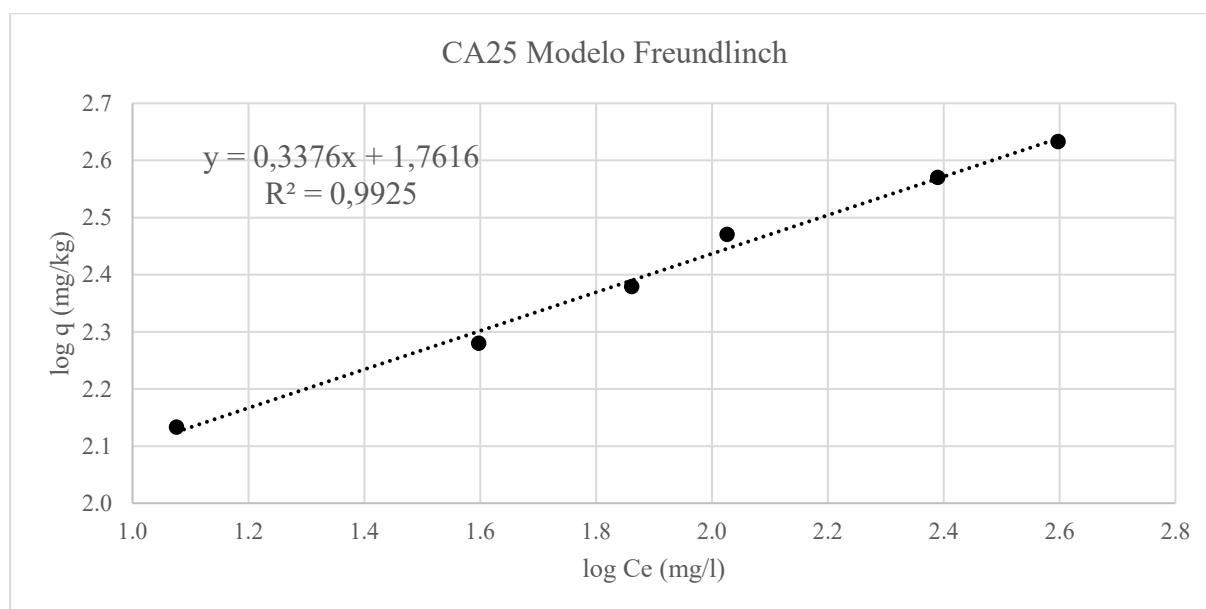
Kd: Coeficiente de distribución

n: factor de corrección

Considerando que el modelo de Freundlich describe la adsorción en concentraciones medias y altas, se identifica por los resultados que para concentraciones bajas, como la de 100 mg/l (primer dato), existen desviaciones que podrían atribuirse a efectos de detección analítica y a afinidad inicial del adsorbente, por ello, se excluyó el primer punto en el análisis de las isotermas.

**Tabla 13***Isoterma de adsorción de CA25 Modelo Freundlich*

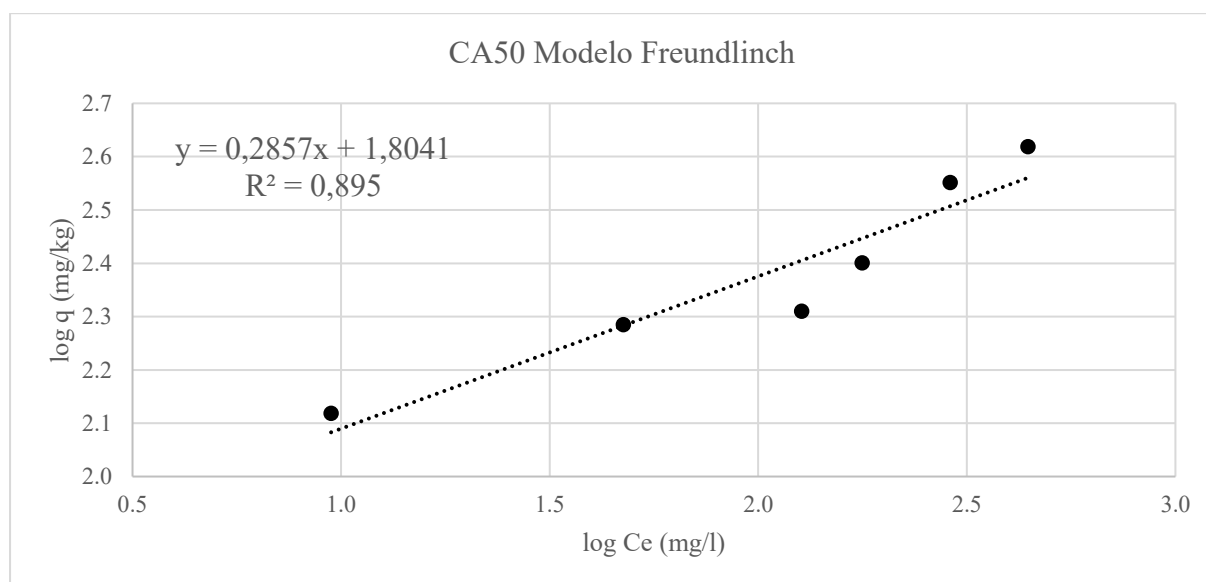
| <b>Ce (mg/l)</b> | <b>Eje X:<br/>Log Ce</b> | <b>q (mg/g)</b> | <b>Eje Y:<br/>log q</b> |
|------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| 0,44             | -0,3567                  | 81,80           | 1,9128                  |
| 11,91            | 1,0758                   | 136,03          | 2,1336                  |
| 39,56            | 1,5972                   | 190,61          | 2,2802                  |
| 72,69            | 1,8615                   | 239,43          | 2,3792                  |
| 106,17           | 2,0260                   | 295,77          | 2,4709                  |
| 245,27           | 2,3896                   | 371,80          | 2,5703                  |
| 395,61           | 2,5973                   | 429,81          | 2,6333                  |

**Figura 31***Isoterma de adsorción de CA25 Modelo Freundlich*



**Tabla 14***Isoterma de adsorción de CA50 Modelo Freundlich*

| <b>Ce (mg/l)</b> | <b>Eje X:<br/>Log Ce</b> | <b>q (mg/g)</b> | <b>Eje Y:<br/>log q</b> |
|------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| 0,27             | -0,5639                  | 74,16           | 1,8702                  |
| 9,46             | 0,9761                   | 131,39          | 2,1186                  |
| 47,49            | 1,6766                   | 192,74          | 2,2850                  |
| 127,10           | 2,1042                   | 204,40          | 2,3105                  |
| 177,57           | 2,2494                   | 251,80          | 2,4011                  |
| 288,65           | 2,4604                   | 356,25          | 2,5518                  |
| 443,17           | 2,6466                   | 415,63          | 2,6187                  |

**Figura 32***Isoterma de adsorción de CA50 Modelo Freundlich*

**Tabla 15***Parámetros correspondientes al modelo de Langmuir*

| <b>Tipo de<br/>carbón<br/>activado</b> | <b>Ordenada de<br/>origen (1/k.b)</b> | <b>Cantidad máxima<br/>de adsorción<br/>(mg/g)</b> | <b>Constante de<br/>Langmuir K<sub>L</sub><br/>(L/mg)</b> | <b>Coefficiente de<br/>correlación (R<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| CA25                                   | 0,0726                                | 454,5455                                           | 0,0303                                                    | 0,9745                                                 |
| CA50                                   | 0,1097                                | 416,6667                                           | 0,0219                                                    | 0,8885                                                 |

**Tabla 16***Parámetros correspondientes al modelo de Freundlich*

| <b>Tipo de<br/>carbón<br/>activado</b> | <b>Ordenada de<br/>origen (log<br/>K<sub>d</sub>)</b> | <b>Factor de<br/>heterogeneidad<br/>(1/n)</b> | <b>Constante de<br/>Freundlich K<sub>d</sub><br/>(l/mg)</b> | <b>Coefficiente de<br/>correlación (R<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| CA25                                   | 1,9465                                                | 0,2374                                        | 88,4097                                                     | 0,9925                                                 |
| CA50                                   | 1,9185                                                | 0,217                                         | 82,8896                                                     | 0,8950                                                 |

Como se observa en la Tabla 15 y Tabla 16, los coeficientes de correlación entre la tendencia de los datos obtenidos para ambos tipos de carbones con el modelo de Freundlich son muy aproximados a 1, lo que sugiere una superficie heterogénea y adsorción multilocal, además de que el factor de heterogeneidad es menor a 1, por lo que indican adsorción favorable, considerándose que valores más próximos a 0 indican alta heterogeneidad; por otro lado, el modelo de Langmuir sigue siendo válido para poder determinar el índice de azul de metileno, como la cantidad máxima de adsorción (mg/g).

Es así que, se reporta el índice de azul de metileno con el valor de 454,55 mg/g para el carbón activado con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25%, y 416,67 mg/g para el carbón activado con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 50%.

## 4.2 Concentración de Detergentes (SAAM)

### 4.2.1 Efluentes domésticos

A continuación, se presentan los valores de concentración de detergentes (SAAM) determinados en tres muestras de efluentes de lavadoras domésticas del distrito de Puente Piedra, analizadas por un laboratorio externo. Estos resultados sirvieron como referencia para establecer la concentración estándar empleada en la preparación de la solución sintética utilizada en los ensayos.

**Tabla 17**

*Datos de muestras de efluentes de lavadoras domésticas del distrito de Puente Piedra*

| Datos                | Muestra 1                                             | Muestra 2                                                   | Muestra 3                                                      |
|----------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Tipo de detergente   | Polvo                                                 | Polvo                                                       | Polvo                                                          |
| Dirección de muestra | Mz. 97 Lt. 23,<br>AA.HH. Santa Rosa,<br>Puente Piedra | Jr. Huancayo 650,<br>AA.HH. Santa<br>Rosa, Puente<br>Piedra | Av. Santa Rosa<br>1394, AA.HH.<br>Santa Rosa, Puente<br>Piedra |
| SAAM mg/l            | 1,46 +- 0,42                                          | 3,186 +-0,92                                                | 4,353 +-1,26                                                   |
| pH                   | 9,97                                                  | 9,2                                                         | 8,06                                                           |

*Nota.* \* De acuerdo con Hoja MSDS

De acuerdo con la Tabla 17 se establece que en promedio la concentración de SAAM es de 3 mg/l.

### 4.2.2 Solución Tipo

Las pruebas realizadas con diferentes alícuotas de una solución madre preparada con 6,25 g de detergente Marsella Lavanda y Rosas, aforada en 1 litro de agua destilada, permitieron obtener las concentraciones de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) que se presentan en este apartado.

**Tabla 18***Resultados de pruebas de solución tipo*

| <b>Alícuota de solución madre (ml)</b> | <b>Concentración SAAM (mg/l)</b> |
|----------------------------------------|----------------------------------|
| 3                                      | 1,41                             |
| 5                                      | 2,39                             |
| 7                                      | 3,19                             |

De la Tabla 18 se determina que la solución preparada con una alícuota de 7 ml de la solución madre es la ideal para trabajar el tratamiento con los carbones activados.

#### **4.2.3 Tratamiento de Solución Tipo**

Tras el sistema de adsorción planteado para la investigación, se midió el pH de cada solución tratada, así como de la solución tipo utilizada, considerándose los siguientes resultados:

**Tabla 19***Resultados de tratamiento*

| <b>Solución</b> | <b>pH</b> | <b>Concentración SAAM (mg/l)</b> |
|-----------------|-----------|----------------------------------|
| Solución tipo   | 7,49      | 3,19                             |
| CA25 Rep. 1     | 7,19      | 0,16                             |
| CA25 Rep. 2     | 6,70      | 0,23                             |
| CA50 Rep. 1     | 7,27      | 0,66                             |
| CA50 Rep. 2     | 6,47      | 0,74                             |

De la Tabla 19 se observa que el pH de las soluciones tratadas con carbón activado presentó una ligera tendencia a la acidificación en comparación con la solución tipo (pH 7.49). En el caso del CA25, la disminución promedio del pH fue de aproximadamente 5,3%, mientras que para el CA50, fue de 6,3% en promedio.

En cuanto a la concentración de detergentes (SAAM), se aprecia una notable reducción en todos los tratamientos. El carbón activado con  $H_3PO_4$  al 25% (CA25) alcanzó una concentración promedio residual de 0,195 mg/l; mientras que el carbón activado con  $H_3PO_4$  al 50% (CA50) mostró un valor promedio de 0,70 mg/l.

#### 4.3 Eficiencia de Remoción de Detergentes (SAAM) del Tratamiento

Con los datos de las concentraciones de detergentes (SAAM) se determinó la eficiencia de remoción:

**Tabla 20**

*Resultados de remoción de detergentes (SAAM) de tratamiento*

| Tratamiento | % Remoción | % R. Promedio |
|-------------|------------|---------------|
| CA25 Rep. 1 | 94,98%     | 93,89%        |
| CA25 Rep. 2 | 92,79%     |               |
| CA50 Rep. 1 | 79,31%     | 78,06%        |
| CA50 Rep. 2 | 76,80%     |               |

De la tabla anterior se observa que el carbón activado obtenido con  $H_3PO_4$  al 25% (CA25) alcanzó eficiencias de 92,79–94,98%, con un promedio de 93,89%. En contraste, el carbón activado con  $H_3PO_4$  al 50% (CA50) presentó eficiencias de 76,80–79,31%, con un promedio de 78,06%, valor significativamente menor en comparación con el CA25.

#### 4.4 Análisis estadístico

Con el propósito de verificar si las diferencias observadas entre los carbones activados preparados con  $H_3PO_4$  al 25% (CA25) y 50% (CA50) son estadísticamente significativas, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. El procesamiento de datos se realizó utilizando el software estadístico jamovi (Versión 2.6.44), considerando como variable independiente el tipo de carbón activado y como variable dependiente la eficiencia de remoción de detergentes (SAAM).

El ANOVA evalúa si existen diferencias significativas entre las medias de dos o más grupos, bajo la hipótesis nula y alternativa:

H0: El carbón activado a partir de coronas de piña (*Ananas comosus*) no reduce significativamente la concentración de detergentes (SAAM) de un efluente doméstico tipo.

$$H0 : \mu_{CA25} = \mu_{CA50}$$

Donde:  $\mu$  es el promedio poblacional de la concentración de detergentes (SAAM) tras el tratamiento con carbón activado para cada grupo evaluado.

H1: El carbón activado a partir de coronas de piña (*Ananas comosus*) reduce significativamente la concentración de detergentes (SAAM) de un efluente doméstico tipo.

H1: Al menos una media es diferente.

El análisis se realizó con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Para garantizar la robustez del modelo, se asumió igualdad de varianzas (Prueba de Fisher), dado que las desviaciones estándar obtenidas fueron consistentes entre grupos (1,6 y 1,8).

**Tabla 21**

*ANOVA de Un Factor (Fisher)*

|                 | <b>F</b> | <b>gl1</b> | <b>gl2</b> | <b>p</b> |
|-----------------|----------|------------|------------|----------|
| <b>Remoción</b> | 90,3     | 1          | 2          | 0,011    |

*Nota.* Extraído de software Jamovi.

Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $F(1,2) = 90,27$ ,  $p = 0,011$ ), lo que permite rechazar la hipótesis nula y aceptar que el tipo de carbón activado influye significativamente en la remoción de detergentes.

El carbón activado preparado con  $H_3PO_4$  al 25% (CA25) alcanzó una remoción promedio del 93,89%, mientras que el carbón activado con  $H_3PO_4$  al 50% (CA50) obtuvo un 78,06%, evidenciando una diferencia estadísticamente comprobada.

## V DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidenciaron que el carbón activado elaborado con ácido fosfórico al 25% (CA25) alcanzó una eficiencia promedio de remoción de detergentes del 93,89%, mientras que el carbón activado al 50% (CA50) presentó valores menores, 78,06%. Este desempeño superior se relaciona con el mayor valor del índice de azul de metileno, lo cual permitió una mayor interacción entre los sitios activos del adsorbente y las moléculas de detergente aniónico, lo que confirma la relevancia de las propiedades texturales y superficiales en la eficacia del proceso de adsorción.

Estos resultados guardan relación con lo reportado por Dorregaray y Arhuis (2018), quienes emplearon residuos de cáscara de piña como precursor para la obtención de carbones activados destinados a la remoción de  $\text{Cd}^{2+}$  y  $\text{Pb}^{2+}$ . Los autores evidenciaron que las condiciones de pirólisis y activación influyen directamente en la eficiencia de adsorción, alcanzando remociones superiores al 87%. Aunque su estudio se enfocó en metales pesados y utilizó atmósferas inertes, en ambos trabajos la eficiencia se asoció al desarrollo de una estructura porosa adecuada del carbón activado.

En este sentido Leiva y Ramírez (2020) demostraron que una dosificación intermedia de ácido fosfórico permitió alcanzar mayores eficiencias de remoción de cadmio, mientras que concentraciones más elevadas redujeron la capacidad adsorbente. Este comportamiento coincide con los resultados del presente estudio, donde el uso de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 25% resultó más eficiente que al 50%, sugiriendo que un exceso del agente activante puede generar bloqueo de poros o alteraciones desfavorables en la superficie del carbón.

En relación con las propiedades texturales, Da Silva et al. (2021), y Mopoung y Amornsakchai (2016) evidenciaron que la activación química de residuos de coronas de piña favorece el desarrollo de estructuras micro y mesoporosas, así como el incremento del área superficial. Si bien Da Silva et al. emplearon NaOH como agente activante y evaluaron la

adsorción de azul de metileno, y Mopoung y Amornsakchai utilizaron  $H_3PO_4$  bajo distintas condiciones térmicas, ambos estudios confirmaron el alto potencial de la corona de piña como materia prima para carbones activados de elevada capacidad adsorbente, en concordancia con los resultados obtenidos en esta investigación.

No obstante, otros estudios han señalado que la eficiencia de adsorción no depende únicamente de la microporosidad. Yamuna y Kamaraj (2016) reportaron que, en la remoción de colorantes, parámetros como el pH y la carga superficial del adsorbente resultaron determinantes. De forma complementaria, Cruz et al. (2023) demostraron que la activación química y la modificación superficial del carbón activado de residuos de piña favorecen la incorporación de grupos funcionales ácidos, incrementando la quimisorción de contaminantes orgánicos, lo que respalda la influencia conjunta de la estructura porosa y la química superficial en los procesos de adsorción.

En contraste, Jiménez y Rodríguez (2023) obtuvieron eficiencias significativamente menores al emplear biosorbentes de cáscaras y coronas de piña sin activación química, evidenciando la importancia del proceso de activación para mejorar las propiedades adsorbentes del material. Por su parte, Chau y Vásquez (2020) reportaron mayores eficiencias en la remoción de arsénico utilizando carbones activados con altas concentraciones de ácido fosfórico, lo que confirma que la dosificación óptima del agente activante depende tanto de la materia prima como de la naturaleza del contaminante tratado.

Adicionalmente, estudios como los de Díaz y Quispe (2021) y Yanchapaxi (2017) demostraron que los filtros lentos multicapa que incorporan carbón activado permiten alcanzar elevadas eficiencias en el tratamiento de aguas grises, respaldando la aplicabilidad práctica del carbón activado desarrollado en esta investigación para el tratamiento de efluentes domésticos.

En pocas palabras, los resultados de esta investigación complementan los estudios previos al demostrar que los residuos de piña son efectivos tanto en la remoción de metales



pesados como en la eliminación de compuestos orgánicos tensoactivos. Esto amplía las aplicaciones del carbón activado obtenido de este residuo agrícola, resaltando su versatilidad y viabilidad como alternativa sostenible para el tratamiento de diversas aguas residuales.

Finalmente, a diferencia de los estudios revisados, esta investigación aporta un enfoque novedoso al emplear dosificaciones intermedias de ácido fosfórico (25% y 50%) en la activación de residuos de coronas de piña, combinaciones no reportadas previamente. Además, se trabajó con un efluente real de lavadoras domésticas para preparar la solución tipo, asegurando concentraciones de detergentes representativas y no solo sintéticas. Esta aproximación otorga mayor validez práctica a los resultados y refuerza la contribución del estudio como alternativa sostenible para el tratamiento de aguas grises en contextos urbanos.

## VI CONCLUSIONES

- ✓ Los valores de densidad aparente obtenidos para los carbones activados preparados con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 25% y 50% fueron de 0,4234 g/ml y 0,4746 g/ml, respectivamente, lo que evidencia que un mayor porcentaje de agente activante incrementa ligeramente la densidad aparente, favoreciendo una estructura más compacta. Este parámetro resulta relevante por su influencia en el empacado de las columnas de filtración y en la eficiencia del tratamiento.
- ✓ En la determinación del índice de azul de metileno se observó que el carbón activado con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 25% (CA25) presentó una mayor capacidad de adsorción en comparación con el activado al 50% (CA50), lo que sugiere una superficie química más favorable para la interacción con el colorante y una mayor proporción de mesoporos accesibles. El análisis mediante el modelo de Freundlich mostró un mejor ajuste en ambos casos, indicando que la superficie de los carbones es heterogénea y que la adsorción ocurre de manera multilocal, es decir, en diferentes tipos de sitios activos. Asimismo, los valores de  $1/n$  confirmaron que la adsorción es favorable en ambos materiales, aunque el CA50 presenta una heterogeneidad más marcada en comparación con el CA25.
- ✓ El tratamiento con ambos tipos de carbones activados evidenció una ligera acidificación de las soluciones tratadas respecto a la solución tipo (pH 7,49), con disminuciones promedio de 5,3% y 6,3% para el CA25 y CA50, respectivamente. En cuanto a la remoción de detergentes (SAAM), el carbón activado impregnado con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 25% alcanzó una concentración residual promedio de 0,195 mg/l y una eficiencia de remoción de 93,89%, superando significativamente al obtenido con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 50%, que presentó una concentración residual de 0,70 mg/l y una eficiencia promedio de 78,06%.
- ✓ Al relacionar los resultados de remoción con la caracterización de los carbones, se observa que el CA25 presentó un mayor índice de azul de metileno y mejor ajuste al modelo de

Freundlich, lo que confirma su mayor afinidad superficial hacia compuestos orgánicos como los detergentes. En contraste, el CA50, pese a exhibir una mayor densidad aparente y una granulometría más compacta, mostró una capacidad de adsorción inferior frente al CA25. Esta diferencia resalta la relevancia de la distribución y accesibilidad de los poros sobre la densidad aparente al momento de evaluar la eficiencia en procesos de adsorción.

- ✓ Estos resultados demuestran que el tratamiento con CA25 resulta más efectivo en la eliminación de detergentes, constituyendo una alternativa de mayor potencial para la aplicación en sistemas de tratamiento de aguas grises.

## VII RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda aplicar el método de adsorción carbón activado obtenido a partir de coronas de piña e impregnado con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 25% (CA25), elaborado para esta investigación, para el tratamiento de efluentes de lavadoras domésticas que presenten concentraciones de detergentes similares a las evaluadas en este estudio, como una alternativa sostenible para la remoción de detergentes (SAAM) en aguas grises. Así mismo, se sugiere evaluar su incorporación en filtros lentos multicapa u otras configuraciones de tratamiento complementarias, lo que permitiría mejorar la remoción de materia orgánica y turbidez, ampliando las posibilidades de reúso del agua tratada en actividades no potables.
- ✓ En este sentido, se recomienda realizar ensayos a escala piloto en sistemas continuos de flujo, con el fin de evaluar el desempeño del CA25 bajo condiciones reales de operación, considerando variables como tiempo de contacto, caudal de alimentación, regeneración del adsorbente y vida útil del material. Estos estudios permitirán determinar la viabilidad técnica y económica de su implementación en viviendas, instituciones o pequeñas comunidades, así como su posible integración en estrategias locales de gestión sostenible del agua.
- ✓ Se aconseja complementar la caracterización del carbón activado con técnicas de mayor resolución (BET para área superficial, FTIR para grupos funcionales, SEM-EDS para morfología y composición superficial). Esto permitiría correlacionar con mayor precisión las propiedades fisicoquímicas del adsorbente con su desempeño en la adsorción de detergentes y otros contaminantes.
- ✓ Se recomienda evaluar concentraciones intermedias de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  distintas al 25% y 50%, con el propósito de identificar el punto óptimo de activación que maximice el desarrollo de microporos y la eficiencia de adsorción. De igual manera, se sugiere comparar el desempeño del CA25 frente a otros carbones activados obtenidos a partir de residuos

orgánicos vegetales sometidos al mismo proceso de activación química, a fin de determinar alternativas más eficientes, económicas o con mayor disponibilidad local.

- ✓ Finalmente dado que el CA25 mostró alta microporosidad y afinidad hacia compuestos orgánicos, se recomienda evaluar su efectividad frente a otros contaminantes presentes en aguas residuales domésticas, tales como colorantes, hidrocarburos, fármacos o metales pesados, lo cual ampliaría sus aplicaciones ambientales y fortalecería la valorización de residuos agroindustriales como la corona de piña.

## VIII REFERENCIAS

- Acosta, B. (11 de mayo de 2021). Cuánto tarda en crecer una piña. *Ecología Verde*.  
<https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-crecer-una-pina-3213.html>
- Agencia Andina. (11 de julio de 2019). Cosecha de piña Golden genera expectativa entre los agricultores de Olmos. *Agencia Andina*. <https://andina.pe/agencia/noticia-cosecha-pina-golden-genera-expectativa-entre-los-agricultores-olmos-758112.aspx>
- Agencia Andina. (22 de febrero de 2022). Impulsan cultivo de piña en diversos distritos de Cusco, Puno y Madre de Dios. *Agencia Andina*. <https://andina.pe/agencia/noticia-impulsan-cultivo-pina-diversos-districtos-cusco-puno-y-madre-dios-880115.aspx>
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Análisis de vulnerabilidad y propuesta de medidas de adaptación al cambio climático. Ficha Técnica N°16*. Observatorio del agua.  
<https://observatoriochirilu.ana.gob.pe/sites/default/files/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20Municipalidades/Ficha%20T%C3%A9cnica%20N%C2%B016%20Puente%20Piedra.pdf>
- Ayala Correa, L. J. (2023). *Adsorción de cadmio y cromo en solución acuosa mediante nanopartículas de hidroxiapatita*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP.  
[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/24632/AYALA\\_CORREA\\_LUIS\\_ADSORCION\\_CADMIO\\_CROMO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/24632/AYALA_CORREA_LUIS_ADSORCION_CADMIO_CROMO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Beltrán Balarezo, C., Carchi Tandazo, T., Vega Loaiza, A., Yáñez Romero, M. E., y Elizalde Reyes, E. (2023). Carbón activado a partir de residuos de cáñamo modificado químicamente para remover azul de metileno. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(4), 2536-2552. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i4.7124](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7124)
- Bolívar, G. (2020). *Isotermas de adsorción: concepto, tipos, ejemplos*. Lifeder.  
<https://www.lifeder.com/isotermas-de-adsorcion/>

- Chacha Palango, S. (2018). *Desarrollo de un método analítico por espectrofotometría visible para determinar detergentes aniónicos en aguas limpias y residuales*. [Tesis de maestría, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional UCE.  
<https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e9a50310-b8e4-4f1a-a39e-d79e357b584a/content>
- Chau Mera, E. G., y Vásquez Pulcón, L. V. (2020). *Utilización del carbón activado a partir del bambú (Guadua Angustifolia Kunth), para captar arsénico de las aguas subterráneas en el distrito de Pacor*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo.  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/66679/Chau\\_MEG-V%C3%A1squez\\_PLV-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/66679/Chau_MEG-V%C3%A1squez_PLV-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cruz Espina, C. E. (2022). *Implementación y validación del método 5540-C para la determinación de surfactantes aniónicos como Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) en muestras de aguas residuales y superficiales*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio del Sistema Bibliotecario USAC.  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/17979/1/Carlos%20Enrique%20Cruz%20Espina.pdf>
- Cruz, E. D., Manuben, J. P., y Cruz, M. R. (2023). Removal of Pesticide Residues in Aqueous Solution by Adsorption Using Pineapple Peel Activated Carbon. *Journal of Environmental Science and Management* (Special Issue), 47–56.  
<https://ovcre.uplb.edu.ph/journals-uplb/index.php/JESAM/article/download/1031/854/>
- Da Silva, A., Paranha, G., Maia, L., y Mulinari, D. (2021). Development of activated carbon from pineapple crown wastes and its potential use for removal of methylene blue.

*Journal of Natural Fibers*, 19(13), 5211–5226.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15440478.2021.1875365>

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. (7 de junio de 2017).

<https://www.minam.gob.pe/wpcontent/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Díaz Amaya, K. H., y Quispe Alvarez, W. A. (2021). *Determinación de la eficiencia de un filtro lento para tratamiento de aguas grises de lavadora y su reutilización en riego y fines domésticos*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Acceso Libre a Información Científica para la Innovación - ALICIA.

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU\\_dfec35527447d59f04095ad97ce36887](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_dfec35527447d59f04095ad97ce36887)

Díaz Rodríguez, Y., Mendiola Lau, L., González Suárez, A., Rivas Trasancos, L., y Romero Silva, R. (2021). Capacidad de adsorción de materiales naturales para el tratamiento de aguas de procesos de la actividad petrolera. *Centro Azúcar*, 48(3), 41-52.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612021000300041](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000300041)

Dorregaray de la Cruz, H. J., y Arhuis Jacobi, V. M. (2018). *Aplicación de adsorbentes de carbón preparados desde las cascara de la fruta piña (Ananas comosus) para remover metales pesados (Cd<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>) desde soluciones acuosas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional Digital UNCP.

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4933/Dorregaray%20De%20La%20Cruz%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Espiritu, M. S. (8 de julio de 2023). Ni lavar los platos ni ducharse: ¿cuál es la actividad doméstica con la que gastas más agua, según Minam? *La República*.

<https://larepublica.pe/datos-lr/respuestas/2023/07/08/ni-lavar-los-platos-ni-ducharse->



cual-es-la-actividad-domestica-con-la-que-gastas-mas-agua-segun-minam-evat-141736

Fitriani, S. (2019). Properties of nanocrystalline cellulose from pineapple crown leaf waste.

*IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 796(1), 012007.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/796/1/012007>

Flowen. (2021). *Tratamiento de aguas residuales de lavanderías industriales*. Flowen.

<https://flowen.com.pe/aguas-residuales-de-lavanderias-industriales/>

García López, R. A., y Granillo Oporta, Y. A. (2017). *Evaluación de las condiciones*

*operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja*

*valencia (Citrus Sinensis Linn Osbeck)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional

Autónoma de Nicaragua]. Repositorio Institucional UNAN.

<https://repositorio.unan.edu.ni/4275/1/96798.pdf>

Gioffre, P. (6 de julio de 2021). *¿Cómo afectan los tensoactivos al medio ambiente?*

Cosmetic Latam. [https://www.cosmeticlatam.com/index.php/2021/07/06/como-](https://www.cosmeticlatam.com/index.php/2021/07/06/como-afectan-los-tensoactivos-al-medio-ambiente/)

[afectan-los-tensoactivos-al-medio-ambiente/](https://www.cosmeticlatam.com/index.php/2021/07/06/como-afectan-los-tensoactivos-al-medio-ambiente/)

Gomez, A., Klose, W., y Rincón, S. (2010). *Carbón activado de cuesco de palma: Estudio de*

*termogravimetría y estructura*. Universidad Nacional de Colombia. [https://www.uni-](https://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-820-0.volltext.frei.pdf)

[kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-820-0.volltext.frei.pdf](https://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-820-0.volltext.frei.pdf)

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

*, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.

[http://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales\\_de\\_consulta/drogas\\_de\\_abuso/a-](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales_de_consulta/drogas_de_abuso/articulos/sampierilasrutas.pdf)

[rticulos/sampierilasrutas.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales_de_consulta/drogas_de_abuso/articulos/sampierilasrutas.pdf)

Infobae. (5 de noviembre de 2022). Crisis del agua: cuatro de los principales problemas que

enfrenta Lima ante un potencial desabastecimiento. *Infobae*.

<https://www.infobae.com/america/peru/2022/11/05/crisis-del-agua-cuatro-de-los-principales-problemas-que-enfrenta-lima-ante-un-potencial-desabastecimiento/>

International Union of Pure and Applied Chemistry. (s.f.). Activated carbon. En *Compendium of Chemical Terminology* (Gold Book) (Versión 2.3.3).

<https://goldbook.iupac.org/terms/view/A00155>

Jimenez Shapiama, P. E., y Rodriguez Paredes, V. N. (2023). *Aplicación de residuos de Ananas Comosus y su efecto en la remoción de plomo en soluciones acuosas sintéticas*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo.

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/136323/Jimenez\\_SPE-Rodriguez\\_PVN-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/136323/Jimenez_SPE-Rodriguez_PVN-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Joy, P., y Anjana, R. (2015). *Evolution of pineapple*. Reserch Gate.

[https://www.researchgate.net/publication/295858780\\_Evolution\\_of\\_pineapple](https://www.researchgate.net/publication/295858780_Evolution_of_pineapple)

Jurado Falconi, E., Sáenz Yaya, D., Velásquez, M., Azáldegui Moscol, A., Benavides

Cavero, O. (2020). Riegos del uso de detergentes domésticos en la calidad del agua en poblaciones en transición de lo rural a lo urbano: Churín 2017. *Alternativa financiera*, 9(1), 1-19

<https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/5793/ALTERNATIVA%20FINANCIERA%20N%C2%BA9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Leiva Capristan, L. R., y Ramirez Acosta, Y. M. (2020). *Efecto de la dosificación de  $H_3PO_4$  y peso del carbón activado de residuos de Ananas comosus en la adsorción de cadmio en la quebrada Colorada - Huamachuco, 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo.

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46217/leiva\\_CLR-Ram%e3%adrez\\_AYM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46217/leiva_CLR-Ram%e3%adrez_AYM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- León Carrasco, J. C. (15 de diciembre de 2017). Áreas de cultivo de piña en Perú habrían crecido 30% este año. *Agraria.pe*. <https://agraria.pe/noticias/areas-de-cultivo-de-pina-en-peru-habrian-crecido-30-este-ano-15530>
- LG Electronics. (s. f.). Lavadora LG 13kg, carga superior con TurboDrum™, Negro claro (WT13BVTB). *LG Perú*. <https://www.lg.com/pe/lavadoras/lavadoras-carga-superior/wt13bvtb/>
- Manosalva Vásquez, K. C. (2016). *Efecto del carbón activado en la turbidez del agua del río sector puente Moche – 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/6798/manosalva\\_vk.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/6798/manosalva_vk.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Martínez Bardales, M. D. (2016). *Eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1760/TESIS%20MANUEL%20DAVID%20MARTINEZ%20BARDALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Meneses Cali, M. (2018). *Determinación de la efectividad de agentes microbianos para la degradación de tensoactivos dodecil bencen sulfonato de sodio lineal presente en detergentes*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Digital ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10553/1/236T0412.pdf>
- Mohammed Nabil, M., Muhammad Abbas, A. Z., y Zainul Akmar, Z. (2015). Preparation and characterization of activated carbon from pineapple waste biomass for dye

removal. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 331-337.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830515000839>

Moksa. (s.f.). *El carbón activado: adsorción de contaminantes y efecto en el pH del agua*.

Moksa. <https://moksa.com.co/el-carbon-activado-adsorcion-de-contaminantes-y-efecto-en-el-ph-del-agua/>

Mopoung, S., y Amornsakchai, P. (2016). Microporous Activated Carbon Fiber from

Pineapple Leaf Fiber by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Activation. *Asian Journal of Scientific Research*, 9(4), 185-192.

<https://scialert.net/fulltext/?doi=ajsr.2016.24.33#:~:text=Activated%20carbon%20fiber%20was%20prepared,in%20H3PO4.>

Noguera, B. (21 de setiembre de 2020). *¿Qué son los tensoactivos o surfactantes?* Ingeniería

Química Reviews. <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/tensoactivos-o-surfactantes.html>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2021). *Gobernanza del Agua en Perú* (Estudios de la OCDE sobre el Agua). OECD Publishing.

[https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2021/03/water-governance-in-peru\\_0980e96a/f826f55f-es.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2021/03/water-governance-in-peru_0980e96a/f826f55f-es.pdf)

Quintero Jaramillo, J. A. (2024). *Adsorción del contaminante emergente cafeína en medio*

*acuoso empleando una arcilla modificada*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86571>

Quispe Mendoza, E. M. (2021). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de tratamiento de*

*aguas residuales de una lavandería a nivel de laboratorio usando como coagulante - floculante polímeros orgánicos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La

- Molina]. Repositorio Institucional UNALM.  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4825>
- Ripley. (s. f.). Marcas de lavadoras: ¿cuáles son las mejores marcas en 2026 y cuál elegir?  
 Blog Ripley. <https://simple.ripley.com.pe/minisitios/blog/marcas-lavadoras>
- Sánchez Montesinos, C. (2018). *Caracterización de carbón activado a partir de bambú Guadua angustifolia Kunth utilizando el método químico*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM.  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3340/sanchez-montesinos-christian.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Santos, D., Martins , C., Amaral , R., Brito, L., Saraiva, J., Vicente, A., y Moldão-Martins, M. (2021). Pineapple (*Ananas comosus L.*) By-Products Valorization: Novel Bio Ingredients for Functional Foods. *Molecules*, 26(11), 3216.  
<https://www.mdpi.com/1420-3049/26/11/3216>
- Sanz Tejedor, A. (s.f.). *La industria de los agentes tesoactivos*. Universidad de Valladolid.  
<https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-10.php>
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima. (2020). *Ayuda memoria: Fuentes superficiales utilizadas para el abastecimiento de agua potable en Lima, adicionales a los Ríos Rímac* [Informe técnico]. OjoPúblico. [https://ojo-publico.com/especiales/lima-lucha-contra-coronavirus-con-agua-turbia/assets/Informacion\\_de\\_Sedapal.pdf](https://ojo-publico.com/especiales/lima-lucha-contra-coronavirus-con-agua-turbia/assets/Informacion_de_Sedapal.pdf)
- Sevillano, Á., y Torres, P. (2013). *Obtención de Carbón activado a partir de madera*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cuyo]. Repositorio Digital UNCuyo.  
[https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/7742/obtencion-de-carbon-activado-a-partir-de-madera.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7742/obtencion-de-carbon-activado-a-partir-de-madera.pdf)
- Soloman George, D., Razali, Z., y Somasundram, C. (2016). Physiochemical Changes during Growth and Development of Pineapple (*Ananas comosus L.* Merr. cv. Sarawak).

*Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(2), 491-503.

<https://jast.modares.ac.ir/article-23-19-en.pdf>

Tutivén Ramón, B. A. (2020). *Evaluación de la eficiencia del carbón activado procedente del pseudotallo de plátano (Musa paradisiaca L.) para su uso en la remoción de contaminantes en agua de pozo*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio Institucional UCSG.

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15510/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-67.pdf>

Universidad de Alicante. (s.f.). *Análisis de la textura porosa de sólidos*. Servicios Técnicos de Investigación. Consultado el 18 de julio de 2026.

<https://sstti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis-termico/analisis-de-la-textura-porosa-de-solidos.html>

Urrutia Viscarra, J. P. (2020). *Evaluación del carbón activado obtenido de la cáscara de piña “Ananas Comosus” para remover color en agua residual de una industria textil*. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad Agraria del Ecuador.

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/URRUTIA%20VISCARRA%20JENNY%20PAOLA.pdf>

Yamuna, M., y Kamaraj, M. (2016). Pineapple peel waste activated carbon as an adsorbent for the effective removal of methylene blue dye from aqueous solution. *International Journal of ChemTech Research*, 9(3), 420-428.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Pineapple-peel-waste-activated-carbon-as-an-for-the-Yamuna-Kamaraj/9ee6bcc308ad11b22a3bda5e6bb603044f078b0a>

Yanchapaxi Bustillos, D. E. (2017). *Uso de carbón vegetal activado a partir de madera residual para la utilización en filtros de la planta de tratamiento natural de aguas*

*residuales grises en los molinos Poulthier en Latacunga*. [Tesis de pregrado,

Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional UTC.

<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/74883ca8-8751-45b2-8b8f-0e8be93c73af/content>

## IX ANEXOS

## Anexo A: MATRIZ DE CONSISTENCIA

| PROBLEMAS                                                                                                                                                                                                                  | OBJETIVOS                                                                                                                                                                                       | HIPÓTESIS                                                                                                                                                                                                                  | VARIABLE                                                      | DEFINICIÓN CONCEPTUAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | DEFINICIÓN OPERACIONAL                                                                                                                                                                                                                                                            | DIMENSIONES                          | INDICADORES                                  | ESCALA            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|
| <i>Problema general</i>                                                                                                                                                                                                    | <i>Objetivo general</i>                                                                                                                                                                         | <i>Hipótesis general</i>                                                                                                                                                                                                   | <i>V. Independiente</i>                                       | El carbón activado es un material sólido amorfo de naturaleza carbonosa, caracterizado por una elevada superficie interna y alta porosidad, que le confieren la capacidad de adsorber contaminantes presentes en medios acuosos mediante interacciones fisicoquímicas. Su comportamiento de adsorción depende de la estructura porosa y de la química superficial desarrollada durante su proceso de activación. | Carbón activado elaborado a partir de coronas de piña ( <i>Ananas comosus</i> ), impregnado con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) a concentraciones de 25% y 50%, carbonizado a 450 °C.                                                                                               | Propiedades físicas                  | Densidad aparente                            | g/cm <sup>3</sup> |
| ¿Cuál es la capacidad de remoción del carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ), sobre detergentes (SAAM) de un efluente de doméstico tipo?                                                                                | Evaluar la capacidad del carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ), en la remoción de detergentes (SAAM) de un efluente doméstico tipo.                                                         | El carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ), reduce significativamente la concentración de detergentes (SAAM) de un efluente doméstico tipo.                                                                              | Carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ).                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Propiedades adsorptivas              | Índice de azul de metileno                   | mg/g              |
| <i>Problemas específicos</i>                                                                                                                                                                                               | <i>Objetivos específicos</i>                                                                                                                                                                    | <i>Hipótesis específicas</i>                                                                                                                                                                                               | <i>V. Dependiente</i>                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                      |                                              |                   |
| ¿Cuáles son las características de densidad aparente e índice de metileno del carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ) producido con $H_3PO_4$ en concentraciones del 25% y 50%?                                          | Identificar las características de densidad aparente e índice de metileno del carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ) producido con $H_3PO_4$ al 25% y 50%.                                   | Al menos una de las características (densidad aparente o índice de metileno) difiere significativamente entre carbones activados ( <i>Ananas comosus</i> ) producido con $H_3PO_4$ al 25% y 50%.                           |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Disminución de la concentración de detergentes, expresados como sustancias activas al azul de metileno (SAAM), en un efluente doméstico tipo, determinada antes y después del tratamiento con carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ), y expresada como porcentaje de remoción. | Concentración de detergentes         | Concentración inicial de detergentes (Ci)    | mg SAAM/L         |
| ¿Cuál es la concentración residual de detergentes (SAAM) tras el tratamiento de un efluente doméstico tipo con carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ) producido con $H_3PO_4$ en concentraciones del 25% y 50%?         | Determinar la concentración residual de detergentes (SAAM) en el tratamiento de un efluente doméstico tipo, con carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ) producido con $H_3PO_4$ al 25% y 50%. | Las concentraciones residuales de detergentes (SAAM) difieren significativamente entre los tratamientos de un efluente doméstico tipo, con carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ) producido con $H_3PO_4$ al 25% y 50%. | Remoción de detergentes (SAAM) de un efluente doméstico tipo. | Reducción cuantificable de la concentración de detergentes expresados como sustancias activas al azul de metileno (SAAM), como resultado de su retención sobre la superficie del carbón activado mediante mecanismos de adsorción.                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                      | Concentración final de detergentes (Cf)      | mg SAAM/L         |
| ¿Cómo se compara la eficiencia de remoción de detergentes (SAAM) tras el tratamiento de un efluente doméstico tipo con carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ) producido con $H_3PO_4$ en concentraciones del 25% y 50%? | Comparar la eficiencia de la remoción de detergentes (SAAM) en el tratamiento de un efluente doméstico tipo con carbón activado ( <i>Ananas comosus</i> ) producido con $H_3PO_4$ al 25% y 50%. | La eficiencia de remoción de detergentes (SAAM) difiere significativamente entre los carbones activados ( <i>Ananas comosus</i> ) producidos con $H_3PO_4$ al 25% y al 50%.                                                |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Eficiencia de remoción por adsorción | Porcentaje de remoción de detergentes (SAAM) | %                 |



## Anexo B: INSTRUMENTOS

### Ficha de recolección de datos: preparación de carbón activado

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>INFLUENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CORONAS DE PIÑA (<i>Ananas comosus</i>), PREPARADOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE <math>H_3PO_4</math>, EN LA REMOCIÓN DE DETERGENTES (SAAM), DE UN EFLUENTE DE LAVADORA DOMÉSTICA TIPO.</b> |  |
|                                                                                   | <b>FORMATO FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS EN LABORATORIO:</b><br><b>Preparación de carbón activado</b>                                                                                                                                          | VERSIÓN: 01<br>PÁGINAS:<br>1 DE 1                                                   |

|                                                                            | Tipo de Carbón activado |      |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------|
|                                                                            | CA25                    | CA50 |
| Masa de materia prima base (g)                                             |                         |      |
| Agente activante                                                           |                         |      |
| Concentración de agente activante (%)                                      |                         |      |
| Proporción de impregnación (masa materia prima : volumen agente activante) |                         |      |
| Volumen de agente activante (ml)                                           |                         |      |
| Tiempo de contacto (h)                                                     |                         |      |
| Temperatura de carbonización (°C)                                          |                         |      |
| Tiempo de carbonización (h)                                                |                         |      |
| pH final del lavado                                                        |                         |      |
| Masa final de carbón activado seco (g)                                     |                         |      |
| Observaciones del proceso:                                                 |                         |      |

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Fecha de inicio de preparación: |  |
| Fecha de cierre de preparación: |  |

|                                                               |                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Responsable de laboratorio:<br>Mg. Ahuber Omar Vasquez Aranda | Firma:  |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|

Ficha de recolección de datos: caracterización de carbón activado

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>INFLUENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CORONAS DE PIÑA (<i>Ananas comosus</i>), PREPARADOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE <math>H_3PO_4</math>, EN LA REMOCIÓN DE DETERGENTES (SAAM), DE UN EFLUENTE DE LAVADORA DOMÉSTICA TIPO.</b> |  |
|                                                                                   | <b>FORMATO FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS EN LABORATORIO:</b><br><b>Caracterización de carbón activado</b>                                                                                                                                      | VERSIÓN: 01<br><br>PÁGINAS:<br>1 DE 1                                               |

**DENSIDAD APARENTE**

| REPETICIÓN | TIPO DE CARBÓN | VOLUMEN DE PROBETA (ml) | TARA DE LA PROBETA (g) | PESO DE PROBETA CON CA (g) |
|------------|----------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
|            |                |                         |                        |                            |
|            |                |                         |                        |                            |
|            |                |                         |                        |                            |

**AZUL DE METILENO**

| CURVA DE CALIBRACIÓN         |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Concentración (mg/L de A.M.) |  |  |  |  |  |  |
| Absorbancia                  |  |  |  |  |  |  |

| REPETICIÓN | TIPO DE CARBÓN | CONCENTRACIÓN INICIAL DE SOLUCIÓN (mg/L) | VOLUMEN DE SOLUCIÓN (ml) | MASA DE CARBÓN (g) | TIEMPO DE CONTACTO (h) | ABSORBANCIA |
|------------|----------------|------------------------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|-------------|
|            |                |                                          |                          |                    |                        |             |
|            |                |                                          |                          |                    |                        |             |
|            |                |                                          |                          |                    |                        |             |

|                    |  |
|--------------------|--|
| Fecha de análisis: |  |
|--------------------|--|

|                                                               |                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Responsable de laboratorio:<br>Mg. Ahuber Omar Vasquez Aranda | Firma:<br> |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|

Ficha de recolección de datos: ensayo del sistema de adsorción con solución tipo

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>INFLUENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CORONAS DE PIÑA (<i>Ananas comosus</i>), PREPARADOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE <math>H_3PO_4</math>, EN LA REMOCIÓN DE DETERGENTES (SAAM), DE UN EFLUENTE DE LAVADORA DOMÉSTICA TIPO.</b> |  |
|                                                                                   | <b>FORMATO FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS EN LABORATORIO:</b><br><br><b>Ensayo del sistema de adsorción con solución tipo</b>                                                                                                                   | VERSIÓN: 01<br><br>PÁGINAS: 1 DE 1                                                  |

**PRUEBA SOLUCIÓN TIPO**

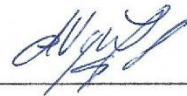
| SOLUCIÓN MADRE         |  |                           |  |
|------------------------|--|---------------------------|--|
| Masa de detergente (g) |  | Volumen de agua destilada |  |

| NÚMERO DE PRUEBA | VOLUMEN DE SOLUCIÓN MADRE (ml) | AFORADO A ... (ml) |
|------------------|--------------------------------|--------------------|
|                  |                                |                    |
|                  |                                |                    |
|                  |                                |                    |

**ADSORCIÓN**

| REPETICIÓN | TIPO DE CARBÓN | VOLUMEN DE SOLUCIÓN (ml) | MASA DE CARBÓN ACTIVADO (g) | pH INICIAL | VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm) | TIEMPO DE CONTACTO (min) | pH FINAL |
|------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|------------|------------------------------|--------------------------|----------|
|            |                |                          |                             |            |                              |                          |          |
|            |                |                          |                             |            |                              |                          |          |
|            |                |                          |                             |            |                              |                          |          |

|                    |  |
|--------------------|--|
| Fecha de análisis: |  |
| Lugar de análisis: |  |

|                                                               |                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Responsable de laboratorio:<br>Mg. Ahuber Omar Vasquez Aranda | Firma:<br> |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|



| Laboratorio Callao                                                                                                                                                                                                                                          |                           | Laboratorio Arequipa                                                                            |  | Laboratorio Cajamarca                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |  |  |          |      |   |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--|--|----------|------|---|---|
| Avenida Elmer Faucett 3348, Callao 1<br>Teléfono: (01) 517 1900<br>E-mail: pe.laboratorios@sgs.com                                                                                                                                                          |                           | Ernesto Gunther N° 275, Parque Industrial<br>Teléfono: (054) 213508<br>E-mail: asa.peru@sgs.com |  | Calle Arnaldo Márquez 257, Barrio San Antonio<br>Teléfono: (076) 367723<br>E-mail: jace.huacaya@sgs.com                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |   |  |  |          |      |   |   |
| <b>CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA</b>                                                                                                                                                                                                            |                           |                                                                                                 |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |  |  |          |      |   |   |
| <b>N° 377713</b>                                                                                                                                                                                                                                            |                           |                                                                                                 |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |  |  |          |      |   |   |
| <b>DATOS DEL CLIENTE</b><br>Cliente : JHILANI 1915 ROSALES MARCOS<br>Contacto :<br>Teléfono : 9368 77 244<br>E-mail : rosalesmarcos97@gmail.com<br>Proyecto :<br>Lugar de Inspección : MZ 42 LT 23 PUENTE PIEDRA                                            |                           |                                                                                                 |  | <b>TIPOS DE AGUA*</b><br>AGUA NATURAL<br>ASUB : Agua subterránea<br>AMA : Agua de manantial<br>AZ : Agua termal<br>AS : Agua superficial<br>ADR : Agua de río<br>ADL : Agua de lago / laguna<br>ADA : Agua de deposición atmosférica<br>AGUA RESIDUAL<br>ARD : Agua residual doméstica<br>ARU : Agua residual industrial<br>ARM : Agua residual municipal<br>AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO<br>AB : Agua de bebida |   |  |  |          |      |   |   |
| <b>Muestreado por:</b><br>SGS <input type="checkbox"/><br>Cliente <input checked="" type="checkbox"/>                                                                                                                                                       |                           |                                                                                                 |  | <b>Frecuencia del Monitoreo:</b><br>Periódico <input type="checkbox"/><br>No Periódico <input type="checkbox"/><br>Especial <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                                                               |   |  |  |          |      |   |   |
| N° de OI : 356686-1 N° de Pre-Acta:<br>Fecha de inicio: 29/06/2025<br>Hora de inicio: 8:36                                                                                                                                                                  |                           |                                                                                                 |  | Fecha de finalización: 29/06/2025<br>Hora de finalización: 8:42                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |  |  |          |      |   |   |
| <b>Item</b> <b>Estación</b> <b>Coordenadas UTM</b><br>WGS 84 <input type="checkbox"/> PSAD 56 <input type="checkbox"/> <b>Altitud (metros)</b> <b>Tipo de Agua*</b> <b>Tipo de Muestra</b><br>Simple   Compuesta <b>Fecha</b> <b>Hora</b> <b>P</b> <b>V</b> |                           |                                                                                                 |  | <b>ANÁLISIS REQUERIDOS / PRESERVANTES</b><br>1/1<br>SAH (DETERGENTE) / FUNGICIDA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |  |  |          |      |   |   |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                           | MZ 42 LT 23 PUENTE PIEDRA |                                                                                                 |  | ARD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | X |  |  | 29/06/25 | 8:36 | 1 | X |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                           | MZ 42 LT 23 PUENTE PIEDRA |                                                                                                 |  | ARD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | X |  |  | 29/06/25 | 8:36 | 1 | X |
| <b>OBSERVACIONES</b>                                                                                                                                                                                                                                        |                           |                                                                                                 |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |  |  |          |      |   |   |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> <b>SGS del Perú S.A.C.</b><br/> <b>CALLAO</b><br/> <b>29 JUN 2025</b><br/> <b>RECIBIDO</b><br/> <b>Data Center - HCS</b> </div>                                     |                           |                                                                                                 |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |  |  |          |      |   |   |
| Inspector responsable: _____ Fecha: _____ Firma: _____                                                                                                                                                                                                      |                           |                                                                                                 |  | N° de Coolers : _____ N° de Frascos: _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |  |  |          |      |   |   |
| Representante del Cliente: _____ Firma: _____                                                                                                                                                                                                               |                           |                                                                                                 |  | Fecha de Recepción de las Muestras: 29-06-25<br>Responsable de la Recepción de las Muestras: B. J. J. J. J.<br>Condiciones en que se recibieron las muestras: _____                                                                                                                                                                                                                                                |   |  |  |          |      |   |   |
| INS-R-IE-ENV 65<br>REV 10<br>F.A: Marzo 2022                                                                                                                                                                                                                |                           |                                                                                                 |  | Refrigeradas <input checked="" type="checkbox"/><br>Preservadas <input checked="" type="checkbox"/><br>Dentro del tiempo de conservación <input checked="" type="checkbox"/><br>N° de muestras rotas: _____<br>Otros (especifique): _____                                                                                                                                                                          |   |  |  |          |      |   |   |

## Muestra 2

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                          |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | <b>Laboratorio Callao</b><br>Avenida Elmer Faucett 3348, Callao 1<br>Teléfono: (01) 517 1900<br>E-mail: pe.labambientales@sgs.com |  | <b>Laboratorio Arequipa</b><br>Ernesto Gunther N° 275, Parque Industrial<br>Teléfono: (054) 213506<br>E-mail: ada.paredes@sgs.com |  | <b>Laboratorio Cajamarca</b><br>Calle Arnaldo Márquez 257, Barrio San Antonio<br>Teléfono: (076) 367723<br>E-mail: jado.huarcaya@sgs.com |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  | <b>CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA</b>                                                                                  |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                          |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>DATOS DEL CLIENTE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                          |  |  |  | <b>Análisis requeridos / Preservantes</b>                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <b>TIPOS DE AGUA*</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Cliente : JULIANI IRIS ROSALES MARCOS<br>Contacto :<br>Teléfono : 936 877 244<br>E-mail : rosalesmarcos93@gmail.com<br>Proyecto :<br>Lugar de Inspección : JR. HUANCAYO 650 PUENTE PIEDRA<br>Muestreado por:<br>SGS <input type="checkbox"/> Cliente <input checked="" type="checkbox"/><br>Frecuencia del Monitoreo:<br>Periódico <input type="checkbox"/> No Periódico <input type="checkbox"/> Especial <input type="checkbox"/><br>N° de OI : 35668644 N° de Pre-Acta:<br>Fecha de inicio : 29/06/2025 Fecha de finalización : 29/06/2025<br>Hora de inicio : 10:00 Hora de finalización : 10:06 |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                          |  |  |  | Cantidad de envases (Plástico / Vidrio)<br>PH / Formaldehído 20ml                                                                                                                                                                                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  | AGUA NATURAL<br>ASUB : Agua subterránea AP : Agua de piscina<br>ALA : Agua de laguna artificial<br>AMA : Agua de manantial AGUA SALINA<br>AT : Agua termal AM : Agua de mar<br>AS : Agua superficial ASL : Agua salobre<br>ADR : Agua de río SAL : Salmuera<br>ADL : Agua de lago / laguna AIRS : Agua de inyección y reinyección (salina)<br>ADA : Agua de deposición atmosférica<br>AGUA RESIDUAL<br>ACE : Agua de circulación o enfriamiento<br>ARD : Agua residual doméstica AAC : Agua de alimentación para calderas<br>ARI : Agua residual industrial AC : Agua de calderas<br>ARM : Agua residual municipal AL : Agua de lixiviación<br>AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO<br>APR : Agua purificada<br>AB : Agua de bebida AIRP : Agua de inyección y reinyección (de proceso) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                          |  |  |  | <b>OBSERVACIONES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Item Estación Coordenadas UTM WGS 84 <input type="checkbox"/> PSAD 56 <input type="checkbox"/> Altitud (mnm) Tipo de Agua* Tipo de Muestra Simple <input checked="" type="checkbox"/> Compuesta <input type="checkbox"/> Fecha Hora P V                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                          |  |  |  | 1 JR. HUANCAYO 650 PUENTE PIEDRA ARD X 29/06/25 10:00 1 X                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 JR. HUANCAYO 650 PUENTE PIEDRA ARD X 29/06/25 10:00 1 X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Inspector responsable: Fecha: Firma:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                          |  |  |  | N° de Coolers : N° de Frascos :                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Fecha de Recepción de las Muestras: Hora: 12:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Representante del Cliente: Firma:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                          |  |  |  | N° de Ice Pack's :                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Responsable de la Recepción de las Muestras: D. TRUJILLO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Condiciones en que se recibieron las muestras:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                   |  |                                                                                                                                          |  |  |  | Refrigeradas <input checked="" type="checkbox"/><br>Preservadas <input checked="" type="checkbox"/><br>Dentro del tiempo de conservación <input checked="" type="checkbox"/><br>N° de muestras rotas: <input type="checkbox"/><br>Otros (especifique): <input checked="" type="checkbox"/> |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Temperatura (°C): 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

INS-R-I&E-ENV.65  
REV 10  
F.A: Marzo 2022



### Muestra 3

[illegible]

# Anexo D: ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE DETERGENTES DE ALÍCUOTAS DE SOLUCIÓN MADRE

| LABECO<br>CONSULTORIA AMBIENTAL S.A.C.                                                                                                                       |                       | CADENA DE CUSTODIA CALIDAD DE AGUA |                              |        |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  | Autor: R.C.C.<br>Página 1 de 1 |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------|--------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|--|--|---------------------|--|--|--|--------|----|--------------|-----------------|-------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|----|--------------|-----------------|-------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| CLIENTE: Jhilarí Iris Rosales Marcos                                                                                                                         |                       |                                    |                              |        |                                      | <table border="1"> <tr> <th colspan="10">ANÁLISIS REQUERIDOS</th> <th colspan="5">PARAMETRO DE CAMPO</th> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>T (°C)</td> <td>pH</td> <td>C.E. (µm/cm)</td> <td>Salinidad (UPC)</td> <td>O.D. (mg/l)</td> <td>Caudal (l/s)</td> <td>Cloro Residual total (mg/l)</td> <td>Cloro Residual libre (mg/l)</td> </tr> </table> |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  | ANÁLISIS REQUERIDOS |  |  |  |        |    |              |                 |             |              | PARAMETRO DE CAMPO          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | T (°C) | pH | C.E. (µm/cm) | Salinidad (UPC) | O.D. (mg/l) | Caudal (l/s) | Cloro Residual total (mg/l) | Cloro Residual libre (mg/l) | NÚMERO DE CADENA:<br>201 |  |
| ANÁLISIS REQUERIDOS                                                                                                                                          |                       |                                    |                              |        |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  | PARAMETRO DE CAMPO  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
|                                                                                                                                                              |                       |                                    |                              |        |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  | T (°C) | pH | C.E. (µm/cm) | Salinidad (UPC) | O.D. (mg/l) | Caudal (l/s) | Cloro Residual total (mg/l) | Cloro Residual libre (mg/l) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| NOMBRE DEL PROYECTO: Tesis de grado                                                                                                                          |                       |                                    |                              |        |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  | N° COTIZACIÓN:      |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| LUGAR DE MUESTREO: Av. Oscar R. Benavides 450, Lima                                                                                                          |                       |                                    |                              |        |                                      | Descripción del Punto del Muestreo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| N°                                                                                                                                                           | Código de Laboratorio | ESTACIÓN                           | Muestreo<br>Fecha(F)/Hora(H) | MATRIZ | COORDENADAS<br>UTM                   | Capacidad de envases<br>Plástico(l)/Vidrio(l)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | SAAM (mg/L) |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 1                                                                                                                                                            | 0201-1                | Solución 01                        | F: 01/08/2025<br>H: 12:00    | AR-D   | N: 8 667 458.32 m<br>E: 277 111.71 m | 1p                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | x           |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 2                                                                                                                                                            | 0201-2                | Solución 02                        | F: 01/08/2025<br>H: 12:30    | AR-D   | N: 8 667 458.32 m<br>E: 277 111.71 m | 1p                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | x           |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 3                                                                                                                                                            | 0201-3                | Solución 03                        | F: 01/08/2025<br>H: 13:00    | AR-D   | N: 8 667 458.32 m<br>E: 277 111.71 m | 1p                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | x           |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 4                                                                                                                                                            |                       |                                    | F:<br>H:                     |        | N:<br>E:                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 5                                                                                                                                                            |                       |                                    | F:<br>H:                     |        | N:<br>E:                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 6                                                                                                                                                            |                       |                                    | F:<br>H:                     |        | N:<br>E:                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
|                                                                                                                                                              |                       |                                    | F:<br>H:                     |        | N:<br>E:                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 8                                                                                                                                                            |                       |                                    | F:<br>H:                     |        | N:<br>E:                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 9                                                                                                                                                            |                       |                                    | F:<br>H:                     |        | N:<br>E:                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 10                                                                                                                                                           |                       |                                    | F:<br>H:                     |        | N:<br>E:                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 11                                                                                                                                                           |                       |                                    | F:<br>H:                     |        | N:<br>E:                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| 12                                                                                                                                                           |                       |                                    | F:<br>H:                     |        | N:<br>E:                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| AGUAS NATURALES<br>Subterráneas<br>Manantial (AN-Su/M) / Terminal (AN-Su/T)<br>Superficial<br>Río (AN-Su/R) / Laguna (AN-Su/L) / Depresión: Alti. (AN-Su/Da) |                       |                                    |                              |        |                                      | AGUAS RESIDUALES<br>Residual Doméstica (AR-D)<br>Residual Industrial (AR-I)<br>Residual Municipal (AR-M)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |             |  |  |  |  | AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO<br>De bebida (potable/de mesa/envasada) (AU-B)<br>De piscina (AU-P)<br>De laguna artificial (AU-LA)                                                                     |  |  |  | AGUAS SALINAS<br>Aguas de mar (AS-M)<br>Aguas salobres (AS-Sol)<br>Salmuera (AS-Sm)<br>Aguas de inversión y reintegración (AS-I) |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| MUESTREO REALIZADO POR:                                                                                                                                      |                       |                                    |                              |        |                                      | CÓDIGO DE EQUIPOS UTILIZADOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |             |  |  |  |  | OBSERVACIONES                                                                                                                                                                                          |  |  |  |                                                                                                                                  |                                | Representante de la empresa y/o consultora  |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| Responsable:                                                                                                                                                 |                       |                                    |                              |        |                                      | TERMO METRO TEROSIT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                | Responsable:<br>Jhilarí Iris Rosales Marcos |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| Firma:                                                                                                                                                       |                       |                                    |                              |        |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                | Firma:                                      |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| RECEPCIÓN DE LA MUESTRA                                                                                                                                      |                       |                                    |                              |        |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| Origen de los envases de las muestras:<br>Labeco: <input type="checkbox"/> Cliente: <input checked="" type="checkbox"/>                                      |                       |                                    |                              |        |                                      | Condición de recepción de las muestras:<br><input type="checkbox"/> Metales (HNO <sub>3</sub> pH < 2) <input checked="" type="checkbox"/> Nutrientes / AyG (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH < 2) <input type="checkbox"/> Cloruro (Na OH pH > 12)<br><input type="checkbox"/> Cromo VI (Na OH pH 9.3 - 9.7, Sulfato de Amonio) <input type="checkbox"/> Sulfuros (Acetato de Zinc y NaOH pH > 9)                             |             |  |  |  |  | Recibido por:<br>Fecha:<br>Hora:<br>Firma:                                                                                                                                                             |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |
| Temperatura de recepción de la muestra:<br>Química: 40°C<br>Microbiología: 53.0°C                                                                            |                       |                                    |                              |        |                                      | 4.33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |             |  |  |  |  | <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"> <b>LABECO</b><br/> Consultoría Ambiental S.A.C.<br/> 01 AGO. 2025<br/> <b>RECIBIDO</b><br/> Hora: 18:00 Por: C. Jhilarí </div> |  |  |  |                                                                                                                                  |                                |                                             |  |  |                     |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |    |              |                 |             |              |                             |                             |                          |  |



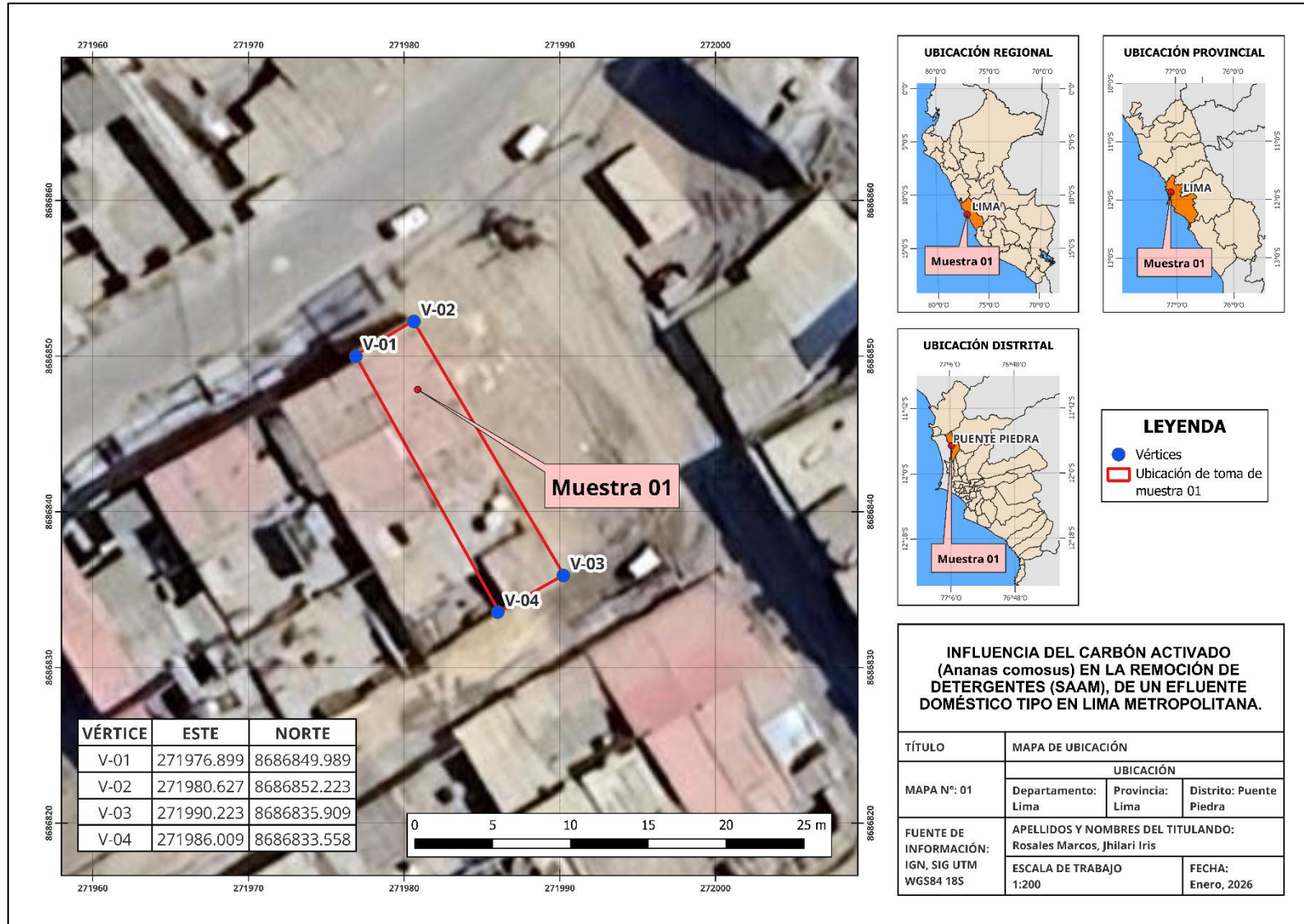
# Anexo E: ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE DETERGENTES DE TRATAMIENTO

| LABECO<br>CONSULTORIA AMBIENTAL S.A.C.                                                                                                                    |                       | CADENA DE CUSTODIA CALIDAD DE AGUA |                              |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             | Autor: R.C.C.<br>Página 1 de 1 |                             |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| CLIENTE: Jhilarí Iris Rosales Marcos<br>NOMBRE DEL PROYECTO: Tesis de grado<br>LUGAR DE MUESTREO: Av. Oscar R. Benavides 450, Lima                        |                       |                                    |                              |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      | ANALISIS REQUERIDOS                                                                                      |                  | PARAMETRO DE CAMPO                                                                                                               |              |                                                                                                                              |             |                                |                             | NÚMERO DE CADENA:<br>205           |
|                                                                                                                                                           |                       |                                    |                              |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             | N° COTIZACIÓN:                     |
|                                                                                                                                                           |                       |                                    |                              |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             | Descripción del Punto del Muestreo |
| N°                                                                                                                                                        | Código de Laboratorio | ESTACIÓN                           | Muestreo<br>Fecha(F)/Hora(H) | MATRIZ                                                                                                                                                                                                                                              | COORDENADAS<br>UTM                   | Cantidad de envases<br>Plástico (P) / Vidrio (V)                                                         | Temperatura (°C) | pH                                                                                                                               | C.E. (µS/cm) | Salinidad (UPS)                                                                                                              | O.D. (mg/l) | Caudal (l/s)                   | Cloro Residual total (mg/l) | Cloro Residual libre (mg/l)        |
| 1                                                                                                                                                         | 0205-1                | Solución tipo                      | F: 05/08/2025<br>H: 12:00    | AR-D                                                                                                                                                                                                                                                | N: 8 667 458.32 m<br>E: 277 111.71 m | 1p x                                                                                                     |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 2                                                                                                                                                         | 0205-2                | CA25NR1                            | F: 05/08/2025<br>H: 15:30    | AR-D                                                                                                                                                                                                                                                | N: 8 667 458.32 m<br>E: 277 111.71 m | 1p x                                                                                                     |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 3                                                                                                                                                         | 0205-3                | CA25NR2                            | F: 05/08/2025<br>H: 15:30    | AR-D                                                                                                                                                                                                                                                | N: 8 667 458.32 m<br>E: 277 111.71 m | 1p x                                                                                                     |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 4                                                                                                                                                         | 0205-4                | CA50NR1                            | F: 05/08/2025<br>H: 17:30    | AR-D                                                                                                                                                                                                                                                | N: 8 667 458.32 m<br>E: 277 111.71 m | 1p x                                                                                                     |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 5                                                                                                                                                         | 0205-5                | CA50NR2                            | F: 05/08/2025<br>H: 15:30    | AR-D                                                                                                                                                                                                                                                | N: 8 667 458.32 m<br>E: 277 111.71 m | 1p x                                                                                                     |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 6                                                                                                                                                         |                       |                                    | F:<br>H:                     |                                                                                                                                                                                                                                                     | N:<br>E:                             |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 7                                                                                                                                                         |                       |                                    | F:<br>H:                     |                                                                                                                                                                                                                                                     | N:<br>E:                             |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 8                                                                                                                                                         |                       |                                    | F:<br>H:                     |                                                                                                                                                                                                                                                     | N:<br>E:                             |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 9                                                                                                                                                         |                       |                                    | F:<br>H:                     |                                                                                                                                                                                                                                                     | N:<br>E:                             |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 10                                                                                                                                                        |                       |                                    | F:<br>H:                     |                                                                                                                                                                                                                                                     | N:<br>E:                             |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 11                                                                                                                                                        |                       |                                    | F:<br>H:                     |                                                                                                                                                                                                                                                     | N:<br>E:                             |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 12                                                                                                                                                        |                       |                                    | F:<br>H:                     |                                                                                                                                                                                                                                                     | N:<br>E:                             |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| AGUAS NATURALES<br>Subterráneas<br>Manantial (AN-Su/M) / Termal (AN-Su/T)<br>Superficial<br>Río (AN-Sp/R) / Laguna (AN-Sp/L) / Deposición Atm. (AN-Sp/DA) |                       |                                    |                              |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      | AGUAS RESIDUALES<br>Residual Doméstica (AR-D)<br>Residual Industrial (AR-I)<br>Residual Municipal (AR-M) |                  | AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO<br>De bebida/potable/de mesa/emvasada (AU-B)<br>De piscina (AU-P)<br>De laguna artificial (AU-LA) |              | AGUAS SALINAS<br>Aguas de mar (AS-M)<br>Aguas salobres (AS-Sp)<br>Salmuera (AS-Sn)<br>Agua de inyección y reinyección (AS-I) |             |                                |                             |                                    |
| MUESTREO REALIZADO POR:                                                                                                                                   |                       |                                    |                              |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      | CÓDIGO DE EQUIPOS UTILIZADOS                                                                             |                  | OBSERVACIONES                                                                                                                    |              | Representante de la empresa y/o consultora                                                                                   |             |                                |                             |                                    |
| Responsable:                                                                                                                                              |                       |                                    |                              |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      | TERMOMETRO T83517                                                                                        |                  |                                                                                                                                  |              | Responsable: Jhilarí Iris Rosales Marcos                                                                                     |             |                                |                             |                                    |
| Firma:                                                                                                                                                    |                       |                                    |                              |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              | Firma:                                                                                                                       |             |                                |                             |                                    |
| RECEPCIÓN DE LA MUESTRA                                                                                                                                   |                       |                                    |                              |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      |                                                                                                          |                  |                                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| Origen de los envases de las muestras:<br>Labeco: <input type="checkbox"/> Cliente: <input checked="" type="checkbox"/>                                   |                       |                                    |                              | Condición de recepción de las muestras:<br><input type="checkbox"/> Metales (HNO <sub>3</sub> pH < 2) <input checked="" type="checkbox"/> Nutrientes / AyG (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH < 2) <input type="checkbox"/> Cloruro (Na OH pH > 12) |                                      |                                                                                                          |                  | Recibido por:                                                                                                                    |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| Temperatura de recepción de la muestra:<br>Química: 58°C<br>Microbiología: <10°C                                                                          |                       |                                    |                              | <input type="checkbox"/> Cromo VI (Na OH pH 9.3 - 9.7, Sulfato de Amonio) <input type="checkbox"/> Sulfuros (Acetato de Zinc y NaOH pH > 9)                                                                                                         |                                      |                                                                                                          |                  | Fecha:<br>Hora:                                                                                                                  |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |
| 4.32                                                                                                                                                      |                       |                                    |                              |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      |                                                                                                          |                  | 07 AGO. 2025<br><b>RECIBIDO</b><br>Hora: 9:08 PM Por: C. Nica                                                                    |              |                                                                                                                              |             |                                |                             |                                    |

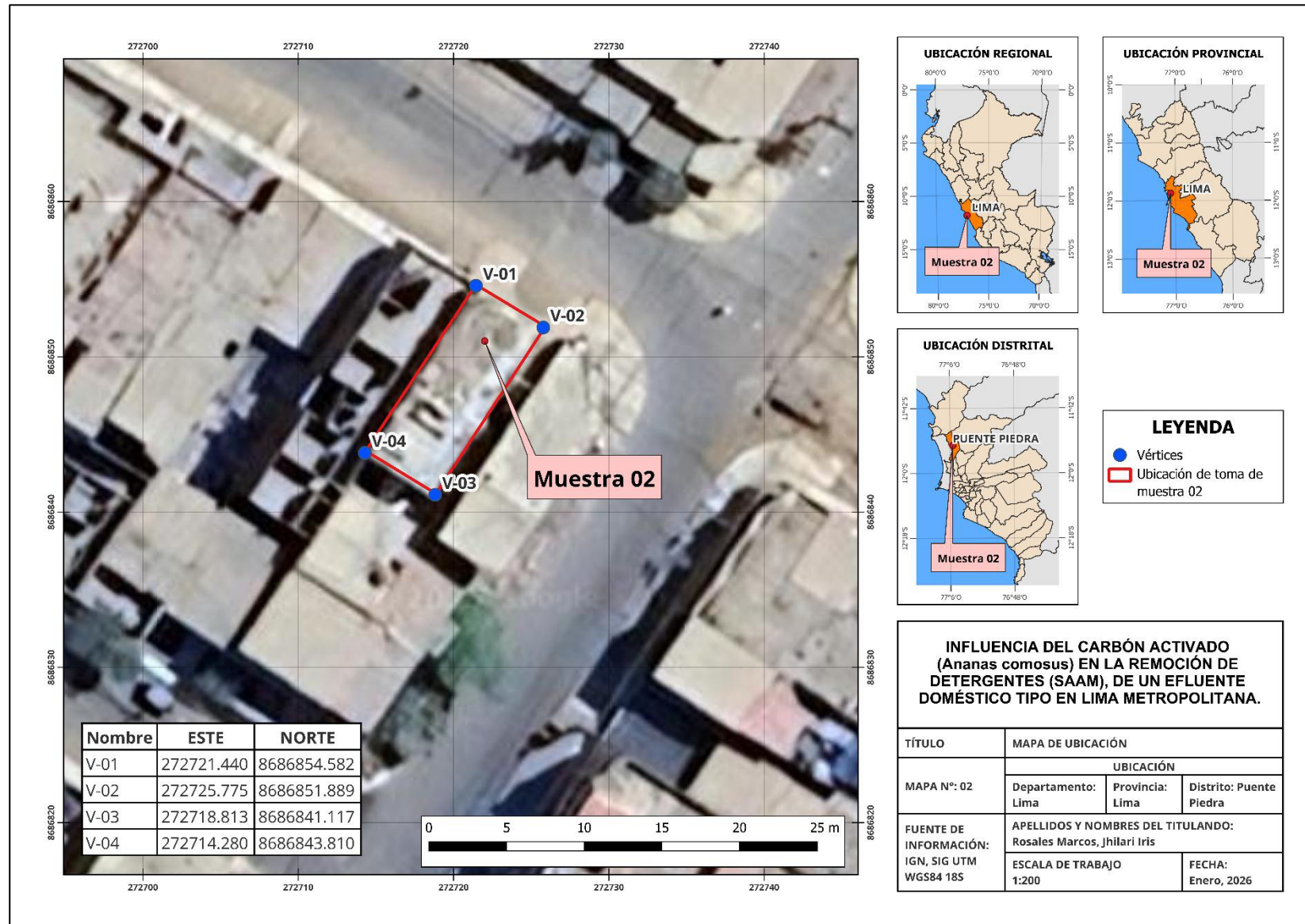


## Anexo F: MAPAS DE UBICACIÓN

### Muestra 01

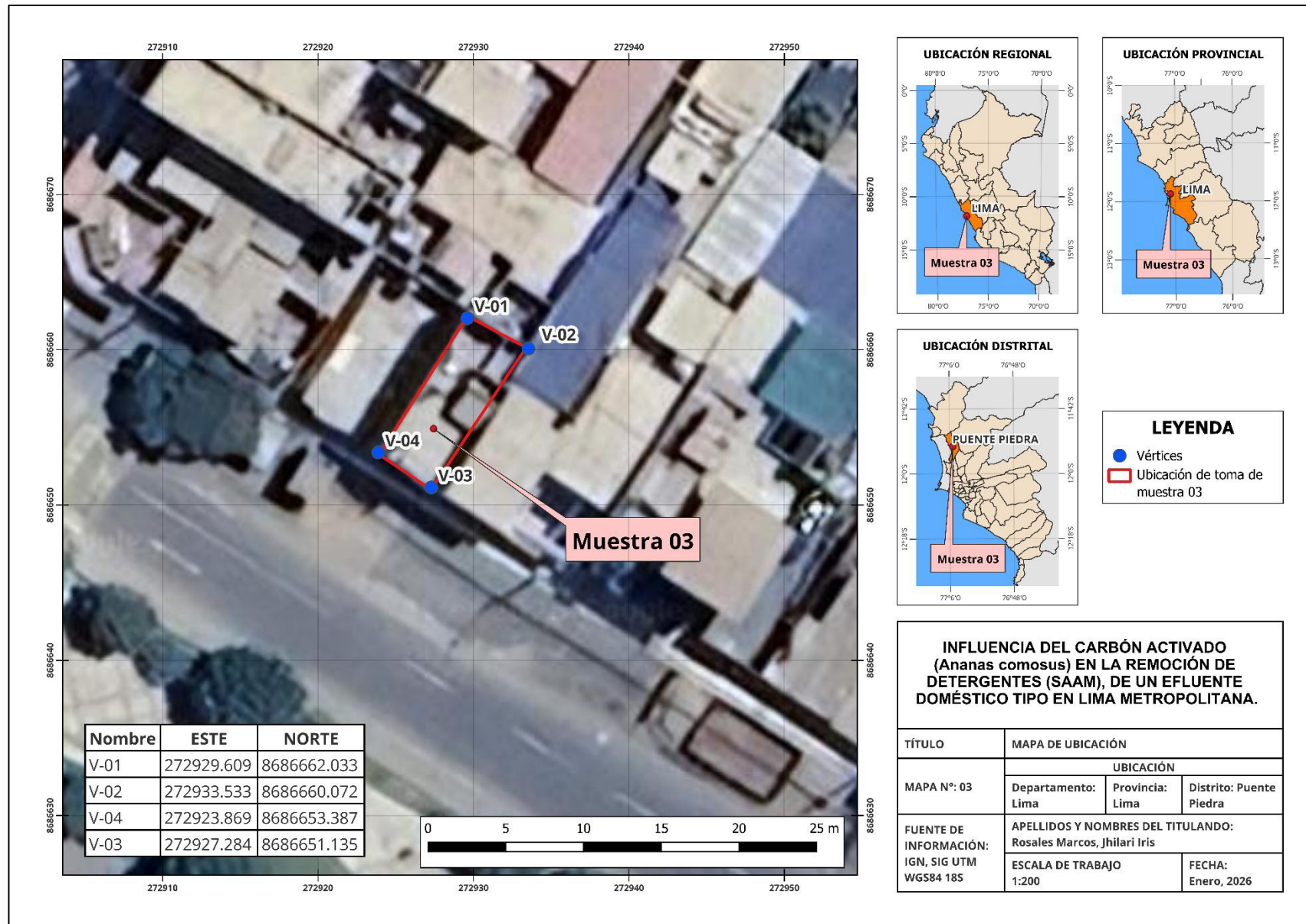


## Muestra 02





## Muestra 03



## Anexo G: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

